

# **GEPARK KRAS**

## **ITALIJANSKI DEL**

### **PRIROČNIK ZA GEOLOŠKE VODNIKE**



**REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA**

## **Avtorji in avtorice:**

Lorenzo Bonini<sup>1</sup>, Chiara Calligaris<sup>1</sup>, Franco Cucchi<sup>1</sup>, Furio Finocchiaro<sup>1</sup>, Marco Franceschi<sup>1</sup>, Luca Zini<sup>1</sup>, Fabiana Vidoz<sup>2</sup>, Sara Bensi<sup>3</sup> in Chiara Piano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Oddelek za matematiko in vede o Zemlji, Univerza v Trstu*

<sup>2</sup> *Samostojni izvajalec*

<sup>3</sup> *Geološka služba, Centralna direkcija za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj, Avtonomna dežela Furlanija - Julijska krajina*

## **Odgovorna oseba**

Fabrizio Fattor, direktor Geološke službe Centralne direkcije za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj pri Avtonomni deželi Furlaniji - Julijski krajini

## **Oblikovanje in prelom digitalne izdaje**

Anna Tamiazzo, Lorenzo Oretti (eco&eco Economia ed Ecologia srl)

## **Tisk**

Deželni tiskovni center Avtonomne dežele Furlanije - Julijske krajine  
V Trstu, maja 2023

## **Soglasja in določila**

Slike dinozavrov iz Ribiškega naselja so uporabljene s soglasjem Zavoda za varstvo arheološke, umetnostne in krajinske dediščine Furlanije - Julijske krajine (MiC); razmnoževanje v pridobitne namene je prepovedano.

## **Citiranje:**

Bonini L., Calligaris C., Cucchi F., Finocchiaro F., Franceschi M., Zini L., Vidoz F., Bensi S. in Piano C. (2023): Čezmejni Geopark Kras. Priročnik za geološke vodnike. Ur. Geološka služba Centralne direkcije za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj pri Avtonomni deželi Furlaniji - Julijski krajini, 2023, Trst.

Copyright © 2023 Avtonomna dežela Furlanija - Julijska krajina

Vse pravice pridržane

ISBN: 9788894039498

Pregled in lektorirane strokovne terminologije: Matevž Novak in Sara Bensi.

Fotografija na naslovnici: Giancarlo Massari



---

# 1. UVOD

Kamnov ni lahko pripraviti do tega, da spregovorijo. Vendar je Kras dežela kamenja.

Ni naključje, da toponim *Kras* izvira iz starega indoevropskega korena **Kar** (tudi **Karra**), ki pomeni 'skala' ali 'kamen'. Koren *kras* pa izvira iz imena geografskega območja tržaškega Krasa, ki so ga krasoslovci raziskali kot prvega in ga nato upoštevali kot referenco za druge kraške regije po svetu, zato se to območje imenuje tudi *Matični Kras* (*Classical Karst Region* ali preprosto *Classical Karst*, pa tudi *Karst* v angleščini.)

Kras je opisan v številnih šolskih učbenikih vsega sveta, o njem pripovedujejo literarne mojstrovine in ga doživeto opevajo poetična dela, njegovo kamenje razkriva zgodbe o sodelovanju in spopadih med različnimi ljudstvi, o starodavnih mitskih popotnikih in barbarskih osvajalcih, o prvih korakih prazgodovinskih prebivalcev jam in kaštelirjev, o pastirjih in kmetih ter njihovi borbi s pomanjkanjem vode.

Kamnine nam razkrivajo zgodbo svojega nastanka pred desetlinami milijonov let v okoljih, ki so danes oddaljena več tisoč kilometrov, kako so se nato dvigale in upogibale, ko so se vzpele nad morsko gladino in bile izpostavljene vremenskim vplivom. Povedo nam tudi, kako so se v zadnjih

milijonih let na njih, na površju in v globini oblikovali kraški pojavi, ki so ime dobili prav po tej pokrajini iz belega apnenčastega kamenja.

Namen tega priročnika je pomagati vodnikom po Geoparku Kras, da bodo kar najbolje odgovorili na vprašanja vseh, ki se bodo sprehajali po kraškem kamenju in si želeli podrobneje spoznati spreminjajočo se kraško pokrajino in njene prebivalce. Priročnik bo v pomoč vodnikom, da bodo zgodbo kraških kamnin lažje predstavili in obiskovalcem razložili, zakaj je *Matični Kras* čisto posebno ozemlje, pravzaprav posebno kamenje.

Sl.1 Izsek iz dela Vera Descriphone Del Friuli, zemljevida, ki ga je uredil Giovanni Andrea Vavassori leta 1553, v katerem sta precej dobro označena CHARSO in Fonte timauo.



---

## 2. GEOLOGIJA

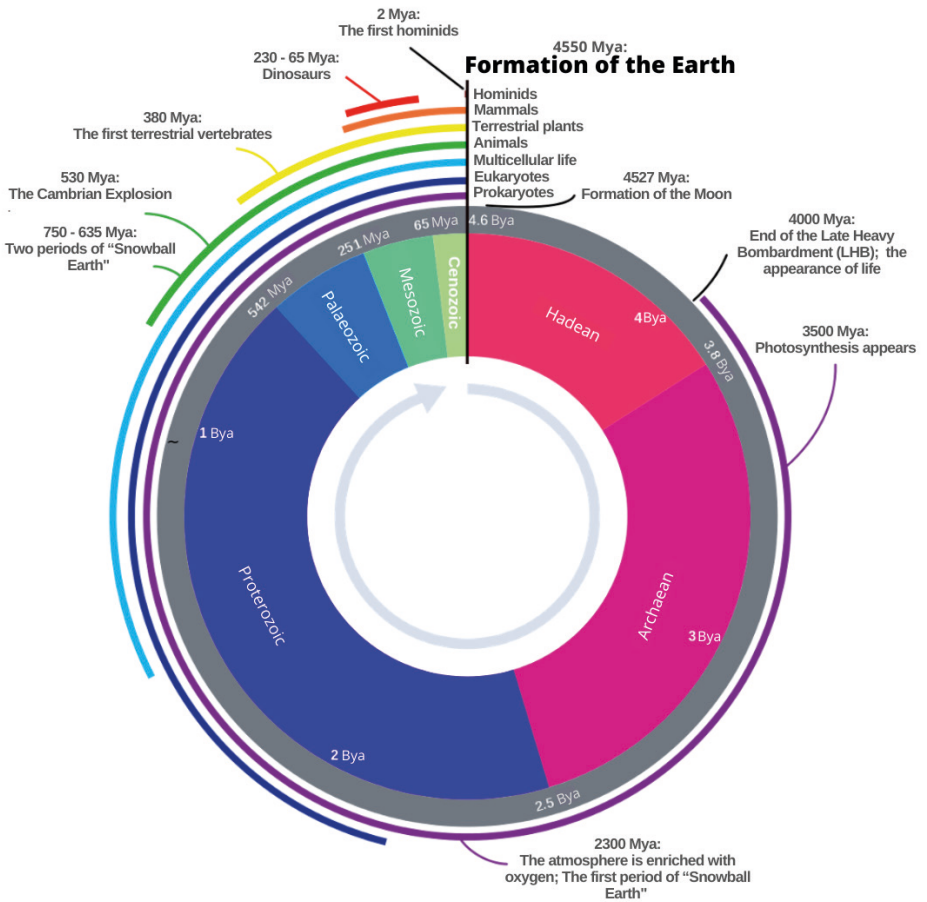
Izraz **geologija** izhaja iz zveze dveh grških besed: "γή ali **gĕ**", ki pomeni 'zemlja' in "λόγος ali **logos**", ki ima več pomenov, med drugim tudi 'razlaga'. Geologija je torej znanstvena disciplina, ki preučuje fizikalne in kemične procese, skozi katere se je in se še oblikuje naš planet. V širšem smislu geologija preučuje razvojne procese vseh Zemlji podobnih planetov, tj. nebesnih teles s trdnim površjem. Geologija v najširšem pomenu prirodoslovne znanosti se je razvijala po splošnih načelih, ki temeljijo na konceptu dinamičnosti. Dinamičnost se nanaša zlasti na dejstvo, da pokrajina pred našimi očmi ni bila vedno takšna, kot se nam kaže danes, pač pa je njena slika le en kader filma, ki se je začel pred milijardami let.

### 2.1 Geološki čas

Prvi korak k razumevanju pomena geologije zahteva nemajhen napor, da spremenimo časovne okvirje in namesto o letih, desetletjih ali stoletjih začnemo razmišljati o desettisočih, milijonih ali milijardah let. Medtem ko je razmišljanje v desetinah ali stotinah let za človeka običajno, saj se ujemata z našim doživetjem časa v povezavi z odvijanjem našega življenja, pa preskok na časovna obzorja, oddaljena milijone in milijarde let, zahteva nezanemarljiv razumski napor. Za lažje razumevanje problema je v pomoč prikaz tako imenovane geološke ure (*sl. 2.1*).

Opazovanje geološke ure nam pomaga razumeti, kako kratka je zgodovina človeštva na našem planetu in kako neznatno majhno je obdobje od pojava človeka, če ga primerjamo s celotnim obdobjem obstoja Zemlje. Starost Zemlje je približno 4,5 milijarde let. To je čas, ki je pretekel, odkar so se v sončnem sistemu združili v svojo skoraj dokončno izoblikovano obliko danes znani planeti. Za bolj poglobljen pogled na nastanek in razvoj sončnega sistema so na voljo druga besedila, v tukajšnjem kontekstu pa je pomembno, da si ustvarimo predstavo o tem, kako so geologi organizirali ali razdelili geološki čas.

Najprej je treba upoštevati, da so geologi razmejili časovna obdobja na podlagi dogodkov, zabeleženih v kamninah, tj. naravnih dogodkov, ki so bili tako prelomni, da so povzročili pomembne spremembe v življenju, te pa so na primer ostale prepoznavne v paleontološkem zapisu, tj. v fosilih (paleontologija: veda, ki preučuje živa bitja iz preteklosti), ali v podnebju planeta, o čemer pričajo spremembe v naravi ali v značilnostih kamnin. Življenje je seveda odvisno od podnebja. Naravni dogodki, ki lahko privedejo do razmnoževanja življenja ali do velikih množičnih izumrtij, so namreč vedno povezani s pomembnimi podnebnimi dogodki. Morda najbolj znan primer "pomembnega dogodka", ki ga lahko tu omenimo, je dogajanje na prehodu



Sl. 2.1 Geološka ura. (Vir: Wikipedia)

med kredo in paleocenom (za več podatkov glej opis stratigrafije Krasa), ko je glede na nekatere dokaze med drugim prišlo do padca velikega meteorita na Zemljo in izumrtja dinosavrov.

Geološka razdelitev časovnih obdobj je lepo predstavljena na *mednarodni*

*stratigrafski lestvici*, v angleščini *International stratigraphic chart* (sl. 2.2). Ob pogledu na lestvico takoj presenetni dejstvo, da velikost prikazanih časovnih obdobj ni sorazmerna z njihovim trajanjem.

Zakaj ni sorazmernosti? Zakaj je delitev tem bolj podrobna, čim bližje smo

našemu obdobju? Odgovor na obe vprašanji se skriva v natančnosti informacij, ki jih imajo geologi na voljo za določitev natančnih časovnih intervalov. Manjša natančnost je povezana z dejstvom, da bolj ko se oddaljujemo od današnjega časa, manj informacij imamo in *geološki zapisi* postajajo bolj nepopolni, zato je rekonstrukcija dogodkov v geološki preteklosti vedno bolj zapletena. Če se vrnemo k primerjavi geološke zgodovine s filmskimi kadri, se zdi, da je začetek filmskega traku že zelo poškodovan ali da manjkajo celi odseki. Kaj je povzročilo to poškodovanje informacij, ki so na voljo geologom? Tektonika plošč.

## 2.2 Tektonika plošč

Zemlja je živ planet. Že ta trditev ponuja razlago, zakaj svet, ki nas obdaja in ga opazujemo danes, ni podoben tistemu iz preteklosti, temveč je rezultat različnih evolucijskih procesov. Življenjski cikel živega bitja lahko uporabimo za zanimivo primerjavo z geološko zgodovino našega planeta. Cilj vsakega živega bitja je preživeti v svojem okolju, da bi se lahko razmnožilo in ohranilo svojo vrsto. Naš planet sicer nima enakega cilja, vendar pa ima kot vsa živa bitja svoj življenjski krog: rodi se, raste, se razvija in umre. Kaj pravzaprav pomeni trditev, da je naš planet živ? Izraz se v geologiji ne nanaša le na razvoj in evolucijo živih bitij, pač pa se planet zaradi svoje narave nenehno spreminja. Prav ta dinamika je omogočila

razvoj organskega življenja, toda zakaj? Na katerem načelu temelji dinamika planeta? Odgovor je bolj preprost od pričakovanega, gre namreč za toplotno neravnovesje.

Znano je, da je Zemlja sestavljena iz več plasti, ki so podobne čebulnim lupinam. Le da je velikost kar impresivna s približno 6370 km polmera. Plasti imajo različne kemijske lastnosti in različne temperature (*sl. 2.3*).

V središču je jedro s polmerom približno 1220 km, sestavljeno večinoma iz železa in niklja, ki je zaradi močnega pritiska v trdni obliki, njegova temperatura pa doseže 5000 °C. Trdno notranje jedro obdaja zunanje jedro, ki je prav tako sestavljeno večinoma iz železa. Od notranjega jedra se razlikuje po tem, da je tekoče in da so v njem prisotni konvekcijski tokovi, gibanje pa je posledica dejstva, da se zunanje jedro vrtil drugače kot notranje jedro. Konvekcijski tokovi ustvarjajo Zemljino magnetno polje in prenašajo toploto navzven, oba pojava sta bistvena za obstoj življenja. Okrog jedra je plašč, ki predstavlja približno 84 % prostornine celotnega planeta in je sestavljen iz ultramafičnih kamnin (silikatov, ma-

*Sl. 2.2 Mednarodna stratigrafska lestvica 2023. Upoštevajte, da se tabela pogosto posodablja glede na napredek znanja, zlasti v zvezi s starostjo kamnin. (Vir: Mednarodna komisija za stratigrafijo <https://stratigraphy.org/chart>)*

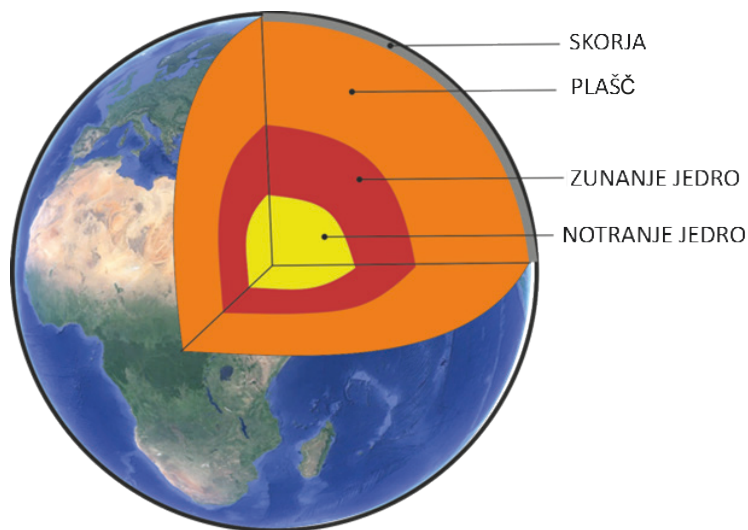


Epoch / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	numerical age (Ma)	numerical age (Ma)	Epoch / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	numerical age (Ma)	numerical age (Ma)					
Cenozoic	Quaternary	Holocene	10000	0.0117	-1650	Cenozoic	Quaternary	Holocene	10000	0.0117	388.8 ± 0.4	Cenozoic				
			11700	0.017					11700	0.017						
		Pleistocene	120000	0.129	-1650			Eocene	Oligocene	Pleistocene	120000		0.129	407.6 ± 2.6		
			70000	0.074							70000		0.074			
			25800	0.026							25800		0.026			
		Pliocene	5333	5.333	-1650			Eocene	Oligocene	Pliocene	5333		5.333	388.8 ± 0.4		
			25800	25.8							25800		25.8			
		Mesozoic	Cretaceous	Lower	145.0			1.45	-1650	Mesozoic	Cretaceous		Lower	145.0	1.45	407.6 ± 2.6
					125.0			1.25						125.0	1.25	
					113.0			1.13						113.0	1.13	
100.0	1.00				100.0	1.00										
93.9	0.939				93.9	0.939										
89.8	0.898				89.8	0.898										
83.6	0.836				83.6	0.836										
72.1	0.721				72.1	0.721										
66.0	0.66				66.0	0.66										
63.5	0.635				63.5	0.635										
Mesozoic	Paleogene	Upper	66.0	0.66	-1650	Mesozoic	Paleogene	Upper	66.0	0.66	407.6 ± 2.6					
			63.5	0.635					63.5	0.635						
			59.2	0.592					59.2	0.592						
			56.0	0.56					56.0	0.56						
			47.8	0.478					47.8	0.478						
			41.2	0.412					41.2	0.412						
			33.9	0.339					33.9	0.339						
			27.82	0.2782					27.82	0.2782						
			23.03	0.2303					23.03	0.2303						
			20.44	0.2044					20.44	0.2044						
Mesozoic	Mesozoic	Lower	198.5	1.985	-1650	Mesozoic	Mesozoic	Lower	198.5	1.985	407.6 ± 2.6					
			182.9	1.829					182.9	1.829						
			164.2	1.642					164.2	1.642						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			138.2	1.382					138.2	1.382						
			125.7	1.257					125.7	1.257						
			113.0	1.13					113.0	1.13						
			100.0	1.00					100.0	1.00						
			93.9	0.939					93.9	0.939						
			89.8	0.898					89.8	0.898						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	358.9	3.589	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	358.9	3.589	407.6 ± 2.6					
			346.7	3.467					346.7	3.467						
			330.9	3.309					330.9	3.309						
			323.2	3.232					323.2	3.232						
			315.2	3.152					315.2	3.152						
			307.0	3.07					307.0	3.07						
			298.9	2.989					298.9	2.989						
			293.52	2.9352					293.52	2.9352						
			290.1	2.901					290.1	2.901						
			283.5	2.835					283.5	2.835						
Mesozoic	Paleozoic	Middle	273.0	2.73	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Middle	273.0	2.73	407.6 ± 2.6					
			269.9	2.699					269.9	2.699						
			265.1	2.651					265.1	2.651						
			251.2	2.512					251.2	2.512						
			247.2	2.472					247.2	2.472						
			242	2.42					242	2.42						
			237	2.37					237	2.37						
			227	2.27					227	2.27						
			208.5	2.085					208.5	2.085						
			201.4	2.014					201.4	2.014						
Mesozoic	Paleozoic	Lower	192.9	1.929	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Lower	192.9	1.929	407.6 ± 2.6					
			184.2	1.842					184.2	1.842						
			174.7	1.747					174.7	1.747						
			170.9	1.709					170.9	1.709						
			168.2	1.682					168.2	1.682						
			161.5	1.615					161.5	1.615						
			154.8	1.548					154.8	1.548						
			149.2	1.492					149.2	1.492						
			148.2	1.482					148.2	1.482						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	148.2	1.482	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	148.2	1.482	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Middle	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Middle	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Lower	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Lower	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1.477						
Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	-1650	Mesozoic	Paleozoic	Upper	147.7	1.477	407.6 ± 2.6					
			147.7	1.477					147.7	1.477						
			147.7	1.477					147.7	1						

gnezijevih in železovih oksidov itd.) ter je debel približno 2890 km. Kamnine v plašču so plastične in viskozne zaradi tlakov in temperatur v teh globinah. V plašču so prisotna tudi impresivna konvekcijska gibanja, ki so posledica toplotnega neravnovesja med notranjimi in zunanji deli planeta. Najbolj zunanja lupina je znana kot skorja, nekaj deset kilometrov (20-30 km) debela plast trdne kamnine, izpostavljena močnim deformacijskim napetostim, ki jih povzročajo najgloblja konvekcijska gibanja. Ko se zavemo debeline plasti in toplotnih razlik med njimi, moramo še

ugotoviti, zakaj je toplota še vedno prisotna v notranjosti planeta in povzroča velika konvekcijska gibanja. Vprašanje na tej točki je torej: kakšen motor ohranja planet pri življenju (topel)? Odgovor je v radioaktivnosti, povezani z razpadom nekaterih elementov, kot je uran, ki so prisotni tako v plašču kot v jedru.

Konvekcija kot mehanizem prenosa toplote z gibanjem snovi je pojav, ki ga dobro razumemo, tudi zato, ker ga lahko opazujemo v vsakdanjem življenju. Pomislite samo, kaj se dogaja z vodo v posodi, ko se segreva.



Sl. 2.3 Prikaz delitve Zemlje na različne sloje: od trdnega notranjega jedra do tanke plasti skorje. (Shema: Lorenzo Bonini)

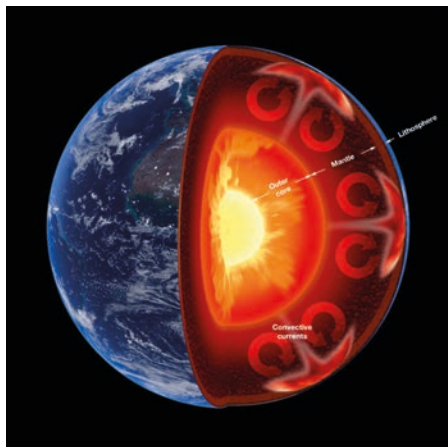
Prenos tega koncepta na naš planet zahteva le nekaj miselnega napora, seveda pa se spremeni tudi velikost posode ali hitrost gibanja vsebine v posodi.

Kar zadeva velikost, se lahko sklicujemo na to, kar je bilo povedano prej o tem, kako debel je na primer Zemljin plašč. Hitrost pa je težje zaznati. Kako lahko razvozlamo hitrost konvekcijskih gibanj? Odgovor se skriva v hitrosti, ki jo beležimo na površju in je povezana s premikanjem (drsenjem) plošč Zemljine skorje.

Ne da bi razkrivali celotno zgodbo o tem, kako je nastal model tektonike plošč, tj. teorije, ki pojasnjuje gibanje plošč in se je v znanstveni skupnosti uveljavila komaj pred slabim stoletjem, je zanimivo razumeti, s kakšnimi orodji ugotavljamo, da se plošče premikajo.

Merjenje premikov Zemljine površine temelji na tako imenovanem globalnem satelitskem navigacijskem sistemu (v angleščini *Global Navigation Satellite System*; GNSS), ki je splošno znan pod zastarelim imenom GPS. Na podlagi meritev lahko ugotovimo, da so največje relativne hitrosti med enim in drugim delom planeta nekaj centimetrov na leto (največje vrednosti okoli 5-7 cm/leto). Ali so premiki enakomerni? Ali se vsa območja planeta gibljejo z enako hitrostjo? Očitni odgovor je seveda ne, prav razlika v hitrosti premikanja različnih območij je vzrok za nenehno spreminjanje pokrajine.

Da bi razumeli, kaj je tektonika plošč,



Sl. 2.4 Konvekcijska gibanja v Zemljinem plašču. Vir: Johan Swan/123RF Fotografski arhiv – Prirejeno po M. Pregliasco.

moramo najprej vedeti, kaj pomeni tektonika in kaj so plošče. Izraz tektonika izhaja iz grške besede, ki pomeni "umetnost gradnje". V sodobni znanosti je tektonika preučevanje procesov deformacije kamnin in na ta način nastalih struktur. Plošča pa je del zemeljske skorje, ki se bolj ali manj povezano premika glede na sosednja območja. Tektonika plošč je torej preučevanje deformacij, nastalih zaradi relativnega gibanja plošč.

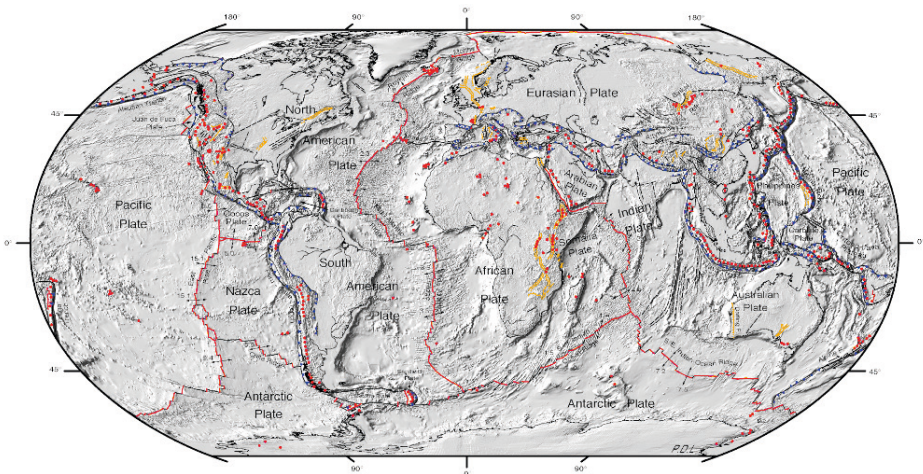
Zemljina skorja je razdeljena na več litosferskih plošč (sl. 2.5). Nekatere se medsebojno približujejo, druge oddaljujejo, nekatere pa drsijo ena ob drugi. Ko opisujemo kinematiko

plošč (kinematika v geologiji: opis gibanja kamnitih teles), pridemo do pojma *stikov*, tj. robnih območij plošč, kjer prihaja do interakcij s sosednjimi ploščami. Obstajajo tri vrste stikov. Konvergentni stiki, pri katerih pride do relativnega približevanja dveh sosednjih plošč, divergentni stiki, pri katerih se sosednji plošči oddaljujeta, in zmični stiki, pri katerih plošči relativno drsita vzporedno ena ob drugi. Še preprosteje bi lahko rekli, da obstajajo območja, kjer plošče trčijo (konvergentni robovi), se oddaljujejo (divergentni robovi) ali vodoravno drsijo ena ob drugi (transformni robovi). Relativno gibanje tektonskih plošč je razlog za nastajanje gorstev in oceanov.

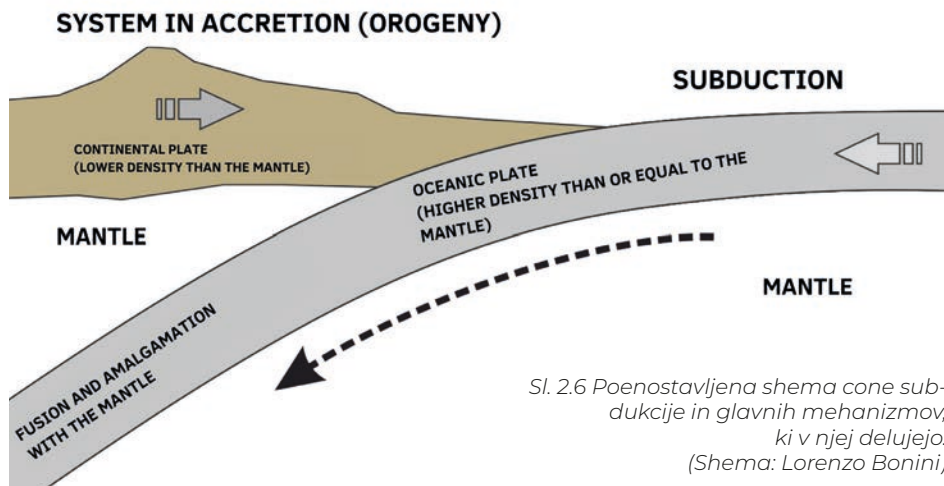
### 2.3 Orogenetski cikel in Wilsonov cikel

Izraz *orogeneza* izhaja iz grške besede *opós*, ki pomeni gora, orogeneza pa je proces nastajanja gora. Z izrazom *orogen* pa se na splošno označuje vsako vzpetino. V geologiji je pomen natančnejši in se nanaša na proces nastajanja gorske verige kot posledica konvergentnega gibanja tektonskih plošč. Za boljše razumevanje *orogenetskega procesa* je treba predstaviti nekaj geodinamskih pojmov, kot so *subdukcija*, *celinska ali kontinentalna skorja* in *oceanska skorja*.

Razlike med njimi izhajajo iz različnih vrst in gostot kamnin, ki jih sestavljajo. Celinsko skorjo običajno sestavljajo tako imenovane *kisle kamnine* (npr. graniti) z relativno nizko gostoto.



Sl. 2.5 Tektonske plošče. Rdeče in modre črte predstavljajo glavne meje plošč. (Vir: Wikipedia)



to v primerjavi s kamninami v spodaj ležečem plašču. Oceanska skorja je sestavljena iz tako imenovanih *bazičnih* ali *ultrabazičnih* kamnin (npr. bazalti, gabri itd.), katerih gostota je enaka ali večja od gostote plašča. Z razliko v gostoti plašča in obeh vrst skorje lahko pojasnimo enega glavnih procesov geodinamike in tektonike plošč, in sicer *subdukcijo*.

*Subdukcija* je proces, pri katerem tektonska plošča z enako ali večjo gostoto kot jo ima spodaj ležeči plašč, potone v plašč. Ker ima le oceanska skorja večjo ali enako gostoto kot plašč, se podrine oziroma subducira prav oceanska skorja. Mehanizem subdukcije seveda spodbujajo konvekcijski premiki in trki plošč. Dejansko se subdukcija pojavlja na robovih dveh plošč, ko ti trčita (v tem primeru govorimo o *konvergentnih*

*robovih*) in se gostejša plošča potopi v globino, se stali in združi s spodnjim plaščem (sl. 2.6).

Pri pojavu subdukcije se torej oceanska plošča spušča v plašč. V primeru konvergentnih robov so tektonske plošče, ki med seboj trčijo, lahko različnih vrst: oceanska z oceansko, oceanska s kontinentalno in kontinentalna s kontinentalno. Le v prvih dveh primerih pride do subdukcije. V tretjem primeru se sprožijo orogenski procesi, ker imata obe plošči nizko gostoto in ne zmoreta subducirati.

Kadar se dve plošči oddaljujeta druga od druge, govorimo o *divergentnih robovih*. Zaradi razmikanja nastaja med ploščama prostor. Nastali prostor začne polniti magma, ki se dviga iz najglobljih predelov zemeljske skorje, se strjuje in ustvarja novo

Lahko se zgodi tudi, da je na robovih dveh plošč gibanje pretežno vodoravno, kar pomeni, da plošči drsita ena ob drugi. V tem primeru govorimo o *transformnem ali zmičnem*. Najbolj znan zmični stik je prelomnica sv. Andreja, ki poteka skozi mesti Los Angeles in San Francisco v Kaliforniji. V tem primeru ni subdukcije ali nastanka orogena.

Hitrost, s katero se plošče premikajo vzdolž robov, je nekaj centimetrov na leto. Zanimivo je pomnožiti povprečno hitrost drsenja tektonske plošče s starostjo planeta. Za poenostavitev vzemimo časovni interval 4 milijarde let (starost Zemlje je 4,5 milijarde let) in hitrost premikanja 3 cm na leto. Če pomnožimo ti dve vrednosti, dobimo podatek, da se je hipotetična plošča v 4 milijardah let premaknila za dobrih 120.000 km. Ker je polmer planeta približno 40.000 km, bi lahko tektonska plošča trikrat obkrožila planet. Vendar pa je treba upoštevati še druge okoliščine, in sicer, da plošča med premikanjem vedno naleti na drugo ploščo in da je lahko hitrost premikanja, ki smo jo vzeli za referenčno, veliko večja. Ob upoštevanju tega razmisleka ugo-

tovimo, da se je približevanje ali oddaljevanje plošč od nastanka planeta lahko ponovilo več desetkrat. Če torej vzamemo določeno točko na površini planeta, lahko domnevamo, da je bila skozi geološki čas več desetkrat izpostavljena konvergentnim, divergentnim ali zmičnim premikom. Faze razpiranja in približevanja tektonskih plošč se ciklično ponavljajo: to je znano kot Wilsonov cikel.

Wilsonov cikel se imenuje po enem od sodobnih utemeljiteljev tektonike plošč, kanadskem geologu Johnu Tuzu Wilsonu (1908-1993). Wilsonov cikel temelji na teoriji, po kateri se bo na območju Zemlje, kjer prihaja do subdukcije, na neki točki zgodil trk kontinentov (tj. trk dveh kontinentalnih plošč), ki mu bo sledila faza razmiikanja z nastankom nove oceanske skorje (*slika 2.8*).

Ob zaključku torej lahko ugotovimo, da je tektonika plošč pojav, ki je oblikoval in še vedno oblikuje planet: zaradi premikov plošč nastajajo oceani, dvigajo se gorovja, ustvarjajo se nove kamnine, medtem ko druge izginjajo.



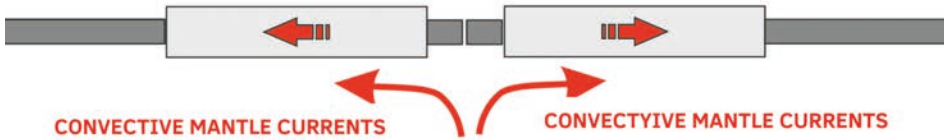
Sl. 2.7 Shema divergentnega roba z nastankom nove oceanske skorje. (Shema: Lorenzo Bonini)

# WILSON CYCLE

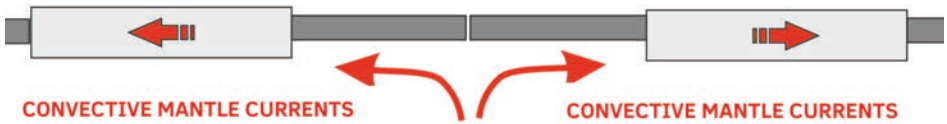
## 1. STABLE PLATE



## 2. RIFTING (SEPARATION OF PLATE)



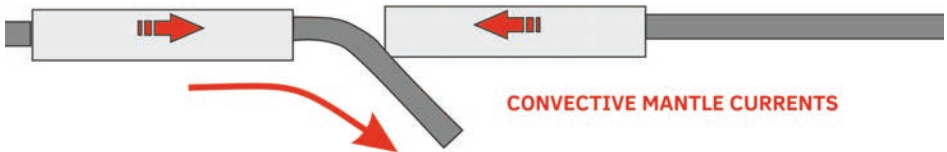
## 3. CREATION OF OCEANIC PLATE



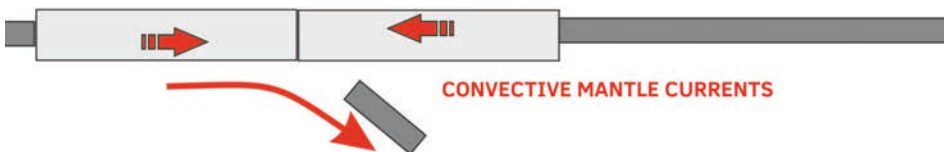
## 4. SUBDUCTION OF OCEANIC PLATE



## 5. OCEANIC CLOSURE



## 6. CONTINENTAL PLATE COLLISION (OROGENY)



## 2.4 Prelomi in gube

V prejšnjem poglavju smo predstavili glavne geodinamične cone, povezane s tektoniko plošč, tj. okolja, v katerih plošče trčijo med seboj, se razmikajo ali drsijo druga ob drugi. Kaj pa se dogaja s kamninami, ki se nahajajo ob robovih plošč? Kako se kamnine odzovejo, ko so izpostavljene stiskanju (konvergentni robovi), raztezanju (divergentni robovi) ali drsenju (transformni robovi)? Odgovor je: kamnine se preoblikujejo. A kako se preoblikujejo? Kateri fizikalni zakoni veljajo pri preoblikovanju? Zaradi poenostavitve bodo v nadaljevanju opisane deformacije, ki se pojavljajo v najbolj zunanem trdnem delu planeta, ki ga imenujemo zgornja skorja. Ko so kamnine v skorji podvržene obremenitvam (tektonskim obremenitvam), se odzivajo na dva načina: kot *toga* ali *duktilna* snov. Toge kamnine se ob delovanju tektonskih sil lomijo. Duktilne pa se upogibajo oziroma plastično deformirajo, ne da bi se zlomile. Z ozirom na ti dve reakciji je bil uveden koncept, na katerem temeljita dve glavni tektonski strukturi, to so *prelomi* in *gube*. Obe strukturi, ki sta posledici deformacije kamnin, se oblikujeta v zgornji skorji in lahko obstajata sočasno. Ali se kamnina naguba, prelomi ali oboje, je odvisno od njenega *reološkega obnašanja*, tj. od tega, kako se kamnina odziva, ko je izpostavljena obremenitvi. Dober primer za prikaz različnega reološkega obnašanja je, če si predstavljamo, da v stiskalnici stisnemo blok granita in blok kamene soli. Pri enakih obreme-

nitvah opazimo, da se granitni blok zlomi (*prelom*), blok kamene soli pa se z ob stiskanju upogne (*gubanje*). Kako opisujemo in razvrščamo gube in prelome? Glede prelomov je treba pred obravnavo različnih vrst predstaviti koncepta *krovninskega in talninskega bloka*. Če je prelom ploskev, vzdolž katere se premikata kamninska sklada, je krovninski blok nad prelomom, talninski blok pa pod prelomom. Prelome delimo na tri vrste: *reverzne*, *normalne* in *zmične*. Pri *reverzних prelomih* se krovninski blok premika navzgor vzdolž prelomne ploskve. Pri *normalnih prelomih* se krovninski blok premika navzdol vzdolž ravnine preloma. Pri *zmičnih prelomih* tektonska bloka drsita eden ob drugem (*slika 2.9*). Posebna vrsta reverzних prelomov so *narivni prelomi* (v angleščini *thrusts*), to so reverzni prelomi pod nizkim kotom, vzdolž katerih so opaženi znaki precejšnega premika.

Pri gubah pa je razvrstitev odvisna od njihove oblike. Obstajajo izbočene *antiklinale*, ki imajo obliko obrnjene črke U ali črke A, in vbočene *sinklinale*, ki imajo obliko črke U ali obrnjene črke A.

Preprost praktični primer, ki prikazuje, kako se tektonske strukture oblikujejo zaradi obremenitve, je list papirja, ki ga primete na dveh koncih. Ko roke približate, se list deformira in tvori gube. Enak mehанизem se pojavlja tudi v naravi, vendar veliko počasneje.

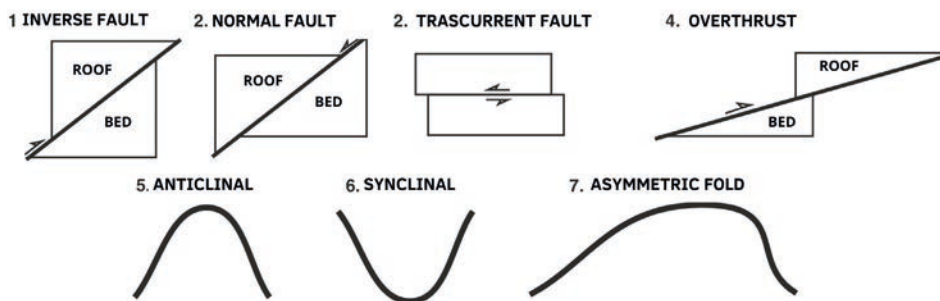
## 2.5 Razvoj orogena

Kot smo že omenili, se z izrazom orogeneza poimenuje proces nastanka gora, gorovij. Izraz orogen pa se nanaša na rezultat orogenetskega procesa, tj. procesa nastajanja gorskih verig. Vsa gorovja na našem planetu so posledica orogenez, ki so se zgodile na konvergentnih robovih. Orogenetski cikel se začne s konvergenco dveh plošč, najpogostejši primer pa je, da se začneta približevati dve tektonski plošči različnih vrst: oceanska in kontinentalna (slika 2.10).

Prvi učinek približevanja kontinentalne in oceanske plošče je, da se začne plošča z večjo gostoto, tj. oceanska plošča podrivati oz. subducira. Ploščo, ki bo nadaljevala subdukcijo, imenujemo tudi spodnja plošča. Za ploščo, ki se bo dvignila nad subdukcijsko ploščo, v žargonu rečemo, da se *nariva na* subdukcijsko ploščo, imenujemo zgornja plošča. Od trenutka, ko se začne subdukcija, se bo zgornja plošča obnašala kot nekakšen

buldožer, ki kopa kamninski material med obema ploščama, le-ta se zleplja, lomi in deformira ter ustvari *orogenski klin* (slika 2.11).

V orogenetskem sistemu se območje, iz katerega prihaja "buldožer" (v tehničnem žargonu pogosto imenovano *togi backstop*), imenuje *zaledno območje* (*hinterland*), *predgorje* (*foreland*) pa območje, proti kateremu se "buldožer" usmerja. Kako se spodnja plošča odziva na napredovanje orogenega klina, ki ga potiska "buldožer"? Reagira enako kot nosilni tram, ki je izpostavljen zgoščeni obremenitvi le na enem koncu, in se začne upogibati, medtem ko se od obremenitve oddaljeni konec dviguje. Posledica upogibanja je nastanek sedimentnega bazena pred dvigajočo se verigo, imenovanega predgorski bazen ali *foredeep*, ki ga v notranjem delu omejuje orogenski klin. Dalje od verige pa se zaradi upogibanja spodnje plošče ustvari izbok-



Slika 2.9 Vrste prelomov in gub.  
(Shema: Lorenzo Bonini)

lina, imenovana periferna izboklina ali *forebulge*.

Sistem gorske verige, predgorskega bazena in periferne izbokline je dinamičen in se sčasoma spreminja. Točka v skorji, ki je v smeri potiskanja buldožerja, se bo najprej dvigala zaradi nastajanja izbokline (*forebulge*), nato se bo znašla v predgorskem bazenu in nazadnje bo vključena v kompresijske deformacije orogenskega klina.

## 2.6 Sedimentne kamnine

Kamnine delimo v tri glavne skupine: sedimentne, magmatske in metamorfne. V tem vodniku bomo opisali le glavne značilnosti in vrste sedimentnih kamnin, saj so na Krasu prisotne le sedimentne kamnine.

Sedimentne kamnine nastanejo iz sedimentov v procesu litifikacije. Sedimenti so nakopičeni nevezani delci trdne snovi, ki nastane z usedanjem ali sedimentacijo, zelo pomembnim pojavom v dinamiki Zemlje, tesno povezanim s procesi, ki usmerjajo razvoj litosfere, atmosfere, hidrosfere in biosfere.

Sedimenti so lahko posledica erozijskih procesov, ki vplivajo na kamnine v Zemljini skorji. Delovanje atmosferskih dejavnikov na primer povzroča razpadanje kamnin in nastajanje sedimentov, ki jih lahko prenašajo reke, ledeniki ali veter in se kopičijo v morjih, na poplavnih območjih itd. Sediment pa se lahko kopiči tudi zaradi neposrednega

obarjanja mineralov v trdne delce. To velja za lupine morskih organizmov, ki se lahko kopičijo na morskem dnu, ali za nastanek stalaktitov in stalagmitov v jamah. Proces sedimentacije torej potekajo na mnogih mestih na Zemlji, tako na kopnem kot v oceanih. Da bi sedimenti postali sedimentne kamnine, se morajo zlepiti v procesu litifikacije. Litifikacija je skupek procesov, ki povzročijo, da se sipek sediment - tj. sediment, v katerem različni delci niso vezani drug na drugega in se zato lahko premikajo drug glede na drugega - zlepi in postane prava kamnina. Litifikacija lahko poteka skozi daljša ali krajša časovna obdobja in na splošno v večji ali manjši meri vključuje pojava stiskanja in diagenese, tj. celoten niz kemijsko-fizikalnih pretvorb, ki jim je sediment izpostavljen po usedanju.

Druga posebnost sedimentnih kamnin je, da so pogosto *plastnate*, kar pomeni, da so v njih prepoznavne *plasti*.

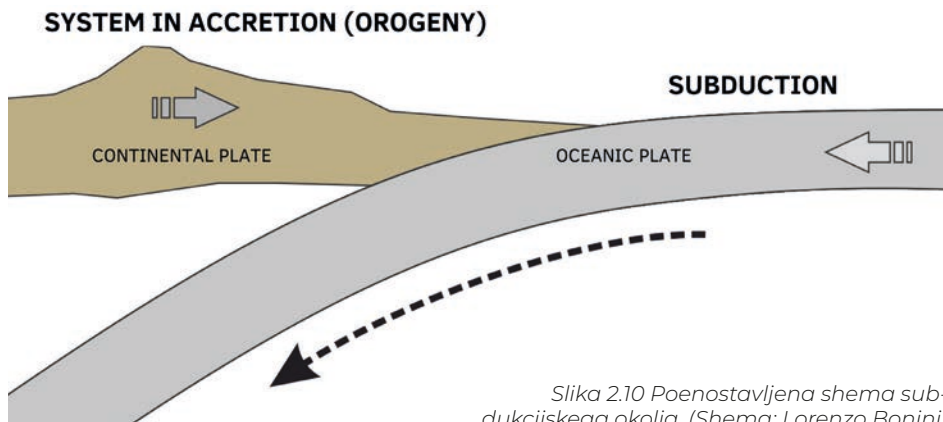
V geologiji je *plast* (ali *lamina*, če je debelina milimetrska ali celo manjša) kamninska masa s precej homogenimi lastnostmi, ki jo od krovnine in talnine (tj. zgoraj in spodaj) omejujejo približno vzporedne površine, znane kot stratigrafske *ploskve* ali *lezike*. Nastanek plasti (ali lamine) je tesno povezan s procesom sedimentacije, ki poteka običajno s prekinitvami. Lahko bi rekli, da plast predstavlja določen sedimentacijski dogodek oziroma časovno obdobje, v katerem je prišlo do akumulacije sedimenta

s precej homogenimi značilnostmi. Na splošno starejše plasti prekrivajo plasti sedimentov, ki so se odlagali v zaporednih dogodkih, in tako več sedimentacijskih dogodkov, ki si časovno sledijo, privede do nastanka *zaporedja plasti (stratifikacija)*. Čas usedanja plasti je zelo spremenljiv. V nekaterih primerih lahko nekaj milimetrov debela plast nastane v več tisoč letih, v drugih pa se lahko v nekaj urah odloži več deset metrov debela plast. Hitrost kopičenja sedimentov je zelo pomemben parameter v geologiji in se imenuje *hitrost sedimentacije*.

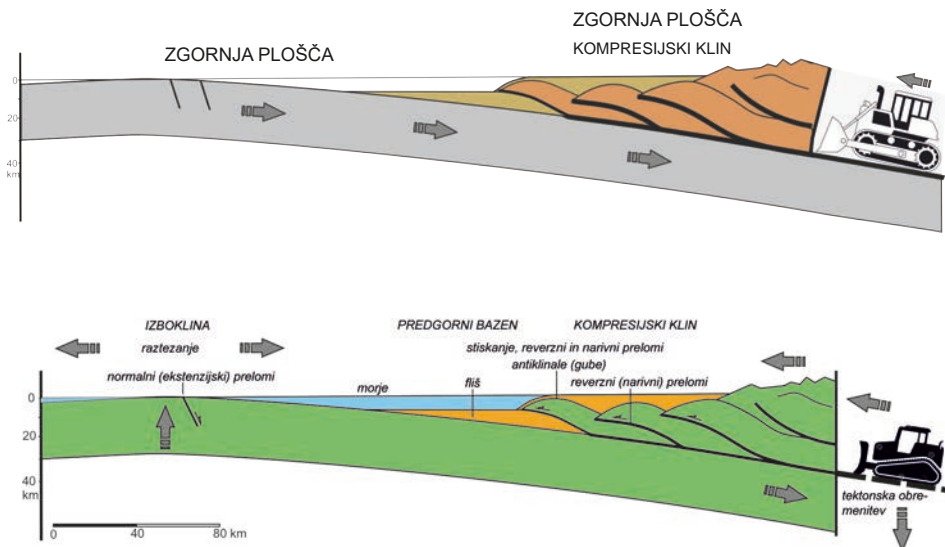
Sedimentne kamnine niso vse razslojene na enak način. V nekaterih primerih lahko opazimo številne zelo tanke plasti, včasih so plasti debelejše, spet drugič pa je plasti težko razločiti. Včasih je zelo težko ugotoviti plastnatost, saj so prisotne dolge vzporedne razpoke, ki so bolj očitne kot površine plasti. V teh primerih je treba paziti,

ali je mogoče zaznati elemente, ki zagotovo kažejo na prvotno stratifikacijo, kot so na primer fosilne akumulacije ali laminacija zaradi toka.

Nenazadnje je posebnost sedimentnih kamnin, da lahko vsebujejo *fosile*, tj. mineralizirane ostanke organizmov ali sledi njihovega obstoja (to velja v primerih *bioturbacije*). Vsebnost fosilov, je lahko zelo različna in je zelo pomemben pokazatelj okoljskih značilnosti, v katerih so se usedline, ki sestavljajo sedimentno kamnino, odlagale. Prisotnost fosilov morskih organizmov v sedimentni kamnini na primer dokazuje, da so se sedimenti, iz katerih je ta kamnina nastala, odlagali v morskem okolju. Ker se je življenje skozi Zemljino zgodovino razvijalo s pojavom novih organizmov in izumiranjem drugih, so sedimentne kamnine temeljni zapis o razvoju življenja na Zemlji, fosili pa lahko pomagajo določiti starost kamnin, ki jih vsebujejo.



Slika 2.10 Poenostavljena shema subdukcijskega okolja. (Shema: Lorenzo Bonini)



Slika 2.11 Podrobnosti orogenetskega sistema. (Shema: Lorenzo Bonini)

Slika 2.12 Glavne domene v razvijajočem se orogenem sistemu. (Shema: Lorenzo Bonini)

### 2.6.1 Terigene in karbonatne kamnine

Poznamo dve glavni vrsti sedimentnih kamnin: *terigene* (ali *klastične*) kamnine in *karbonatne kamnine*.

*Terigene kamnine* izhajajo iz sedimentov, nastalih na Zemljinem površju z erozijo že obstoječih kamnin, ki so jih reke, ledeniki in vetrovi prenašali na dolge razdalje in so se nato nakopičili v morjih ali na kopnem. Pri kopičenju terigenih sedimentov prevladujejo predvsem fizikalni procesi, kot sta gravitacija in dinamika tekočin, ki so ostali enaki skozi vso Zemljino zgodovino. To ima pomembno posledico, in sicer, da je pri preučevanju terigenih kamnin mogoče z določeno gotovostjo upo-

rabiti načelo *aktualizma*, v skladu s katerim so geološki ali fizikalni pojavi, ki delujejo v sedanjosti, z enako intenzivnostjo vedno delovali tudi v preteklosti (sedanjost je ključ za razumevanje preteklosti).

*Karbonatne kamnine* pa so rezultat neposrednega obarjanja (običajno v morski vodi, obstajajo pa tudi kopenski karbonati) delcev kalcijevega karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ). V večini primerov se karbonatni sedimenti kopičijo *in situ*, tj. na mestu, kjer se obarjajo, ali pa se ne prenašajo na dolge razdalje, čeprav obstajajo izjeme. Pri nastajanju karbonatnih sedimentov so bolj ali manj vključeni tudi biološki procesi, saj imajo živi organizmi bolj ali manj aktivno vlogo pri obarjanju

karbonatnih sedimentov. Ker se je, kot smo že omenili, življenje razvijalo skozi celotno Zemljino zgodovino, je mogoče sklepati, da so se mehanizmi nastajanja karbonatnih sedimentov in kamnin skozi čas spreminjali. Posledično je treba aktualizem pri preučevanju karbonatnih kamnin uporabljati previdno.

Karbonatne kamnine iz kalcijevega karbonata imenujemo tudi apnenci, vendar obstaja tudi druga vrsta karbonatnih kamnin, in sicer dolomiti. Dolomiti so kamnine, v katerih prevladuje dolomit (formula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Ta mineral se v pogojih, ki jih trenutno najdemo v morski vodi, skorajda ne obori neposredno, vendar je na Zemlji precej dolomitnih kamnin. Ta navidezni paradoks je mogoče razložiti na dva načina. Obstajajo dokazi, ki kažejo, da so bile v geološki preteklosti v oceanskih vodah morda drugačne kemijske razmere, kar je omogočilo neposredno obarjanje velikih količin dolomita. Poleg tega je pojav *dolomitizacije* možen med *diagenezo*, tj. med bolj ali manj intenzivnimi procesi preobrazbe, ki jih v svoji zgodovini doživljata sediment in nato kamnina. Eden od pojavov, ki lahko privede do dolomitizacije, je na primer kroženje tekočin, bogatih z magnezijem, v karbonatnih kamninah in sedimentih. Ker je dolomit ravno dvojni karbonat kalcija in magnezija ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), lahko ta značilnost olajša njegovo obarjanje.

### 2.6.2 Razlikovanje med apnenci in dolomiti

S prostim očesom je razlikovanje med apnenci in dolomiti zelo težavno. To lahko preprosto storite tudi na ekskurziji, če opazujete reakcijo, ki poteka, ko na kamen kapnete malo klorovodikove kisline (HCl). Za ta enostaven poskus je priporočljivo uporabiti razredčeno kislino (običajno 10 %). Klorovodikova kislina zelo opazno reagira z apnencem, kar povzroči močno šumečo reakcijo, saj kislina reagira s kalcijevim karbonatom, pri čemer nastanejo topna sol, voda in ogljikov dioksid (*slika 2.13*). Po drugi strani pa do te reakcije ne pride, če razredčeno klorovodikovo kislino kapnete na dolomit.

### 2.6.3 Opazovanje sedimentnih kamnin na terenu in osnove za njihovo razvrščanje

Obstaja več različnih klasifikacij ali razvrstitev sedimentnih kamnin. Razvrščanje seveda ni povezano zgolj z nomenklaturo, temveč je pomembno, ker nudi natančne podatke o fizikalnih značilnostih kamnin in o razmerah, ki so obstajale v okolju, v katerem so se odlagali sedimenti.

Treba je poudariti, da za pravilno razvrstitev kamnin običajno ni dovolj, da jih opazujemo s prostim očesom. Opazovanje je treba vedno opraviti na "sveži površini (ali svežem odlomu)", tj. na odlomku, ki je tik pred opazovanjem odbit od kamnine, uporabiti pa moramo povečevalno steklo (geologi običajno uporabljajo ročne lupe z

10-kratno ali 12-kratno povečavo, *slika 2.14*).

Druga zelo pomembna metodologija za preučevanje in razvrščanje kamnin je mikroskopsko opazovanje *zbruskov*. Petrografski zbrusek je tanka rezina kamnine, debela približno 30 mikrometrov, skozi katero lahko prodira svetloba, preučujemo jo s posebnimi mikroskopi, imenovanimi mikroskopi s *presevno svetlobo*.

V tem priročniku je navedenih le nekaj primerov razvrščanja terigenih in karbonatnih kamnin, ki nam bodo v pomoč pri spoznavanju značilnosti kamnin na ekskurziji.

Enostavna metodologija za razvrščanje terigenih kamnin temelji na opazovanju velikosti zrn, ki jih sestavljajo. Običajno se uporabljajo naslednji izrazi:

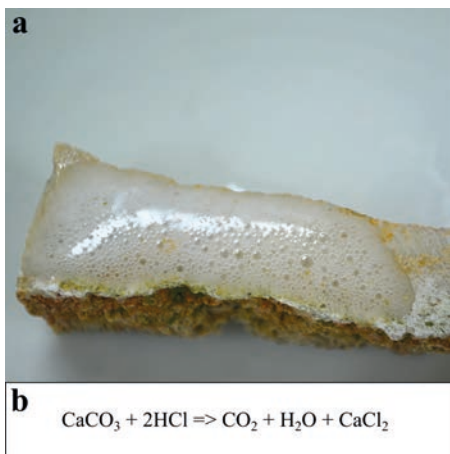
V primeru najbolj drobnozrnatih kamnin zrna niso vidna s prostim očesom, vendar se lahko uporabi empirično metodo. Če zmočite melj in glino, se obnašata

konglomerat (če so zrna zaobljena):	premer zrn > 2 mm
breča (če so zrna oglata):	premer zrn > 2 mm
peščenjak (ki je lahko drobn- ali debelozrnat)	premer zrn < 2 mm > 0,05 mm
meljavec	premer zrn < 0,05 mm > 0,005 mm
glinavec	premer zrn < 0,005 mm

različno, če ju držite med dvema prstoma ene roke. Pri melju se čuti določena hrapavost, pri glini pa mastnost, saj so delci, ki jo sestavljajo, zelo drobni. Za debelejšje delce, od peščenjaka navzgor, lahko namesto tega uporabite *primerjalnike velikosti delcev*.

Razvrstitev se lahko natančneje opredeli s pridevniki, ki se nanašajo na sestavo zrn. Na primer, peščenjak, v katerem so zrna pretežno iz kremenca, se imenuje kremenov peščenjak, konglomerat, v katerem so prodniki sestavljeni iz več različnih vrst kamnin, se imenuje polimiktni konglomerat, če pa so vsi prodniki sestavljeni iz iste kamnine, se imenuje monomiktni konglomerat.

Pri razvrščanju karbonatnih kamnin se sklicujemo na poenostavljeno različico Dunhamove klasifikacije (*slika 2.15*). Ta klasifikacija izhaja iz dejstva, da so karbonatne kamnine sestavljene iz treh glavnih sestavin: zrn (to so vsi delci, pogosto fosili, ki jih je mogoče prepoznati v kamnini), osnove (ki je iz karbonatne (mikritne) osnove, sestavljene iz karbonatnih kristalov, ki so tako majhni, da






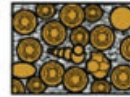

Slika 2.13 Šumeča reakcija ob stiku klorovodikove kisline z apnencem. Pri reakciji nastanejo ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in kalcijev klorid ( $\text{CaCl}_2$ ). Do te reakcije ne pride, če klorovodikovo kislino zlijemo na dolomit. (Vir: Wikipedia)

jih ni mogoče razločiti) in cementa (oborine karbonatnega minerala, ki se pojavlja v kristalni obliki različnih vrst). Razmerja med temi sestavinami so odvisna od okolja, v katerem so se odlagali sedimenti, iz katerih izvirajo kamnine, in skupaj tvorijo tako imenovano *sedimentno strukturo* kamnine. Dunhamova klasifikacija poimenuje karbonatne kamnine glede na razmerje med zrn, osnovo in cementom ter glede na to, ali so bila zrna v času odlaganja že povezana ali ne. Imenujejo se:

- mudstone: v času usedanja nevezana zrna, ki so razpršena v osnovi in predstavljajo manj kot 10 % prostornine kamnine.
- wackestone: v času usedanja nevezana zrna, ki so razpršena v osnovi in predstavljajo več kot 10 % prostornine kamnine.
- packstone: nevezana zrna v času usedanja, ki se med seboj dotikajo v osnovi.
- grainstone: zrna, ki v času use-



Slika 2.14 a) Dve glavni orodji za opazovanje kamnin na površju: geološko kladivo in ročna lupa. b) Pravilen način opazovanja z ročno lupo. Povečevalno steklo je treba držati blizu očesa, da je vidno polje čim večje, nato pa vzorec s svežo površino približujemo, dokler ga ne vidimo ostro. Za boljšo vidnost teksture kamnine in njenih sestavin, zlasti pri opazovanju karbonatnih kamnin, je pomembno, da opazovano površino navlažimo. (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)

Original components not bound together at deposition				Original components bound together at deposition. Intergrown skeletal material, lamination contrary to gravity, or cavities floored by sediment, roofed over by organic material but too large to be interstices
Contains mud (particles of clay and fine silt size)		Lacks Mud		
Mud-supported		Grain-supported		
Less than 10% Grains	More than 10% Grains			
<b>Mudstone</b> 	<b>Wackestone</b> 	<b>Packstone</b> 	<b>Grainstone</b> 	<b>Boundstone</b> 

danja niso vezana, so v stiku med seboj, malo ali nič osnove, veliko cementa.

- boundstone: zrna, vezana v času usedanja. Takšne so na primer kamnine, ki jih tvorijo korale, ki rastejo druga na drugi in se zlepijo skupaj.
- crystalline: struktura, sestavljena iz samih kristalov (cementa) in neprepoznavna tekstura, to strukturo pogosto najdemo v dolomitih.

Naj navedemo dva primera, kako lahko klasifikacija kamnin pokaže okoljske razmere, v katerih so se sedimentirale usedline, iz katerih so nastale kamnine: konglomerat nastane iz prodnikov, ki so bili podvrženi določenemu transportu in so zato zaobljeni, vendar še vedno blizu kam-

*Slika 2.15 Klasifikacija karbonatnih kamnin, ki jo je predlagal Dunham (1962). Ta klasifikacija temelji na značilnostih sedimentne strukture karbonatnih kamnin.*

ninskega vira, iz katerega izvirajo. Drobnozrnati peščenjaki ali melji pa kažejo na veliko daljši transport in se običajno v velikih količinah kopičijo na precejšnjih razdaljah od izvora. Kar zadeva karbonatne kamnine, kamnine z veliko osnove na splošno kažejo na usedanje sedimentov v mirnih okoljih, medtem ko odsotnost osnove lahko kaže na razburkane hidrodinamične razmere, ki so pospeševale izpiranje sedimentov in odstranjevanje drobnozrnate karbonatne osnove.

## 2.7 Geologija Krasa

Kamnine, ki se pojavljajo na območju

Krasa, so izključno sedimentne. Zastopani sta predvsem dve glavni vrsti sedimentnih kamnin, terigene in karbonatne, pri čemer slednje izrazito prevladujejo. Dejansko je velika večina kamninske podlage, ki tvori hrbtenico kraške planote, sestavljena iz apnenca in v manjši meri dolomita. Bogastvo karbonatnih kamnin, zlasti apnenca, je glavni razlog, da je Kras vzorčen kraj za pojav *zakrasevanja*, tj. za vse pojave raztapljanja in akumulacije, ki so posledica kemične interakcije vode z apnenčastimi kamninami.

### 2.7.1 Stratigrafija

Sedimentne kamnine, ki se pojavljajo na italijanskem matičnem Krasu, so nastale v obdobju med kreda in eocenom, v času, ki sega od 110 do 45 milijonov let v preteklost. Te kamnine izvirajo iz sedimentov, ki so se večinoma usedali v morskem okolju, čeprav obstajajo dokazi o obdobjih, ko je bilo okolje pod vplivom celinskih voda, pogosti so tudi dokazi o obdobjih, ko je bilo kraško območje kopno.

Kamnine italijanskega matičnega Krasa so razvrščene v "litostratigrafske enote" in vključujejo kamnine, ki jih je mogoče razvrstiti v skupine po njihovih značilnostih in pričajo o fazah razvoja paleo-okolja tega območja.

Razdelitev v tem vodniku (*slika 2.16 in nadaljnji opisi*) je poenostavljena razdelitev, ki izhaja iz geološke karte GeoCGT, ki jo je leta 2013 pripravila Geološka služba Avtonomne Dežele

Furlanije-Juljske krajine. Namen poenostavljenega prikaza ni ponuditi izčrpnega opisa, temveč le pomoč za lažje razumevanje kompleksnega razvoja sedimentnih okolij skozi 65 milijonov let. Več podrobnosti o litostratigrafski razdelitvi je na voljo na geološki karti, oziroma v tolmaču geološke karte GeoCGT in karti, ki so jo leta 2016 objavili Jurkovšek s sodelavci.

Karbonatne kamnine Krasa izvirajo iz sedimentov, ki so se usedali v okolju *karbonatne platforme*. Karbonatna platforma je geološko telo, značilno za plitva morska sedimentna okolja, v katerih zaradi kopičenja karbonatnih sedimentov nastajajo tvorbe, ki so dvignjene na morskem dnu in za katere je značilen raven vrh (od tod ime platforma). Primeri današnjih karbonatnih platform so Bahami, Maldivi itd. (*slika 2.17*), vendar je treba opozoriti, kot že omenjeno, da je nujna določena previdnost pri primerjavah med današnjim in preteklim okoljem, saj so se s časom spreminjali tudi organizmi, ki so glavni akterji pri nastajanju karbonatnih sedimentov, zato so se lahko spremenile tudi značilnosti geoloških teles, nastalih z akumulacijo teh sedimentov.

Platforma, na kateri so nastale karbonatne kamnine, ki izdanjajo na Krasu, se imenuje Jadranska karbonatna platforma (*slika 2.17*). To je bila obsežna karbonatna platforma, katere kamnine danes izdanjajo na površini od Furlanije-Juljske krajine,

**a****STOP**

third day



second day



first day

**LEGEND**

nummulate



alveolines



rudists

(e.g. hippuritids, radiolithids)



Chondrodonta



Planoktonic foraminifera



miliolids



requienid

**Bx**

bauxites



conglomerates



breccias



sandstones



marls



dolomites



limestones

Age

stratigraphic unit

**E O C E N E**

Upper Ypresian - Lutetian

Trieste  
Flysch

2

5

2,3

1

7

**PALEOC.**Salendian-  
YpresianAlveoline  
and  
Nummulate  
limestones

1

Upper  
Campanian-  
DanianLiburnian  
limestones

1

Upper Cenomanian - Campanian

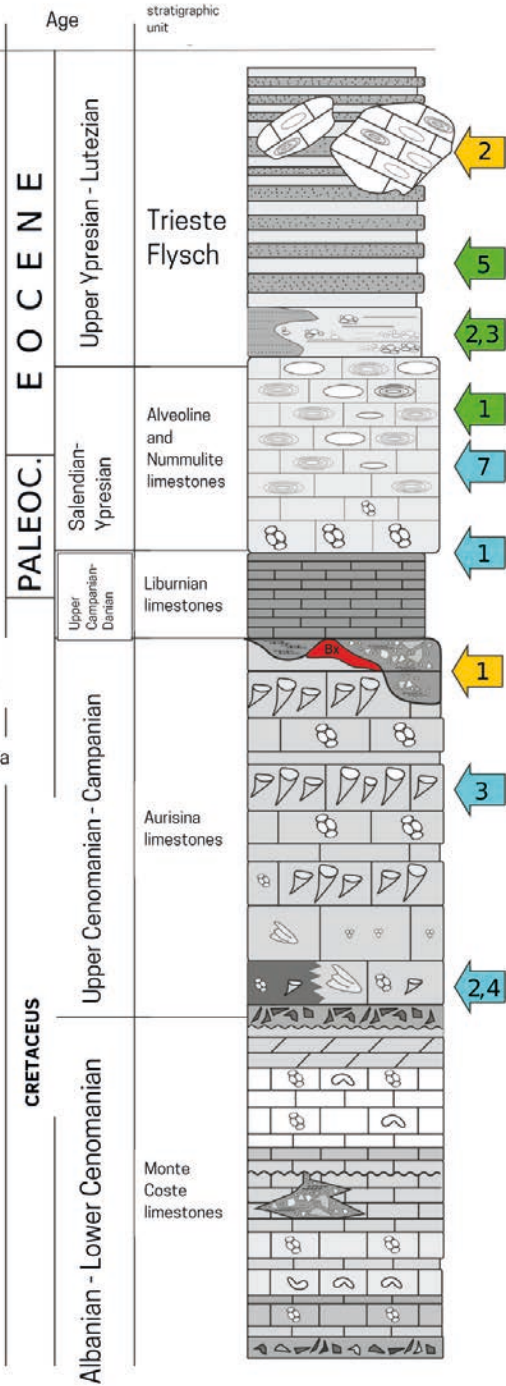
Aurisina  
limestones

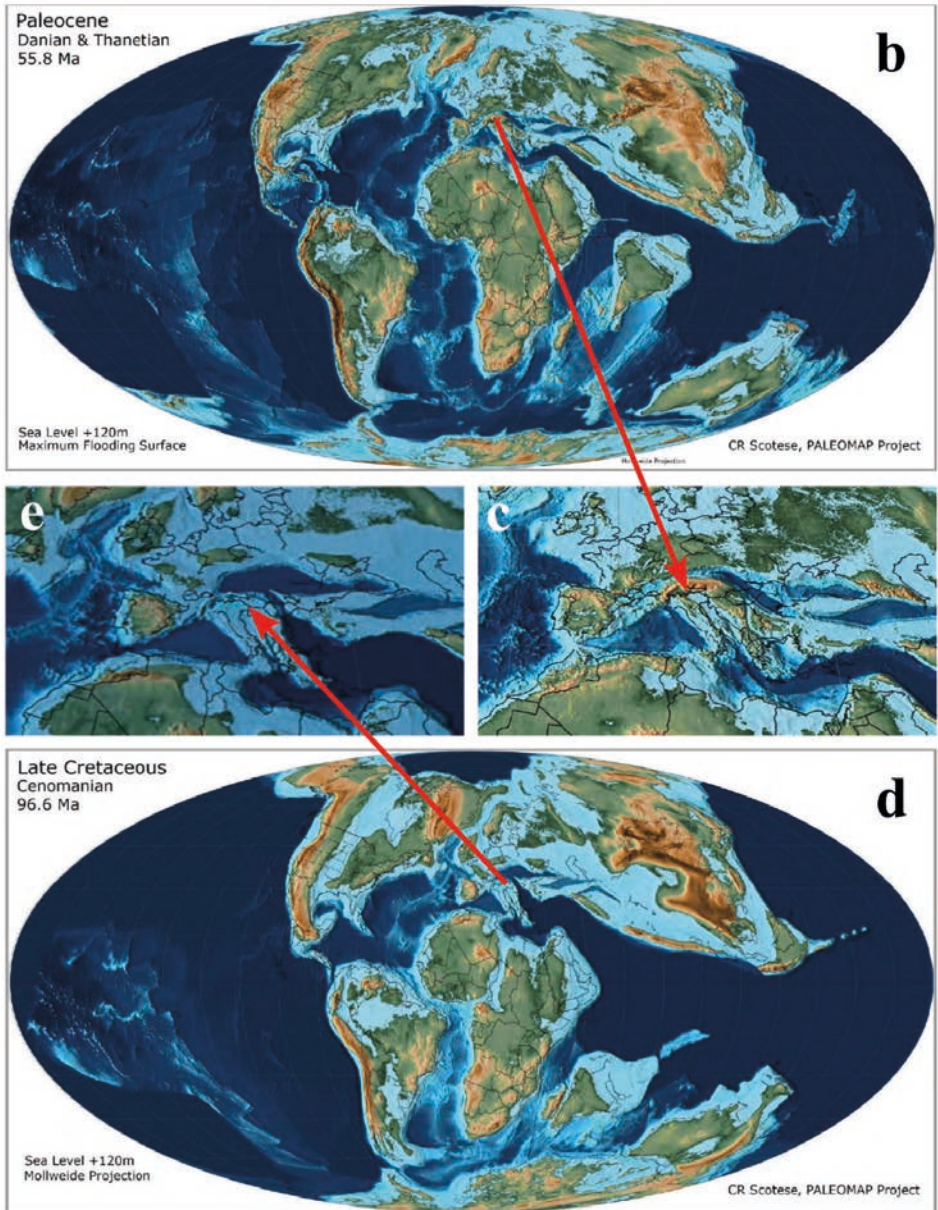
3

2,4

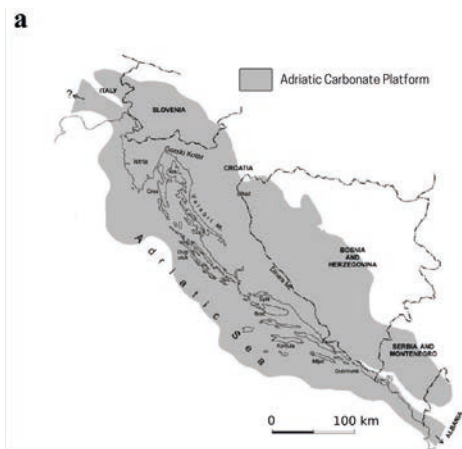
**CRETACEOUS**

Albanian - Lower Cenomanian

Monte  
Coste  
limestones



Slika 2.16 a) Litostratigrafski stolpec sedimentnega zaporedja kamnin na Krasu. Označene so litostratigrafske enote, na katere se nanašajo opisi v besedilu. (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu) b) paleogeografija v pozni kredi. c) povečan prikaz sredozemskega in evropskega območja. d) paleogeografija v paleocenu. e) povečan prikaz sredozemskega in evropskega območja. Paleogeografske karte, Scotese (2014).



vzdolž Dinaridov do Črne gore in ki se je od zgodnje jure naprej razvijala v oceanu Tetida, velikem morskem območju, ki se je raztezalo v smeri vzhod-zahod na tropskih zemljepisnih širinah. Italijanski Kras zavzema severozahodni konec te velike platforme, ki se v literaturi imenuje tudi Furlanska platforma.

Terigene kamnine, ki izdanjajo na Krasu, večinoma *pripadajo flišu*. Fliš je posebno zaporedje kamnin, ki izvirajo iz sedimentov, odloženih v sedimentacijskih bazenih iz *turbiditnih kalnih tokov* (slika 2.18). Kalni tokovi so podmorski plazovi z vodo bogatih sipkih sedimentov, ki se pojavljajo na morskem dnu (kalni tokovi se običajno pojavljajo v morjih, lahko pa tudi v jezerih). Kamnine, ki so nastale pri teh dogodkih, se imenujejo tudi

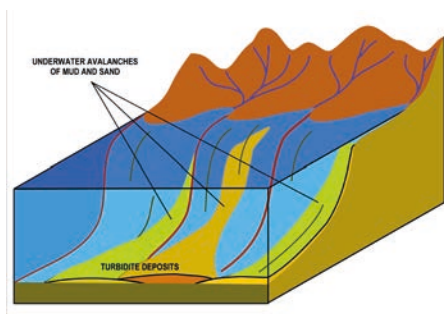
*turbiditi*. Eno od okolij, kjer se lahko kopičijo debela turbiditna zaporedja, so *predgorski bazeni*, ki nastajajo na čelu aktivno dvigajočih se gorskih verig zaradi postopnega povečevanja teže, s katero na litosfero deluje rastoči in vse debelejši orogen.

### 2.7.2 Kaj nam povedo kamnine v stratigrafskem zaporedju Krasa.

Litostratigrafsko zaporedje Krasa, kot smo že omenili, nam pripoveduje o razvoju območja skozi obdobje približno 65 milijonov let, med kredo in eocenom. V tem obdobju se je kraško območje nahajalo v tropskih širinah in ga je večino časa prekrivala voda oceana Tetida. Med zgodnjo in pozno kredo (kostenski apnenci in nabrežinski apnenci) se je območje sedimentacije nahajalo v notranjem delu severozahodnega predela Ja-

Slika 2.17 a) Paleogeografija Jadranske platforme v kredi. Prikazana je današnja geografija vzhodnega in severnega Jadrana ter Balkana, ki omogoča razumevanje obsega te karbonatne platforme (povzeto po Vlahović in sod., 2005). Za primerjavo je pod b) prikazan eden največjih sedanjih primerov karbonatne platforme: Great Bahama Banks.

dranske platforme (slika 2.18). Morje je bilo plitvo in je le redko doseglo globino nekaj deset metrov. Zaradi bližine površja so bili zelo pogosti primeri, ko je okopnelo zaradi relativnega nihanja morske gladine. Že v tem obdobju so se pojavili prvi znaki dvigovanja Dinarskega gorovja proti severovzhodu zaradi začetnih faz Alpske orogeneze. Med pozno kredo in zgodnjim paleocenom kamnine



Slika 2.18 Risba, ki prikazuje predgorski bazen na čelu dvigajočega se gorovja s poudarjenimi podmorskimi plazovi, turbiditnimi tokovi in pripadajočimi turbiditnimi nanosi. Tržaški fliš, opisan v nadaljevanju, je sestavljen večinoma iz turbiditov. Iz Wikipedije.

(Liburnijska formacija) pričajo o postopnem zniževanju relativne morske gladine, na kar je močno vplivalo dvigovanje Zemljine skorje, povezano z litosferskim izbočenjem (*bulging*) zaradi postopnega dvigovanja dinarske verige. Po tem dvigu, ki je povzročil pomembne epizode dviganja nad gladino in faze, za katere so bile značilne skoraj kopenske razmere z močnim vplivom sladke vode, se je morska gladina ponovno začela dvigovati zaradi približevanja predgorskega bazena Dinarskega gorovja, ki je napredovalo od severovzhoda proti jugozahodu. To je omogočilo nastanek nove karbonatne platforme, ki jo sestavljajo alveolinsko-numulitni apnenci. Platforma je preživela do spodnjega eocena, ko se v kamninah pojavi nenadna litološka sprememba. Nad apnenci platforme so kamnine, ki pričajo o globokomorskih razmerah (podlaga tržaškega fliša). Opisani prehod predstavlja to, kar geologi imenujejo *potopitev platforme*, in priča o prenehanju plitvomorske karbonatne sedimentacije zaradi močnega višanja morske gladine. Turbiditno zaporedje tržaškega fliša priča o sedimentaciji predvsem sedimentov, ki jih prenašajo kalni tokovi v predgorskem bazenu dinarske verige. Zanimiva je prisotnost velikih apnenčastih blokov v tržaškem flišu na območju Miramarskega gradu, ki pripadajo alveolinsko-numulitnim apnencem v notranjosti mlajšega tržaškega fliša (slika 2.16). Bloki so del materiala iz podmorskega paleo-pla-

zu, ki se je odložil v bazenu, kjer so se sedimentirali turbiditi. Prisotnost blokov priča o tem, da je dvig Dinarske verige na določeni točki dosegel alveolinsko-numulitne apnenice ter povzročil odtrganje velikih delov platforme.

V naslednjem odstavku so podrobneje opisane posamezne litostratigrfske enote, ki izdanjajo na Krasu.

### 2.7.3 Kraške litostratigrfske enote

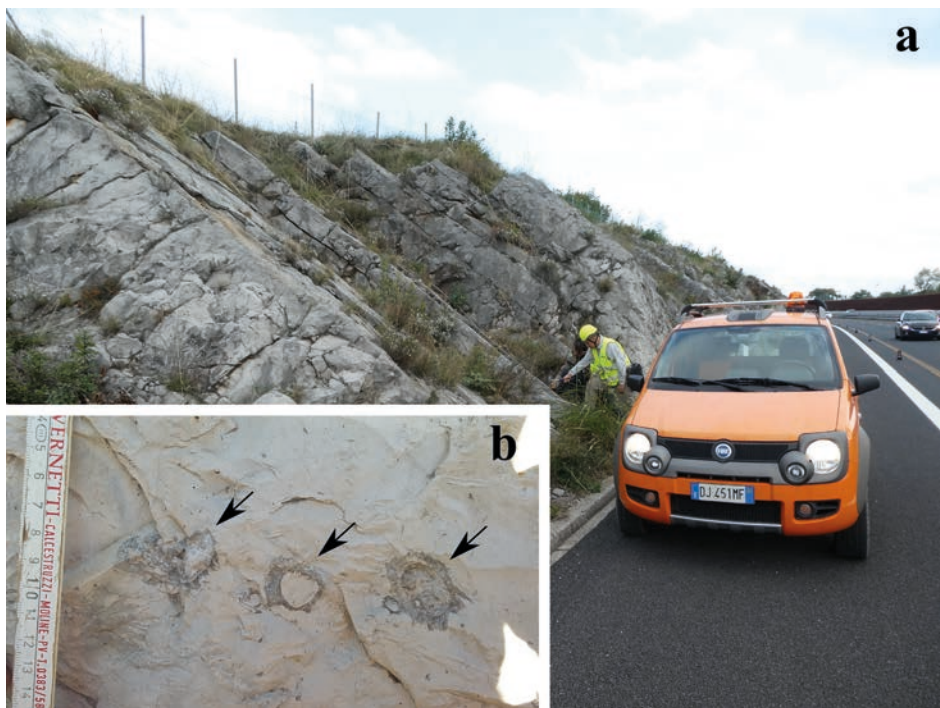
Kostenski apnenici (spodnja kreda; *albij* – *sp. cenomanij*)

Ustreza enotam "Monte Coste limestone" (Kostenski apnenec) in "Monrupino Formation" (Repentaborska formacija) iz Cucchi in sod., (2013) ter "Brje Formation" (Brska for-

macija) in "Povir Formation" (Povirska formacija) iz Jurkovšek in sod. (2016). Enota je sestavljena iz sivih do temno sivih in črnkastih apnencev z muljasto osnovo, ki so pretežno tipa wackestone in za katere so značilne pogoste akumulacije majhnih bentoških foraminifer (miliolidi). Vrhnji del enote tvori debelo (>100 m) zaporedje dolomita. Kamnine so v literaturi opredeljene kot posebna litostratigrfska enota, imenovana Repentabrska formacija.

Kostenski apnenici pričajo o sedimentaciji v nizkoenergijskem okolju notranje karbonatne platforme ("laguna") z lokalnimi akumulacijami bolj debelozrnatih sedimentov (*shoal bars* - *obalni peščeni loki*) pod vpli-





vom plimovanja, z značilnim močnim izhlapevanjem in pogostimi epizodami dviganja nad gladino.

Nabrežinski apnenec (zgornja kreda; zgornji cenomanij - kampanij)

Ustreza "Aurissima Limestone" (Nabrežinski apnenec) Cucchi in sod. (2013) ter "Repen Formation"

*Slika 2.19 Kostenski apnenec. a) izdanek. b) detajl, ki prikazuje facies breče in laminirane apnenec. (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)*

*Slika 2.20 Nabrežinski apnenec. a) izdanek. b) detajl z vidnimi rudistnimi fosili (označeni s puščicami). (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)*

(Repenska formacija), "Sežana Formation" (Sežanska formacija) in "Lipica Formation" (Lipiška formacija) Jurkovšek in sod. (2016). Enota obsega svetlosive do temnosive bioklastične apnenec v faciesih pretežno tipov packstone ali floatstone. Značilne so lupine velikih rudistnih školjk in *hondrodontnih školjk*.

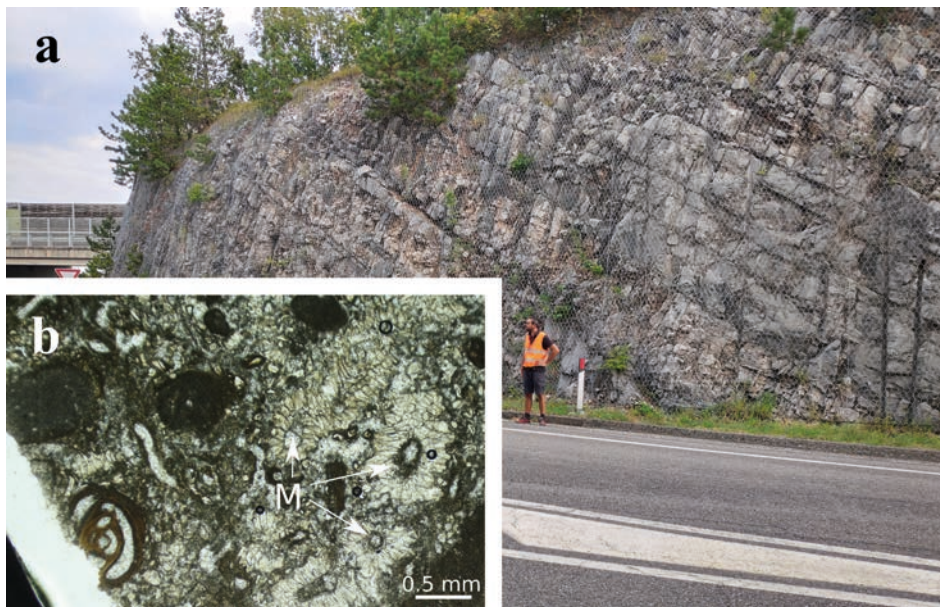
Nabrežinski apnenec so nastaja-

li v okolju karbonatne platforme, razčlenjene na območja z nizko energijo, plitkim dnom z bolj živahnim delovanjem vode in plimskimi kanali. Zlasti v srednjem in zgornjem delu enote so pogoste akumulacije rudistov znotraj apnenčastih breč, ki so nastale v kratkih epizodah okopnitev. Na vrhu enote se pojavljajo udorninske breče in akumulacije boksita, ki kažejo na dolgotrajnejšo okopnitev in na spremljajoči razvoj kraških pojavov.

Liburnijski apnenci (zgornja kreda - paleocen; *zgornji kampanij - danij*) Ustreza enotam "Liburnica Formation" (Liburnijska formacija) Cucchi in sod. (2013) in "Liburnia Formation"

(Liburnijska formacija) Jurkovšek in sod. (2016). Enota obsega zelo temno obarvane (rjave do temno sive) apnenice z muljasto osnovo v faciesih tipov wackestone ali mudstone. Pogoste so akumulacije bentoških organizmov (foraminifere, ostrakodi, polži, dazikladacejske alge, osamljene koralice) in dokazi o paraličnem okolju, kot je mikrokodij (*slika 2.21*). Liburnijski apnenci predstavljajo pretežno paralično plitvo okolje, za katerega sta značilna omejeno kroženje vode in vpliv sladke vode celinskega izvora.

Na nekaterih mestih temni apnenci, ki jih po litološki analogiji lahko



pripišemo liburnijskim apnencem, zapolnjujejo praznine v nabrežinskih apnencih, ki so verjetno nastale kot posledica paleokraških pojavov med dvigi platforme nad gladino. Za Kras so še posebej pomembni sedimenti, v katerih so bila v bližini Ribiškega naselja najdena okostja dinozavrov (*slika 2.22*). Zaradi tega odkritja je Ribiško naselje geo-točka mednarodnega pomena, saj so najdeni primerki dinozavrov popolni in anatomsko povezani, poleg tega spadajo med redke tovrstne najdbe v Italiji, zaradi svoje izjemne ohranjenosti so edinstveni tudi v svetovnem merilu.

V liburnijskih apnencih je ujet prehod med kredo in paleogenom (K/Pg), čas velikih sprememb v morski in kopenski favni in flori. Na meji K/Pg je bilo najdenih veliko dokazov o padcu velikega meteorita, ki je povzročil velike okoljske pretrese. V času prehoda K/Pg so izumrla številna kopenska in morska bitja (npr. dinozavri in amoniti), kasneje pa so se v morjih in na celinah pojavile nove vrste.

Liburnijski apnenci pričajo o povečanju kontinentalnega vpliva ter splošnem zmanjšanju globine in sedimentacijskih okolij, ki so zavzemala kraško območje. Vzrok tega dogajanja je dvigovanje Zemljine skorje zaradi rasti Dinarske verige. Kot že prej

omenjeno, se pojav distalnega dvigovanja, značilen za orogena območja, imenuje *litosfersko izbočenje*.

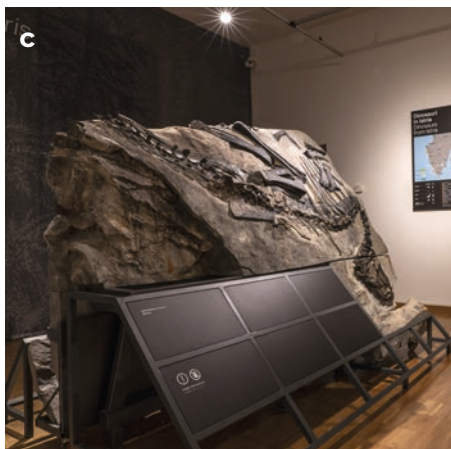
Alveolinsko-numulitni apnenci (zgornji paleocen - spodnji eocen; *selandij - ypresij*)

Enota ustreza "Alveoline and Nummuliti Limestone" (Alveolinskemu in numulitnemu apnencu) Cucchi in sod., (2013) in "Alveolinid Nummulitid Limestone" (Alveolinsko-numulitnemu apnencu) Jurkovšek in sod. (2016). Enota je tipov packstone in grainstone. Zanja je značilna prisotnost miliolidnih bentoških foraminifer ter predvsem numulitin in alveolin, včasih zelo velikih in vidnih s prostim očesom (*slika 2.23*). Tu in tam se pojavljajo dazikladacejske alge in korale.

Alveolinsko-numulitni apnenci pričajo o karbonatni sedimentaciji v okolju plitke in odprte karbonatne platforme in o postopnem poglabljanju sedimentacijskega okolja zaradi napredovanja predgorskega bazena Dinarskega gorovja, ki se je dvigalo proti severovzhodu. Zanimivo je, da se je proizvodnja karbonatnega sedimenta bistveno spremenila v alveolinsko-numulitnih apnencih. Prav ti organizmi so odgovorni za proizvodnjo večine karbonata v tem času, v nasprotju s tem, kar je opaziti v kostenskih apnencih, kjer so bili pogosti stromatoliti, ki dokazujejo obarbanje karbonata zaradi prisotnosti mikrobov (mikrobni karbonat), in nabrežinskih apnencih, kjer je bil

*Slika 2.21 Foto Liburnijski apnenci. a) izdane nek. b) zbrusek z mikrokodijem (M). (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)*

Slika 2.22 Fosili dinosavrov, najdeni v Ribiškem naselju. a) okostje dinosavra, poimenovanega "Antonio". b) okostje dinosavra, poimenovanega "Bruno" (foto Lerman).



Vse slike fosilov iz lokacije Ribiško naselje so uporabljene z dovoljenjem Deželnega zavoda za arheologijo, likovno umetnost in krajino FJK – Ministrstva za kulturo. Prepovedana je vsarkšna reprodukcija slik v pridobitne namene.

zelo pomemben prispevek rudistov.

Tržaški fliš (spodnji eocen; *zgornji ypresij - lutecij*)

Ta enota ustreza imenoma "Flysch di Trieste" (Tržaški fliš) Cucchi in sod., (2013) in "Flysch" (Fliš) Jurkovšek in sod. (2016). Sestavljajo jo debelo- do drobnozrnati peščenjaki, meljevci in glinavci s sedimentnimi teksturami, kot so plastnatost, tokovni odlitki in

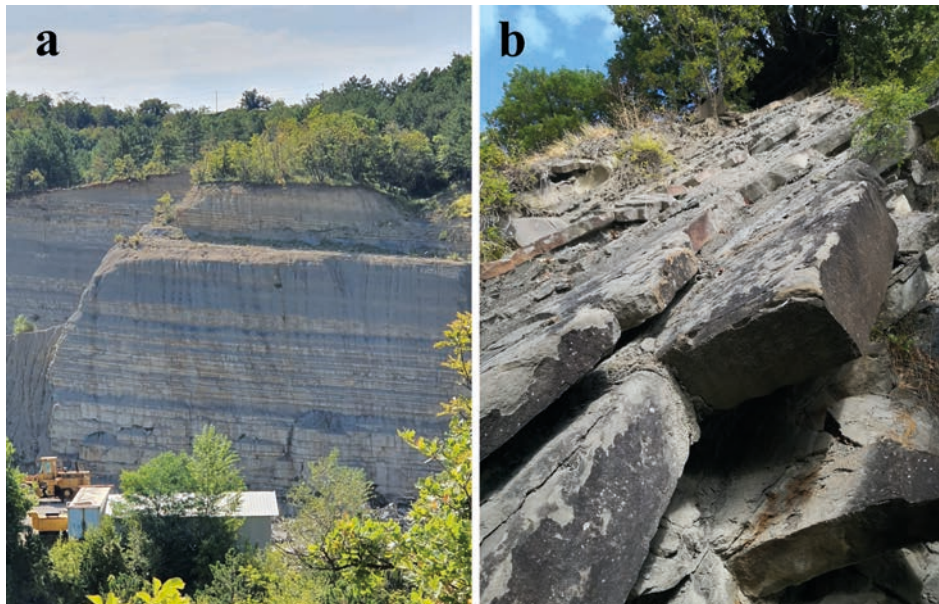
brazde, ki so značilni za turbiditna zaporedja. Med tržaškim flišem ter alveolinsko-numulitnimi apnenci so plasti laporovcev in lapornatih apnencev s planktonskimi foraminiferami in kalkareniti, ki so v literaturi označene kot "prehodne plasti". Na stiku s spodaj ležečimi alveolinsko-numulitnimi apnenci je značilna prisotnost breče z oglatimi do zaobljenimi apnenčastimi klasti.

Kot celota predstavlja tržaški fliš konec karbonatne sedimentacije v plitvem morju na območju Krasa. Laporovci in lapornati apnenci, ki ponekod prekrivajo alveolinsko-numulitne apnence, pričajo o potopitvi karbonatne platforme s splošno poglobitvijo sedimentacijskega okolja.

*Slika 2.23 Alveolinsko-numulitni apnenci. a) Izdanek. b) detajl, v katerem so vidni fosili numulitnih foraminifer. c) detajl, v katerem so vidni številni fosili alveolin (bele lise na skali). d) Alveolina v zbrusku. (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)*



Slika 2.24 Tržaški fliš. a) izdanek turbiditnega zaporedja. b) detajl plasti (debeline nekaj centimetrov) peščenjakov, v menjavanju z laporastimi plastmi. (Foto: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)



Naslednje turbiditno zaporedje pa je značilno sinorogeno (tj. sočasno in genetsko povezano z dvigom gorske verige), in sicer polnjenje predgorskega bazena Dinarskega gorovja.

### **2.8 Strukturna zgradba Krasa**

Današnja morfološka zgradba Krasa je rezultat geodinamičnih dogodkov, ki so na to območje vplivali v zadnjih milijonih let. Če bi želeli povzeti sedanjo strukturo, bi lahko Kras opisali kot planoto, ki jo od morja ločuje nagnjeno območje, na katerem leži mesto Trst. Kaj je povzročilo nastanek takšne oblike? Odgovor se skriva

v orogenetski fazi, ki je območje prizadela v zadnjih 70-80 milijonih let, tj. od konca krede do danes.

#### *2.8.1 Konvergenca: dinarska orogeneza*

Proces nastajanja današnje strukture Krasa se je začel istočasno z geodinamičnimi spremembami na južnem evropskem območju. Če pogledamo tektonski zemljevid današnjega stanja v severovzhodni Italiji, območje matičnega Krasa zavzema del tako imenovanega Dinarskega gorovja. Dinarsko gorovje

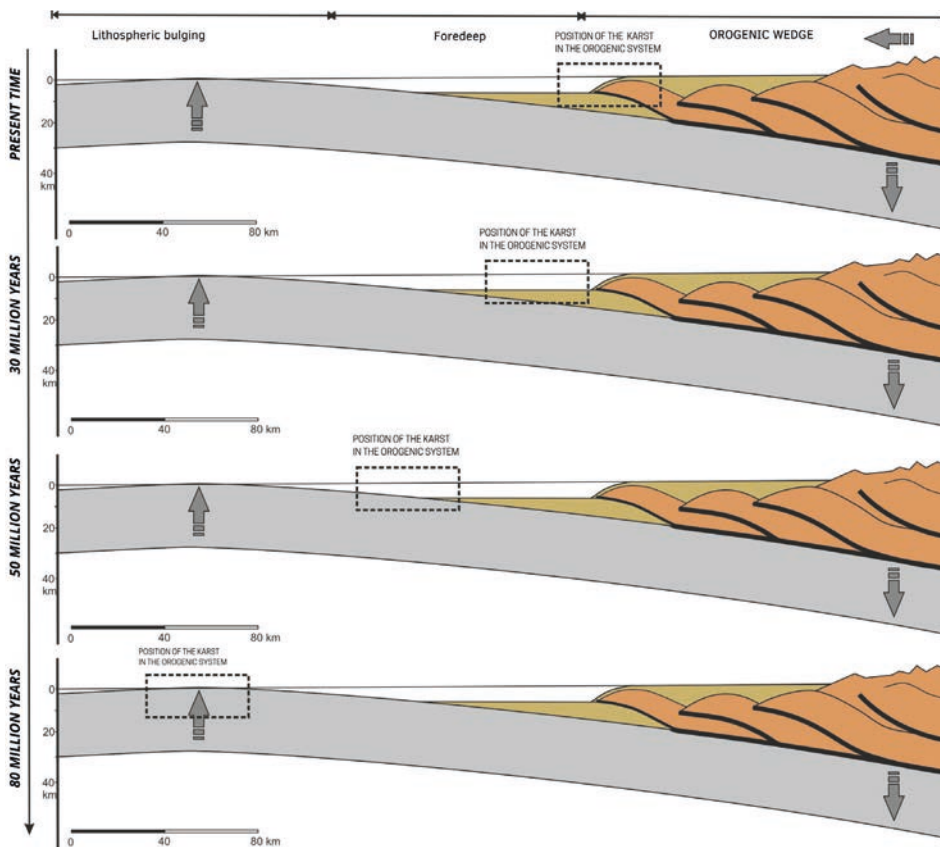
je gorska veriga, ki se razteza od severovzhodne Italije (južno od Julijskih Alp) do Albanije in Grčije (slika 2.25).

Glede na to, kar je bilo napisano prej, je nastanek orogena povezan s konvergenco. Zato so današnje razmere posledica procesa približevanja dveh litosferskih plošč, in sicer Jadranske in Evrazijske plošče. Faza približevanja se je začela v kredi z zaprtjem in subdukcijo dela oceanske skorje, imenovanega Ligursko-piemontski ocean, ki je tedaj ločeval Evropo od Jadranske mikroplošče, ki je bila rob celinske skorje Afriške plošče. Subdukcija oceanskega dela se je nadaljevala, dokler se ni potopil celoten oceanski del. Kje se je takrat nahajalo kraško območje?

Nahajalo se je razmeroma daleč v notranjosti od glavnega subdukcijskega območja in je občutilo učinke napredujočega dinarskega orogenega klina. Prvi učinki geodinamičnih sprememb na Krasu se kažejo v času odlaganja Liburnijskih apnenec, ki so se usedali v plitvih morskih okoljih prav zato, ker je bilo območje zaradi prehoda litosferskega predela podvrženo dviganju. V nadaljevanju se kraško območje postopoma poglablja, kar je posledica približevanja orogenetske fronte, ki je spodnjo ploščo prisilila, da se je spuščala in podrivala. V tem obdobju se je oblikoval tako imenovani predgorski bazen, ki se je zapolnil zaradi turbiditne sedimentacije (tržaški fliš). Večina



Slika 2.25 Tektonska karta Evrope. (Vir: Wikipedia)



Slika 2.26 Poenostavljen razvoj orogenega sistema z lokacijo Krasa. (Shema: Lorenzo Bonini)

orogenih vplivov se je končala pred približno 20 milijoni let, ko je orogena fronta zajela kraške kamnine in jih vključila v orogeni klin ter tako ustvarila strukturo, ki še danes prevladuje na tem območju, veliko kraško antiklinalo (slika 2.26).

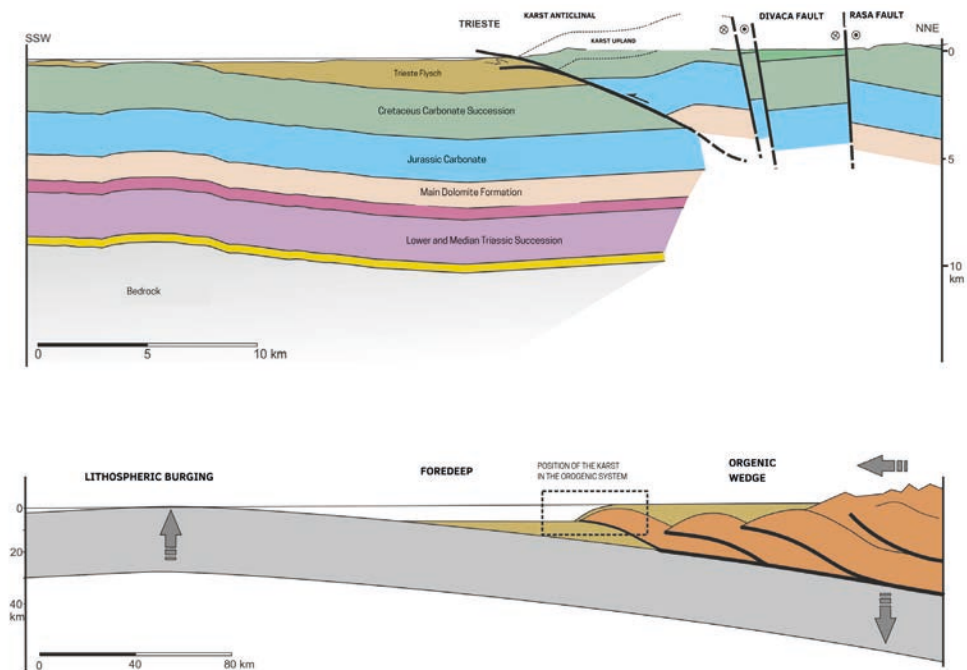
2.8.2 Kras v geološkem času: potovanje v preteklost

Če si zdaj predstavljamo navpični prerez vzdolž kraškega območja, lahko opazimo prevladujočo strukturo, in sicer veliko asimetrično antiklinalo (slika 2.27).

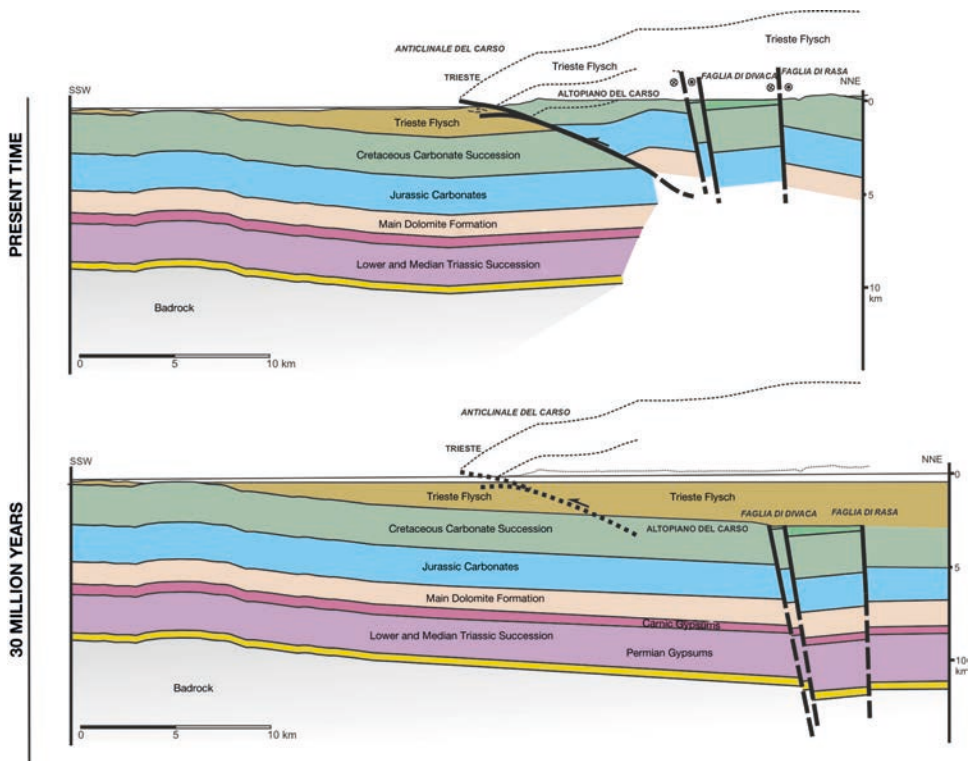
Izraz asimetričen pomeni, da je ena stran, tj. del gube, manj nagnjena kot druga. Zlasti krilo, obrnjeno proti severovzhodu, je manj nagnjena kot krilo, obrnjeno proti jugozahodu,

tj. območje Tržaškega zaliva. Dejstvo, da je notranje krilo (tj. obrnjeno proti *zaledju*; glej pomen *zaledja* in *predgorja* v prejšnjih poglavjih) manj nagnjeno, je olajšalo nastanek kraške planote. Toda kako je mogoče, da najstarejši členi (npr. nabrežinski apnenci) danes izdajajo na Krasu na vrhu planote? Kje se nahajajo kamninska zaporedja, ki so prekrivala karbonatna zaporedja, tj. fliš? Odgovor se skriva v eroziji. Ne smemo pozabiti, da je struktura, ki jo opazujemo

danes, v bistvu enaka kot pred 20 milijoni let. V tem času je v glavnem potekala erozija mlajših kamnin, tj. tržaškega fliša (slika 2.27). Če se vrne mo k antiklinali, vidimo, da je povezana z velikim reverznim prelomom, ki ga imenujemo tudi nariv. Obe strukturi sta značilni za kompresijska orogena okolja. Opozoriti je treba, da tektonska struktura, ki prevladuje na Krasu, predstavlja najbolj zunanjo strukturo dinarske orogeneze in je zato najmlajša, saj je starost struktur



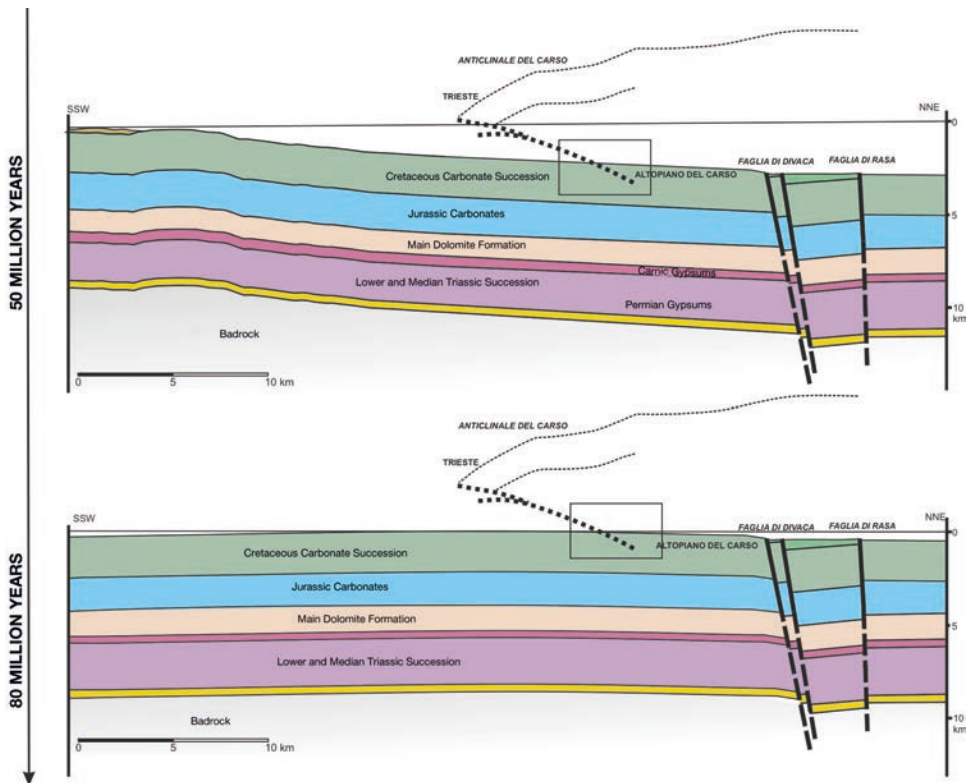
Slika 2.27 Poenostavljen geološki prerez strukture, ki jo danes opazimo na Krasu. (Shema: Lorenzo Bonini)



v teh sistemih praviloma mlajša, ko se pomika od notranjih delov (*zaledje*) proti zunanjim delom (*predgorje*). Da bi boljše razumeli dolgo obdobje nastajanja današnje strukture Krasa, si je treba ogledati serijo fotografij, ki prikazujejo glavne geodinamične dogodke na območju (*slika 2.28*).

Prvi okvir prikazuje sedanjo strukturo z že omenjenima antiklinalo in narivom v sredini. Proti jugozahodu leži območje Tržaškega zaliva, katerega podlaga je najprej tržaški fliš, ki pokri-

va vse sedimentne kamnine, značilne za severovzhodne regije Italije (od jurskih karbonatov do permsko-triasnih raznolikih sedimentov), sledi kristalinična podlaga, ki jo sestavljajo stare vulkanske in metamorfne kamnine. Če pogledamo proti severovzhodu, lahko prepoznamo dve veliki tektonski strukturi: Divaški in Raški prelom. Te strukture kažejo znake nedavne kinematike zmičnega tipa. Postavlja se vprašanje, kakšni mehanizmi so vplivali na ti dve zmični strukturi, ki se nahajata v pretežno



Slika 2.28 Rekonstrukcija glavnih tektonskih faz, ki so vplivale na Kras. (Shema: Lorenzo Bonini)

kompresijskem okolju.

Če poskušamo slediti tektonski zgodovini območja, torej času pred nastankom velike antiklinale, imamo pred seboj sedimentacijski bazen, v katerem se je odlagal tržaški fliš (predgorski bazen). Takrat sta zgoraj omenjena preloma bila normalnega (in ne zmičnega) tipa, saj se je ob nagnjeni prelomni ploskvi krovninski blok spustil glede na talninski blok. Ali to pomeni, da sta Divaški in Raški prelom nastala v ekstenzijskem okolju? Se pravi, v bližini divergentnega roba?

Nič od naštetega. Geodinamični mehanizem njenega nastanka je razviden iz sheme, ki prikazuje stanje pred približno 80 milijoni let, ko je bil Kras na območju, ki je bilo izpostavljeno pojavu *izbočenja (bulging)*, tj. upogibanju plošče, ki je subducirala. Prav upogibanje je povzročilo nastanek teh dveh ekstenzijskih prelomov (skupaj z drugimi manjšimi prelomi na Krasu, npr. prelomom Črna Griža-Colle Nero). Zadnje vprašanje v zvezi s to skupino ekstenzijskih prelomov je, kdaj so se ponovno aktivirali

z drugačno kinematiko, tj. zmično. Do reaktivacije prelomov je prišlo razmeroma nedavno v tektonski fazi, ki jo imenujemo neoalpska, v kateri je sprememba poti potovanja Jadranske plošče skupaj z vse močnejšim razvojem Panonskega bazena na vzhodu povzročila, da so te predhodne ekstenzijske strukture začele "delovati" kot zmični prelomi. Če se vrnemo k današnji strukturi, so njene posebnosti jasno vidne na dveh področjih. Prva je dolina Glinščice, kjer ob poti lahko opazujemo novejšo formacijo, kot so fliš in alveolsko-numulitni apnenci, ki se ponavljajo ena na drugi. Dejstvo, da so fliš ali laporovci (mlade formacije) geometrično naloženi na vrh alveolinsko-numulitnih apnencev (relativno starejša formacija kot fliš in laporovci), kaže na prisotnost reverzних prelomov ali boljše narivov. Kar zadeva veliko gubo na Krasu, jo je mogoče opazovati ob Napoleonovi cesti, kjer so plasti, ki pripadajo zunanjemu krilu antiklinala, strmo nagnjene, tako, da so skoraj navpične. Podrobnejša obravnava teh vprašanj je na voljo v poglavju o učnih poteh.

---

## BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA

CONSORTI L., ARBULLA D., BONINI L., FABBI S., FANTI F., FRANCESCHI M., FRIJIA G., PINI G.A. (2021) *The Mesozoic palaeoenvironmental richness of the Trieste Karst*. Geological Field Trips and Maps, Vol. 113(2.2). <https://doi.org/10.3301/GFT.2021.06>

CUCCHI F., PIANO, C. (2013) *Brevi note illustrative della carta geologica del Carso Classico Italiano*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale ambiente energia e politiche per la montagna, Servizio geologico.

DUNHAM R. (1962) *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. AAPG Memoir 1, <https://doi.org/10.1306/M1357>

JURKOVŠEK B., BIOLCHI S., FURLANI S., KOLAR JURKOVŠEK T., ZINI L., JEŽ J., TUNIS G., BAVEC M., CUCCHI F. (2016) *Geology of the Classical Karst Region (SW Slovenia – NE Italy)*, Journal of Maps, Vol.12(1), DOI:10.1080/17445647.2016.1215941.

SCOTESE, C.R. (2014). *Cenozoic Plate Tectonic, Paleogeographic, and Paleoclimatic Reconstructions, Maps 1-15*, The PALEOMAP Project PaleoAtlas for ArcGIS, version 2, Volume 1. DOI: 10.13140/2.1.3417.6961

SCOTESE, C.R. (2014). *Atlas of Late Cretaceous Maps, maps 16 – 22, Mollweide Projection*, The PALEOMAP Project PaleoAtlas for ArcGIS, Volume 2. DOI: 10.13140/2.1.4691.3284

VLAHOVIĆ I., TIŠLJAR J., VELIĆ I., MATIČEC D. (2005). *Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 220 (3–4). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.01.011>.

JURKOVŠEK, B., CVETKO TEŠOVIĆ, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2013: *Geologija Krasa = Geology of Kras*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije. Geological Survey of Slovenia, 205 pp

### 3. GEOMORFOLOGIJA

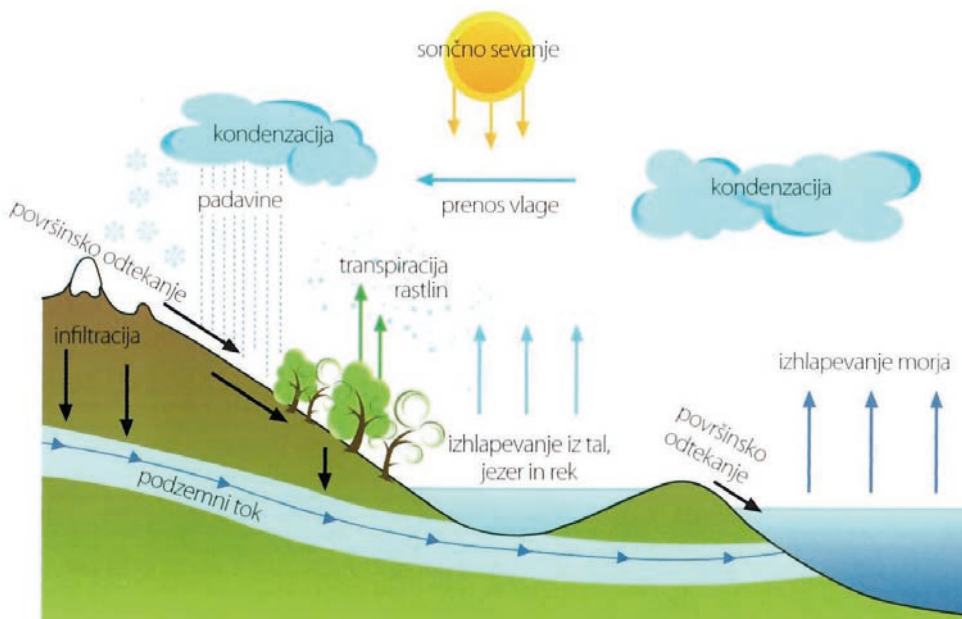
#### Uvod

Kroženje vode je temeljnega pomena za naš obstoj na tem planetu. Vodna para, ki z izhlapevanjem iz morij in oceanov prehaja v ozračje, se kondenzira v dež, pada na zemeljsko površje, ga oblikuje s hudourniki in naraslimi rekami, oživlja naravo s spodbujanjem rastlinskega življenja in omogoča življenje živali, s počasnim pronicanjem prodira v notranjost zemlje, v obliki izvirov prihaja na površje, se zliva v potoke in reke ter

nazadnje v morje. Krog se nenehno ponavlja.

Če se omejimo na vplive, ki nas neposredno zanimajo, ugotovimo, da voda ne le omogoča življenja, temveč tudi fizično oblikuje in pogojuje morfologijo kopnega s procesi, ki so včasih zelo počasni, včasih pa skoraj takojšnji. Z zunanjiimi in notranjiimi procesi oblikovanja površine, tj. erozivnim delovanjem hudournikov, rek, morij, abrazivnim delovanjem ledu

Sl. 3.1 Vodni krog  
(povzeto po Cucchi in sod., 2012).



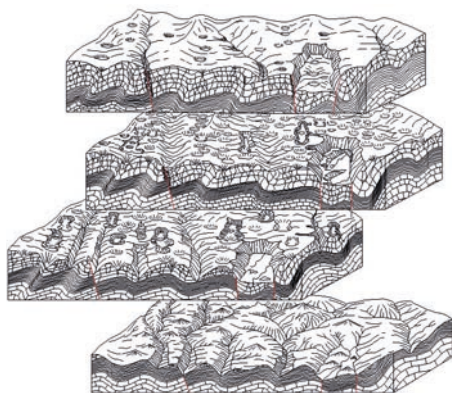
in snega, gravitacijsko – sedimentacijskim delovanjem podorov, plazov, poplav, odlaganjem drobirja, ter kemično – fizikalnim delovanjem, v katerem nastaja prst, raztapljanje, spreminjanje, preperevanje, ustvarjanje reliefov, dolin, planot, jam in drugih morfologij, ki so se razvijale z različnimi hitrostmi. Nekatere se oblikujejo in so prepoznavne šele v razponu milijonov let (na primer planote in gorovja), druge v razponu deset tisoč let (na primer doline in ravnine). Še druge se razvijajo hitro, v nekaj tisoč letih, če ne v nekaj sekundah, kot v primeru zemeljskih plazov.

Na Krasu je pred nekaj deset milijoni let iz zaporedja kamnin, sedimentiranih na dnu Tetidnega morja prvotno in nato Sredozemskega morja, pod vplivom kompresijskih sil med približevanjem Afrike in Evrazije, nastajal relief, ki so ga nato izoblikovala morja, led in reke. Skozi tisočletja so se oblike razvijale v neprekinjeni "igri" gradnje in uničevanja skozi različne morfogenetske procese, ki so potekali z različnimi in spreminjajočimi hitrostmi.

**Krasoslovje** je ime znanstvene vede, ki se ukvarja s preučevanjem kraških okolij.

Sl. 3.2 Procesi razpadanja in spreminjanja kamnin (povzeto po Panizza, 2014).

	Processes	Agents	Rock types	Climatic zones	Water	Products
Disintegration	CRYOCLASTY	ice	all	cold-humid	yes	cryoclasts
	THERMOCLASTY	insolation	all	hot-humid	no	thermoclasts
	HYDROCLASTY	water	clayey	humid	yes	hydroclasts
	HALOCLASTY	salts	all	various	yes	haloclasts
	BIOCLASTY	living organism	all	various	no	bioclasts
Chemical modification	SOLUTION	water and CO <sub>2</sub>	evaporitic and carbonates	various, humid	yes	residual minerals
	HYDROLYSIS	water	siliceous	hot-humid	yes	clayey minerals, oxides, silica
	HYDRATION	water	some	humid	yes	hydrated minerals
	OXIDATION	oxygen	some	various	no	oxides
	BIOCHEMICAL ACTION	living organism	all	various	yes	soils



Sl. 3.3 Eden od modelov razvoja kraškega masiva: začetnemu krasu sledi razviti kras in zreli kras do začetka enostavne erozijske faze (povzeto po Ford in Williams, 2007).

**Karst phenomena<sup>1</sup>** ali enostavno **karst** (**kraški pojav** ali **kras**) je rezultat skupnega delovanja raznih procesov odstranjevanja in premikanja kamnin, pri čemer je prevladujoči proces kemično raztapljanje karbonatnih kamnin, znano tudi pod imenom **korozija** ali **raztapljanje apnenca**.

Dejansko je treba upoštevati, da so vse kamnine v različnem obsegu topne v vodi, vendar le nekatere v določenih morfoklimatskih razmerah vodijo do razvoja tipične hidrološke strukture in kraških oblik. Po pomembnosti so to karbonatne kamnine, sestavljene iz kalcita, dolomita itd., evaporitne kamnine, sestavljene iz kamene soli, sadre, anhidrita itd., in kvarciti, sestavljeni iz kremena.

Karbonatnih kamnin je na zemeljski površini veliko; apneneci in dolomiti

predstavljajo približno četrtnino kopnega in so vsi bolj ali manj primerni za razvoj kraških pojavov.

Z leksikalnega vidika jih je mogoče razlikovati na naslednji način:

- **kraški pojavi**, tj. tisti, ki se običajno pojavljajo v apnenecu in apnenčastem dolomitu, tj. v kamninah z visoko ali srednje visoko vsebnostjo kalcijevega karbonata;
- **parakraški pojavi**, tj. tisti, ki se pojavljajo v kamninah z nizko vsebnostjo ali brez kalcijevega karbonata (na primer kvarciti);
- **hiperkraški pojavi**, tj. tisti, ki se razvijajo v zelo topnih kamninah (evaporiti v najširšem smislu, na primer sadre);
- **pseudokraški pojavi** tisti, ki sprožijo nastanek kraškimi podobnih morfologij, vendar njihov nastanek ni povezan s topnostjo kamnin zaradi kisle vode (na primer nekatere udornice).

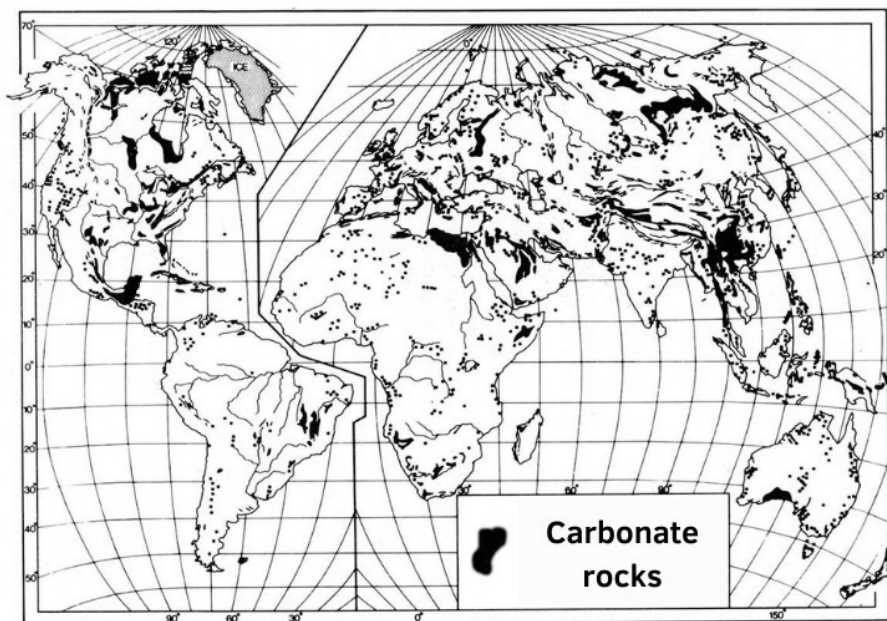
Do raztapljanja prihaja tam, kjer je voda prisotna v tekoči obliki, torej v zmernih, subtropskih in tropskih območjih. Na območjih, kjer je zelo malo dežja ali kjer prevladujeta sneg

<sup>1</sup>V *ležeči pisavi* so navedeni izrazi, ki niso v italijanščini (op. prev. v slovenščini), bodisi da gre za mednarodno uveljavljeno ali lokalno terminologijo. Če termin ni v angleščini, je z akronimom označen jezik (*fra*=francoščina, *deu*=nemščina, *esp*=španščina, *slo*=slovenščina, ...).

in led, je kraški proces manj učinkovit kot mehanski morfogenetski procesi (rečna erozija, ledeniška abrazija itd.). Raztapljanje je še posebej intenzivno ob prisotnosti ustreznih geoloških strukturnih in teksturnih pogojev, kot so diskontinuitete (stratifikacija, diaklaza, prelomi itd.) in prepustnost (med seboj povezane praznine).

Na matičnem Krasu so vse površinske kamnine sedimentne, med njimi pa so najpomembnejše karbonatne kamnine. Zato bomo v nadaljevanju obravnavali le prave kraške pojave, omejili bomo omenjanje in primerjavo z drugimi pojavi.

Na omejenem območju matičnega Krasa izdanjajo apnenci, dolomitni apnenci in apnenčasti dolomiti, dolomiti, breče in apnenčasti ali poligenški konglomerati, vendar s karbonatno matrico, peščenjaki in silikatni karbonatni laporji. Kamnine so neenakomerno prekrte s tankim slojem prsti, večinoma detritičnem; na dnu depresij je rdeča prst, ob straneh pa grušč. Če povzamemo, so morfologije povsem kraške, včasih še dodatno poudarjene zaradi erozijskih dogodkov.



Sl. 3.4 Izdanki karbonatnih kamnin v svetu (prirejeno po Ford in Williams, 2007).

Kraški procesi temeljijo na preprosti, splošno znani kemijski formuli, po kateri se karbonat (kalcit ali dolomit, ki je sam po sebi skoraj netopen mineral), potopljen v vodo, zakisano z ogljikovim dioksidom iz ozračja, počasi raztopi in postane bikarbonat (kalcijev, magnezijev ali kalcijev in magnezijev), ki je sam po sebi topen element. Zato se kamnina raztopi, voda pa odnaša raztopljeno snov v obliki ionov. Kot vse kemijske formule je tudi ta reverzibilna, zato se lahko zgodi, da se bikarbonati spremenijo

v kalcit ali dolomit in tako ponovno ustvarijo kamnino.

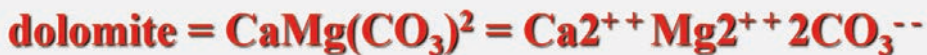
Če kraške pojave prikažemo na tak način, se zdijo banalno preprosti.

Kot se pogosto dogaja, je tudi tukaj v resnici stvar veliko bolj zapletena,

- ker je reakcija sinteza vrste med seboj verižno povezanih kemijskih reakcij,
- ker obstaja veliko dejavnikov, ki lahko pospešijo, odložijo ali spremenijo reakcije,

Sl. 3.5 Na območju izdanzajo karbonatne kamnine (svetlo zelena barva) in silikatno-karbonatne kamnine (rjava barva). (Prirejeno po: Zini in sod., 2021)





Sl. 3.6 – Reakcija karbonat/trdna snov + voda/tekočina + ogljikov dioksid/plin. (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)

- ker obstajajo številne okoliščine, v katerih se razvijajo te in druge reakcije in procesi,
- ker kamnine, v katerih potekajo procesi, niso vedno čiste karbonatne in homogene kamnine,
- ker se v času, ki je potreben, da se reakcije in procesi dovolj razvijejo, včasih precej spremenita geografija in podnebje.

Zato je treba kraške pojave analizirati ne le s povsem morfološkega in geografskega vidika, pač pa je treba v zvezi z njimi razumeti

- modele nastanka,
- načine razvoja,
- "zunanje" pogoje, ki privedejo do specifične oblike v širšem kontekstu in posledično do širšega konteksta, ki ga tvori celota posameznih oblik.



Slika 3.7 Majhne kraške oblike posnemajo vrhove, gorske doline, planote ... (foto P. Sfregola).

### 3.1 Kras

Kemijsko gledano je raztapljanje pojav, ki poteka v trifaznem sistemu (**plin + tekočina + trdna snov**), zato je poznavanje fizikalno-kemijskih lastnosti teh faz bistveno za pravilno razumevanje procesa.

Proces kraškega raztapljanja (ali proces kraške korozije) lahko opišemo kot raztapljanje molekul kamnin, ki ga povzročajo deževnica, ledeniška voda, kondenzacijska voda in morska voda, ki pritekajo na površje ali pronicajo skozi tla in prekinitev v kamninski masi. Proces se sproži zaradi zakisanja vode z ogljikovim dioksidom iz zraka, tal ali podtalja. Raztopljeni CO<sub>2</sub>

tvori ogljikovo kislino (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), le-ta pa se deli in zakisa raztopino, pri čemer nastanejo protoni (H<sup>+</sup>).

#### Korozija - trdna faza

Trdno fazo predstavljajo kamnine, sigain/ali fizični nanosi (tla, naplavine, morene, odpadni drobcji ...). Pri ugotavljanju teoretične primernosti kamnin za zakrasevanje in količinskem določanju dejanske zakrasitve je treba ustrezno upoštevati:

- mineraloške in petrografske značilnosti kamnine ter njeno strukturo in teksturo.

Pomembni so tudi

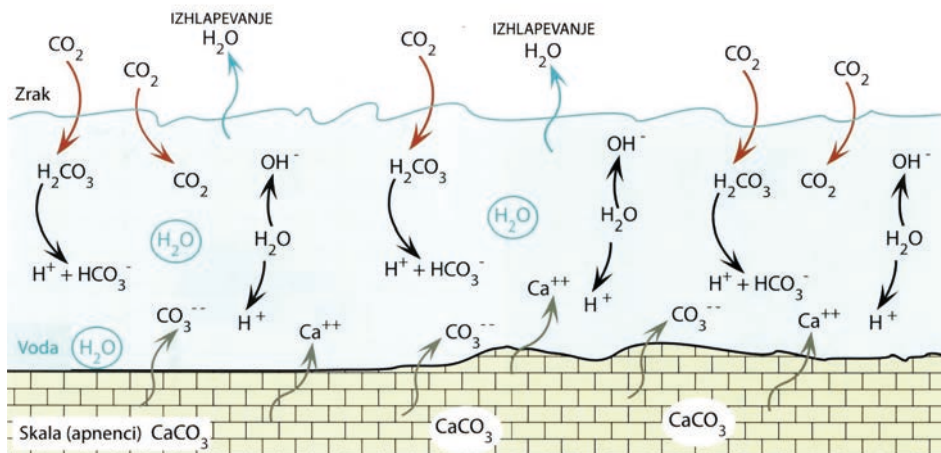
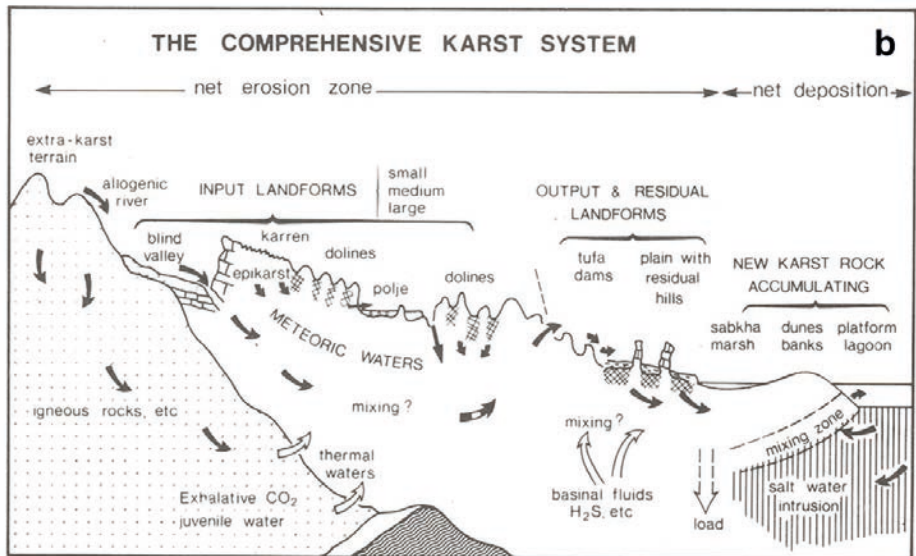
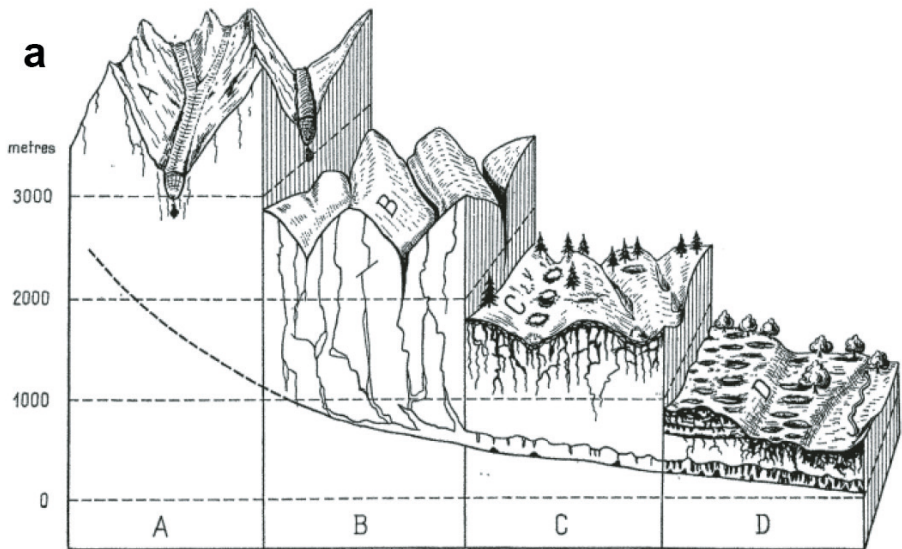


Fig. 3.9 Ionske izmenjave med kamnino, vodo in zrakom (povzeto iz Cucchi in sod., 2012).



Slika 3.8 Dva splošna diagrama o dejavnikih, ki vplivajo na zakrasevanje. Zgoraj (a), dejavniki, ki jih Jakucs (1977) imenuje pogoji, povezani z "geografskim položajem" (podnebje, ...) in časom (geološki razvoj, ...), spodaj (b), Ford & Williams (1981) povežujeta razvoj "celotnega kraškega sistema" v bistvu s kemičnim delovanjem vode.

- prostorska razmerja med različnimi litotipi in na splošno vsi geološki procesi, ki lahko spremenijo kemične in fizikalne lastnosti trdne faze ter njihovo prepustnost.

Topnost karbonatnih kamnin je nedvomno minimalna in počasna, zato se na prvi pogled zdi, da tega pogoja ni treba upoštevati. Ker pa je zakrasedanje zelo počasen pojav (časovna merska enota je 10.000 let), majhne razlike v topnosti povzročijo skozi daljše obdobje velike razlike v morfologiji.

Medtem ko je bilo na primer vedno jasno, da so sadre bolj topne kot apnenci, je šele nekaj desetletij znano, da so mikritni apnenci bolj topni kot sparitni, prav tako ni očitno, vendar je zdaj dokazano, da so lahko bituminozni apnenci bolj topni kot čisti apnenci.

#### Korozija - plinska faza

To fazo praktično predstavlja zrak, saj vsebuje CO<sub>2</sub> (ogljikov dioksid<sup>2</sup>).

Topnost kalcita v čisti vodi (brez CO<sub>2</sub>) pri 25 °C je približno 14 mg/l. Za primerjavo, pri kremenu je ta vrednost nekoliko nižja, približno 10 mg/l.

Zato postane pomemben delni tlak CO<sub>2</sub> (Pco<sub>2</sub>), ki je v ozračju običajno okrog 3,5x10<sup>-4</sup> atm. Na vrednost vplivajo številni dejavniki (podnebje, ve-

getacija ...) in se močno poveča v tleh, ki prekrivajo kamnito podlago, tako da se v prvih centimetrih tal (rizosfera) povprečna vrednost giblje med 2x10<sup>-2</sup> in 2x10<sup>-3</sup> atm.

Pri najmanjši vrednosti Pco<sub>2</sub> (0,001 bara) se topnost poveča na 60 mg/l za kalcit in 50 mg/l za dolomit, medtem je topnost kremena vedno 10 mg/l. Pri večjih količinah CO<sub>2</sub> in pri Pco<sub>2</sub> 0,1 bara se pri isti temperaturi topnost karbonatov znatno poveča ter doseže kar 400 mg/l za kalcit in 300 mg/l za dolomit, medtem ko se topnost drugih mineralov ne spremeni.

Večja kot je vrednost Pco<sub>2</sub> v zraku in pri stiku zraka z vodo, več CO<sub>2</sub> se raztopi v vodi.

Ker je topnost CO<sub>2</sub> v vodi obratno sorazmerna s temperaturo, se z nižanjem temperature pri enakem Pco<sub>2</sub> poveča agresivnost delovanja. Upoštevati je treba, da je tekoča faza v naravi na splošno "dinamična" raztopina z nekaj energije, ki se lahko razprši v reakcijah.

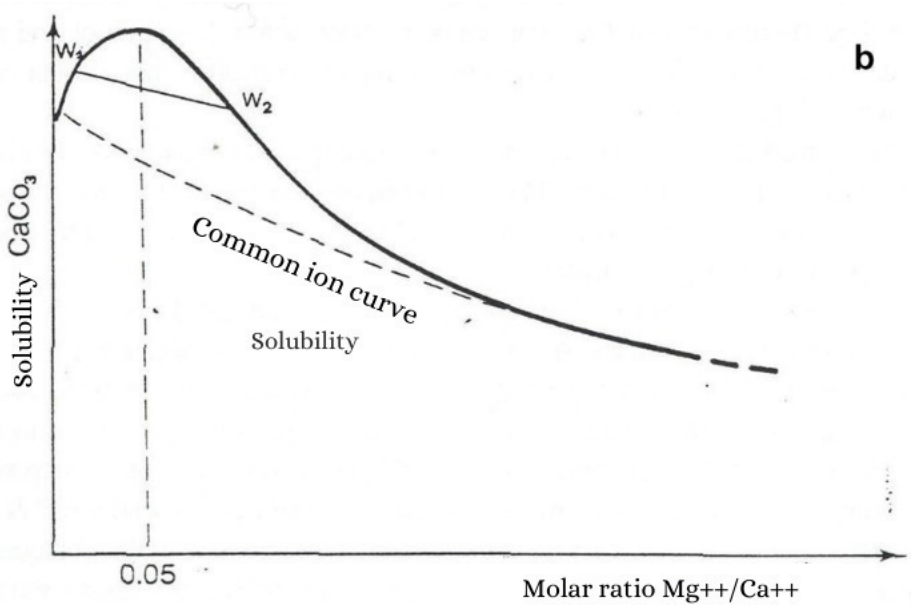
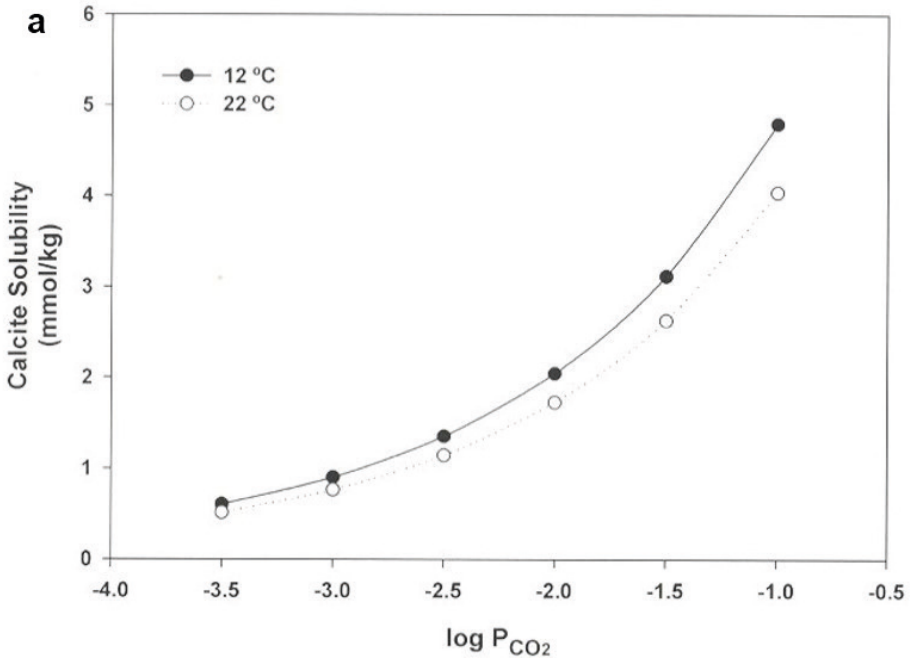
Ogljikov dioksid je prisoten v atmosferi in v zraku, ki je prisoten v tleh. Povprečna vrednost CO<sub>2</sub> v zraku je približno 0,038 %, v tleh pa se giblje med 0,1 % in 15 %, s povprečnimi vrednostmi med 0,3 % in 10 %.

Mimogrede, v ozračju jame se vrednost giblje med 0,5 % in 1 %, kar je veliko več kot v zunanjem ozračju, vendar manj kot v zemlji.

CO<sub>2</sub> v tleh je nedvomno zelo pomemben vir tega plina in je odvisen od po-

<sup>2</sup>V nadaljnjem besedilu bo uporabljena samo kemijska formula.

Slika 3.10 a) Shema razmerja med raztopljenim  $\text{CO}_2$  in  $P_{\text{CO}_2}$ ; b) topnost  $\text{CaCO}_3$  glede na razmerje  $\text{Mg}/\text{Ca}$  (povzeto po Trudgill, 1986).



roznosti tal, biološke aktivnosti, temperature in seveda prisotnosti vode. Količina  $\text{CO}_2$  v tleh je torej odvisna od vrste substrata in vrste tal, podnebja in letnega časa. Na dobro razvitih tleh so biološke dejavnosti zelo intenzivne, zlasti v horizontu B. Pri temperaturah nad  $20\text{ }^\circ\text{C}$  se biološke dejavnosti okrepijo, pri nižjih temperaturah pa se upočasnijo.

Proizvodnja  $\text{CO}_2$  je optimalna pri vrednostih relativne vlažnosti med 50 % in 80 %: v tropskih območjih so dosežene najvišje vrednosti ( $\text{Pco}_2$  med 0,2 % in 15 %), v zmernih območjih so vrednosti  $\text{Pco}_2$  med 0,1 % in 6 %, na alpskih travnikih pa med taljenjem padejo in nihajo med 0,2 % in 1 %.

Posebne plinaste faze so lahko povezane s prisotnostjo drugih plinov, ki običajno izvirajo iz točkastih virov (na primer iz podzemlja, morskih fumarol, termalnih izvirov).

#### Korozija - tekoča faza

V karbonatnih kamninah potekata predvsem dva procesa, ki vodita do nastanka in razvoja oblik. Pri obeh procesih je dejavnik voda: kemičnim procesom, kot sta raztapljanje in korozija, se pridružujejo fizikalni procesi, kot sta erozija in gravitacija.

Voda je lahko meteornega izvora, takrat govorimo o *epigenetski vodi*, ki deluje tako, da se od zgoraj pomika navzdol, ali pa je voda prisotna v globinah, tako imenovana *hipogena voda*, ki aktivira procese tako, da se od spodaj pomika navzgor in se po-

gosto meša z epigenetskimi vodami.

Raztapljanje povzročajo voda s svojim gibanjem in različne snovi, ki jih voda vsebuje v obliki ionov, molekul, kolidov itd. Vrednosti, ki jih je treba upoštevati, so  $\text{Pco}_2$ , pH, koncentracija Ca in Mg, temperatura, prisotnost "tujih" ionov v sistemu in pretok. V bistvu vse, kar prispeva k zakisanju tekočine z ioni ali olajša širjenje snovi v vodi.

Reakcija v odprtem sistemu poteka drugače kot v zaprtem sistemu.

Sistem je opredeljen kot odprt, če si vse tri faze lahko hkrati izmenjujejo molekule, dokler ni doseženo termodinamično ravnovesje. Ko molekule  $\text{CO}_2$  reagirajo z vodo, se pretvarjajo v  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , pri čemer se sproščajo ioni  $\text{HCO}_3^-$  in protoni  $\text{H}^+$ . Ti se porabijo pri reakciji s  $\text{CaCO}_3$ , pri čemer nastanejo molekule bikarbonata  $\text{HCO}_3^-$ , ki so topne. Tako lahko nove molekule  $\text{CO}_2$  prehajajo iz zraka v vodo, kar ohranja celoten proces, dokler ni doseženo termodinamično ravnovesje.

V zaprtem sistemu sočasno medsebojno reagirata le dve fazi: v zaprtem sistemu voda-kamnina obe fazi med seboj reagirata, dokler se ne raztopi ves  $\text{CO}_2$  in njegovi derivati  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  pri reakciji s  $\text{CaCO}_3$ . Iz tega sledi, da je v primerjavi z odprtim sistemom, v katerem se porabljeni  $\text{CO}_2$  lahko nadomesti, količina raztopljenega kalcita manjša.

Kot smo že omenili, na topnost

karbonata v vodi neposredno ali posredno vplivajo še drugi dejavniki: temperatura, tlak, prisotnost drugih kislin (organske kisline, oksidacija kovin itd.), vpliv skupnega iona, vpliv ionske moči, vpliv ionske vezave, vpliv mešanja in prisotnost elementov v sledovih.

Temperatura: pri  $P_{CO_2} = 0,03 \%$  se pri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  v vodi raztopi  $55 \text{ mg/l CaCO}_3$ . Z znižanjem temperature za  $25^\circ$  (torej na  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se ta vrednost poveča na  $75 \text{ mg/l}$ . Kalcijev karbonat je zato bolj topen v hladni vodi, ker je  $CO_2$  pri nižji temperaturi bolj topen v vodi.

Hidrostatični tlak: topnost  $CO_2$  je odvisna tudi od tlaka: zvišanje hidrostatičnega tlaka poveča topnost  $CO_2$  in s tem topnost karbonata v vodi. Ta proces je pomemben pri speleogenezi, zlasti v prvih nekaj sto metrih globine vodonosnika, saj se topnost poveča za približno  $6 \text{ mg/l}$  na vsakih  $100$  metrov vodnega stolpca.

Učinek skupnega iona, znan tudi kot neskladno raztapljanje, se pojavi, ko dve različni mineralni snovi oddata v vodo skupni ion. To povzroči zmanjšanje topnosti obeh mineralov. Na ta način si lahko razložimo, zakaj v sadrastih jamah in jamah v določitnih kamninah nastajajo kalcitne konkrecije.

Vpliv ionske moči in ionske vezave: vnos ionov, kot so  $Na^+$ ,  $K^+$  in  $Cl^-$ , v vodo, zmanjša ionsko aktivnost ionov

v raztopini, kar povzroči povečanje topnosti karbonatnih mineralov. Učinek je najbolj očiten, kadar sladki vodi dodamo slano vodo, še posebej v majhnih količinah, kot je to na obalnih kraških območjih, Raztapljanje lahko znatno pospešijo ali upočasnijo sistemu tuji ioni, organske snovi, zračni mehurčki, termalne mešanice, saj povzročijo nastanek ionov, sposobnih interakcije s kamnino in vodo ter s tem spremenijo pH.

Učinek mešanice (Mischungskorrosion Bögli, 1964), tj. ponovno agresivno delovanje vode, ki nastane z mešanjem dveh (ali več) nasičenih voda iz različnih točk. Ker se krivulja raztapljanja kalcijevega karbonata v odvisnosti od  $CO_2$  postopoma zmanjšuje s povečevanjem koncentracije raztopljenega karbonata, z mešanjem nastaja nova, nenasičena raztopina, ki deluje agresivno. Ta proces je še posebej pomemben v globokih karbonatnih vodonosnikih, kjer krožijo le nasičene raztopine, ki ne morejo več raztapljati dodatnih kamnin.

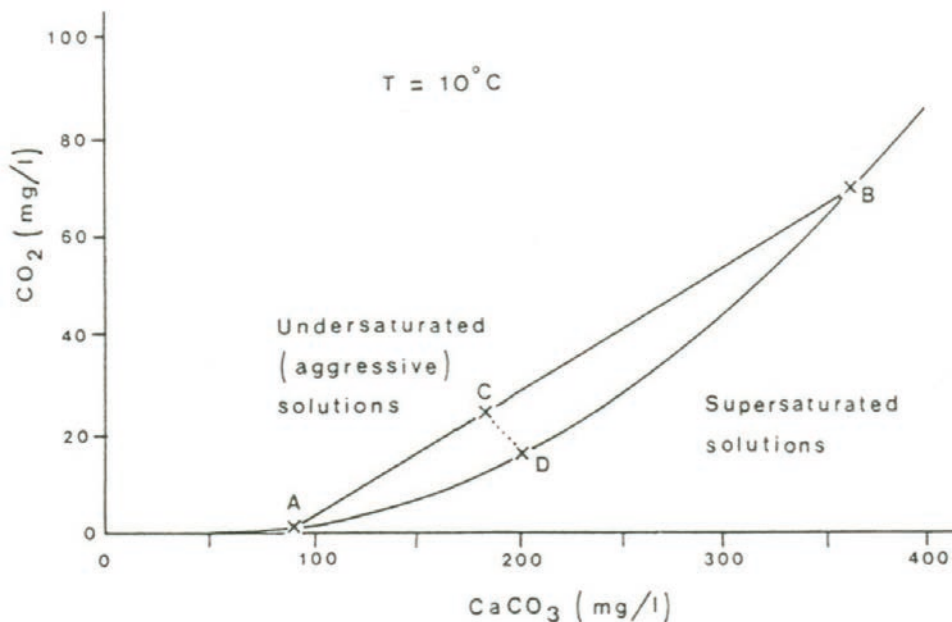
Picknettov učinek, po katerem lahko prisotnost drugih kemijskih vrst ali tujih ionov pospeši topnost (če je količina zelo majhna, na primer pri magneziju) in jo zavira (če je količina velika, spet na primer pri magneziju) ter v vsakem primeru spremeni način nastajanja oborin v prenasajenih raztopinah. Kemijske vrste ali tuji ioni

v praksi delujejo kot naravni katalizatorji. Prisotnost majhnih količin nekaterih kovin lahko znatno zmanjša topnost kalcijevega karbonata, ker kalcit absorbira kovine in preprečuje njihov prehod v raztopino.

Gibanje vode, bodisi počasno pretakanje ali vrtinčast tok vode, ima fizikalne in kemijske učinke. Lahko namreč premika  $\text{CO}_2$  na meji plin-tekočina in karbonate na meji tekočina-trdna snov ali spodbuja kemične reakcije v raztopini. Pretok lahko spodbuja

difuzijo snovi v tekočini in odpravlja učinek zapakiranja (kopičenje kristalov v obliki nekakšne folije na stiku kamnine in vode), tako da odstranjuje kristalizacijske kalčke in tako naredi tekočino v stiku s kamnino ponovno nenasičeno ali ne prenasičeno.

### 3.2 Geomorfologija Krasa



Čeprav so rezultat delovanja istega pojava in so tesno povezane in odvisne med seboj, je treba razlikovati med **površinskimi kraškimi oblikami** in **podzemnimi ali globinskimi kraškimi oblikami**.

Pri površinskih se je uveljavila delitev na velike oblike (tudi mezoforme) in majhne oblike, medtem ko so točkovne oblike, ki so rezultat biološko-kemijskih dogodkov, opredeljene kot mikrooblike.

Pri podzemnih kraških oblikah pa razlikujemo med primarnimi, ki so posledica izključno korozijskih učinkov, in sekundarnimi ali izpeljanimi oblikami, ki so povezane z modifikacijo primarnih oblik zaradi erozijskih, gravitacijskih, depozicijskih in neokorozijskih dogodkov. Včasih se pri nastajanju primarnih oblik ali spreminjanju izpeljanih oblik pojavijo procesi, ki pospešijo delovanje pronicajoče vode, na primer vdiranje plinov ali voda z drugačno temperaturo in/ali sestavo iz notranjosti: takrat govorimo o hipogenih procesih in hipogenih morfologijah.

Dejstvo je, da je dogajanje na površju in v globinah rezultat istih procesov, ki se lahko odvijajo ločeno in/ali skupaj, se sčasoma ponavljajo, morda tudi spreminjajo.

Zato je treba pri analizi in razu-

mevanju kraškega sistema vedno hkrati upoštevati časovni potek in posledične podnebne spremembe ter včasih sočasno delovanje različnih procesov, ki spreminjajo geološke in geomorfološke značilnosti tal in podlage.

### 3.2.1 Geomorfologija površja

#### Geneza in razvoj površinskih kraških oblik

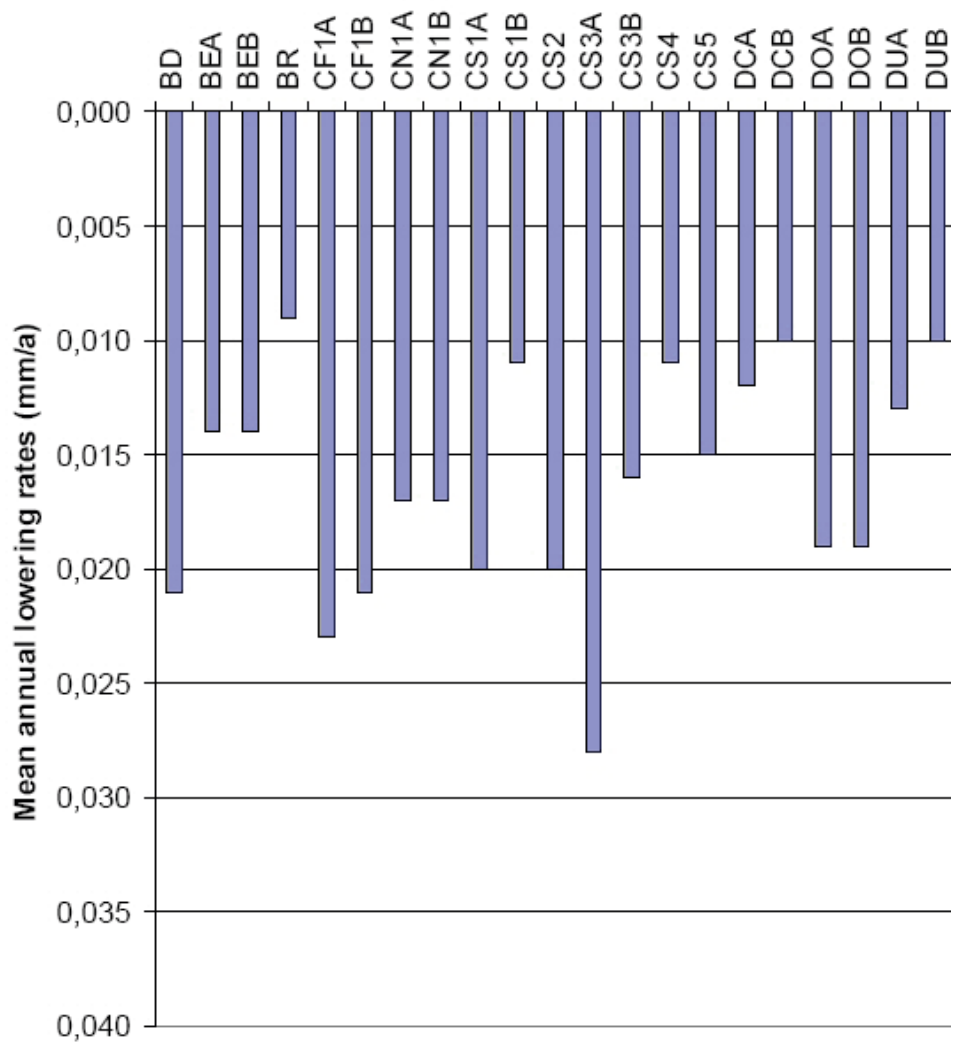
Za kraško pokrajino je značilna prisotnost apnenčastih ali dolomitno-apnenčastih kamnin na površju ali tik pod površjem, nanje vplivajo prvotni morfortipi površja, ter skromno ali neobstoječe rečno omrežje. Vode, ki tečejo po površju, poniknejo v ponorih ali v požiralnikih in se pretakajo znotraj zakrasele kamninske mase (kjer nastajajo podzemne kraške oblike).

#### Vrtače

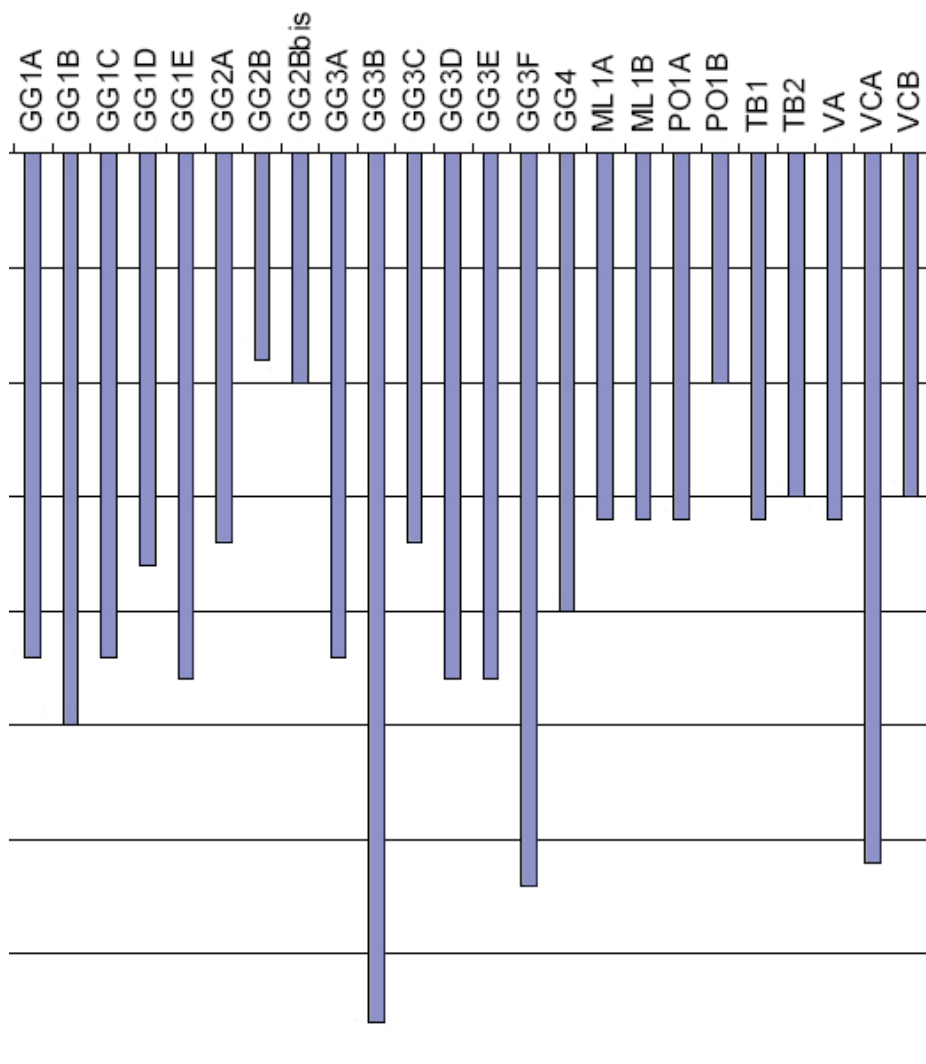
Vrtača je velika oblika (včasih napačno imenovana makrooblika, ali pravilneje mezooblika), značilna za kraške pokrajine. Vrtače, mednarodno poznane z izrazom doline<sup>3</sup> se razlikujejo glede na to, ali nastanejo zaradi raztapljanja, udora, sufuzije ali posedanja.

Z raztapljanjem nastala vrtača je zaprta depresija, običajno bolj široka kot globoka, ki se odpre v apnenčastih ali apnenčasto-dolomitnih kamninah. Elementi vrtače so krona (ali obod), kroglasta ali elipsasta brežina, ki prekinja plato, na katerem se dolina

*Slika 3.11 Böglijeva korozija mešanice, 1964 (povzeto po Trudgill, 1986).*



## Stations



Slika 3.12 Upadanje apnenčevih površin na matičnem Krasu, izmerjeno z mikroerozijskimi merilniki v obdobju približno dvajsetih let na posebej pripravljenih merilnih postajah, razporejenih po celotnem območju, kaže, da se kamnine v notranjosti in povprečju sesedajo za približno 2 stotinki milimetra na leto. (Furlani in sod., 2009)

odpira; pobočja in dno.

Pobočja so lahko naravno nagnjena ali stopničasta, simetrična ali asimetrična, njihov naklon in morfologija sta povezana z litološkimi in strukturnimi značilnostmi podlage.

Dimenzije so zelo različne, saj so široke od nekaj metrov do več sto metrov, globina pa se giblje od nekaj metrov do več deset metrov.

Dno je lahko zapolnjeno z grobim materialom (mobilizirani klasti in/ali klasti, ki plazijo s pobočij) in/ali drobnimi, sipkimi ali bolj ali manj zlepljenimi usedlinami (tako imenovana terra rossa (rdeča prst, jerovica): ostanki neraztopljenega ali "ujetega" materiala zaradi eolske ali koluvialne akumulacije).

Razlikovati je mogoče različne oblike dolin: lijakaste, skledaste, ploščate, primerjajoč jih z oblikami vsakdanjih predmetov, vendar je pozornost bolje usmeriti na funkcijo doline in ne na njen zunanji videz.

Geneza je povezana s točko ali ozkim območjem, kjer ponikne površinski odtok. Odtok povzroča centripetalno raztapljanje kamnine, tako da požiralnik zaradi postopnega širjenja stranic in postopnega poglobljanja dna postane dolina. V podtalju se oblikuje absorpcijska mreža vode, ki

povzroča razvoj različnih morfologij podzemnega krasa.

Velikost, dno in stranice določajo stalno spreminjajoče oblike, katerih nastanek je povezan z lokalno absorpcijo vode (točkovno ali koncentrirano - ena ali več ponorov) s postopnim radialnim širjenjem zaradi erozije in pospešene korozije ter poglobljanjem zaradi podtalne korozije.

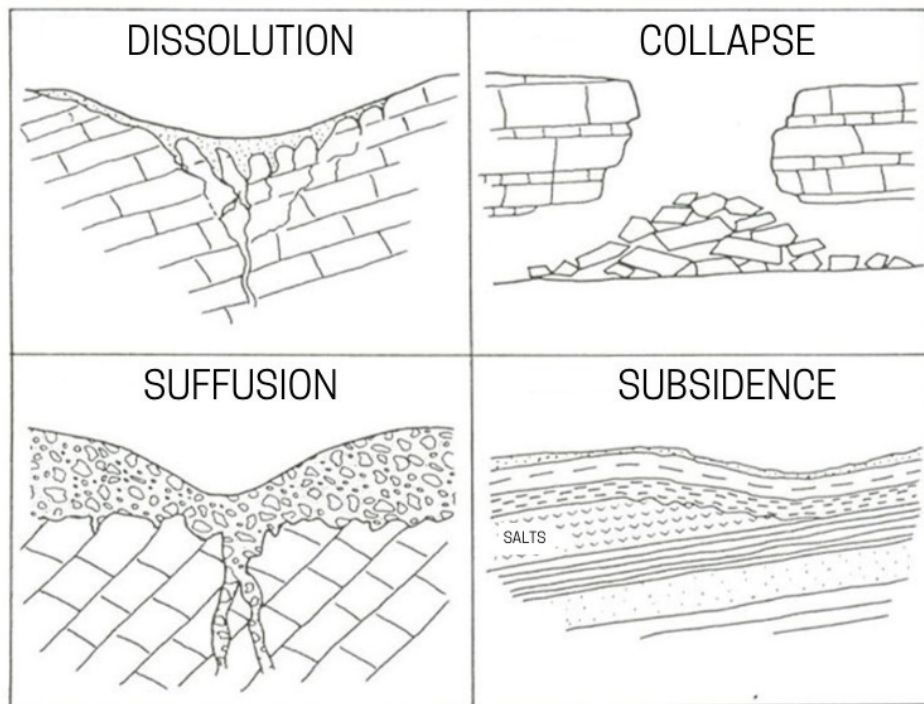
Poseben morfotip je udorna dolina ali udornica, ki nastane zaradi zrušenja stropa votlin blizu površja. Običajno ima krožni tloris, subvertikalne stene in dno, ki ga zapolnjujejo grobe usedline udornine ali deli votline. Ščasoma se lahko naravno razvije v večje oblike z manj strmimi stenami, odvisno od geomehanskih značilnosti pobočij in režima površinske vode.

Sufuzijske in posedne doline sta dve drugi vrsti dolin, ki se odpirajo v usedlinah ali nekarbonatnih kamninah.

Prva je posledica pretakanja pokrivnega materiala (naplavinske usedline, morenske usedline, ...) v notranjosti zakrasele matične kamnine.

Druga je posledica počasnega prilagajanja obsežnih izdankov na površini (kamnin in usedlin) postopnemu raztapljanju zelo topnih hori-

<sup>3</sup> Mednarodni izraz, ki izhaja iz slovenske besede dolina. Ameriški izraz **sinkhole**, ki v angleščini dobesedno pomeni *požiralnik*, se že nekaj let uveljavlja v večjem delu Evrope in tudi v Italiji. Izraz se uporablja v ZDA, zlasti na področju inženirstva, kot sopomenka za dolino.



Slika 3.13 Različne vrste kraških dolin (prirejeno po Ford in Williams, 2007).

zontov pod njimi.

#### Brezstropne jame (unroofed cave)

Posebne površinske oblike so **brezstropne jame**. To so odseki podzemnih predorov, ki so prišli na dan zaradi postopnega raztapljanja in posledičnega zniževanja topografske površine. Kadar so deli votline razmembra blizu površine, lahko kraški procesi z razjedanjem uničijo strop in razkrijejo votlino.

Brezstropne jame so pogosto nad praviimi podzemnimi jamami in tvorijo

nekakšne atrije v rove, ki se narahlo spuščajo pod zemljo.

Včasih razkrivajo zelo stare podzemne mreže, zaradi česar je površje razgibano, območje pa z morfološkega vidika zelo posebno. Vedno opozarjajo na počasno (a neizprosno) napredovanje zakrasevanja.

#### Uvale (compound sinks)

Druge značilne velike oblike so **uvale**, razčlenjene zaprte kotanje, ki so nastale z združitvijo več dolin, katerih premer se je širil, dokler deli ločilnih

Slika 3.14 Levo: vhod v Pečino v Rubijah, ki je pravzaprav udornica (Foto: Deželni speleološki kataster FJK). Desno: vzhodna stena udornice Baratro dei Cavalli. Ob vzhodju lahko vidimo ostanke stropa votline, ki se je verjetno zrušil in tako oblikoval to veliko udornico. Stalaktitne tvorbe na steni so lehnjakove. (Foto: Franco Cucchi)

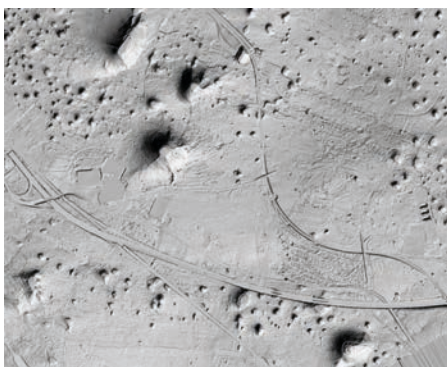


pobočij niso skoraj popolnoma izginili. Obodni robovi imajo vijugaste konture. Največji premer je običajno nekaj sto metrov, globina pa nekaj deset metrov.

Številne **kraške pokrajine** in kraške oblike so rezultat skupnega delovanja kraških in drugih procesov v času in prostoru. Ta kombinacija spodbuja razvoj mešanih oblik, na katere pogosto vplivajo ne le rečni, kraški, ledeniški in periglacialni procesi (in s tem podnebne značilnosti), temveč tudi posebne litološke in geološko-tektonske razmere.

Med kompleksnimi oblikami, ki zaznamujejo pokrajino, jih velja omeniti nekaj, ki so vse prisotne na matičnem Krasu: **polja**, **slepe doline**, **humi**, **skalna mesta**, **kraške soteske**, **apnenčasti klifi**.

**Polje** je zaprta depresija mešanega kraškega in litološko-tektonskega izvora, ki je včasih velika do nekaj deset kilometrov. Gre za podolgovato obliko, ki je povezana z linearnimi tektonskimi strukturami, kot so prelomi in/ali osi gub. Pobočja (ali eno od njih) so strma, nagnjena ali kako drugače nepovezana z dnem depresije; dno je ravno ali subhorizontalno, kamnito ali ilovnato-naplavinско. Na dnu in/ali v predelu povezave s pobočji so pogosto značilne majhne depresije in/ali požiralniki; slednji



*Slika 3.16 Vrtače različnih velikosti, na matičnem Krasu, kot jih vidimo na senčenem prikazu (shaded relief) digitalnega terenskega modela (katalog IRDAT – AD FJK).*

lahko delujejo tudi kot začasni izviri, znani kot **inversac oz. bruhalniki**.

**Slepa dolina** je mešana rečno-kraška oblika, tj. rečna dolina ali široka struga vodnega toka, vzdolž katerega se je sčasoma odprl en ali več požiralnikov; gorvodno od njih se zatrep še naprej pogloblja in stranice razvijajo, dolvodno pa ni več vode, razen če se ponovno ustvari drugo povodje. Tako se razvoj doline ustavi, medtem ko se preostali del bazena nadaljuje kot rečna dolina.

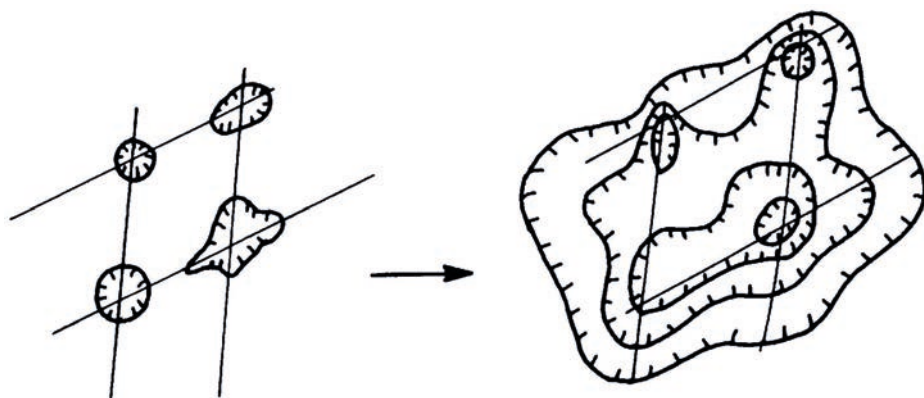
Območje okoli požiralnika se razvije v asimetrično dolino, na kateri se včasih razvije prava drenažna votlina.

**Kraška soteska** je na splošno globok

*Slika 3.15 Vrtača, nastala zaradi raztapljanja v bližini Padrič (foto F. Finocchiaro).*



Slika 3.17 Vijugast odsek brezstropne jame v bližini škrapljišča pri Briščikih. Nekakšen vhod v jamo je prikazan na sliki 6.19b v opisu Učne poti 2. (Foto: Chiara Calligaris)



vrez v kompaktno, slabo erodibilne apnenčaste kamnine, kjer ni stranskih vodotokov, ki bi ublažili relief.

**Skalno mesto** je običajno ravninsko ali komajda valovito območje, na katerem se dobro razločni dvigajo več metrov visoki osamljeni karbonatni bloki, **stebri**, skorajda podobni mestnim stavbam. Vplivna dejavnika sta subhorizontalna plastovitost ter sistem pravokotnih, redko razporejenih skupin razpok.

Veliki in zelo izolirani karbonatni bloki se imenujejo **osamelci** ali **humi**.

Kot primer si oglejte stene pri Repentabu, opisane v izletu št. 2.

**Apnenčasti klif** je skalnat odsek obale, ki se dviga pravokotno nad morjem, na apnenčasto kamnino pospešeno učinkujejo procesi zakrasevanja na robovih in straneh, ob vznožju pa korozija in morska erozija. Kot primer si oglejte klif med Devinom in Sesljanom, opisan v naslednjih poglavjih o geodiverziteti.

### Drobne površinske oblike

Drobne površinske oblike (**Karren**, v širšem pomenu in v nemščini) se razodevajo v številnih različicah, nastale so na površinah, primernih za razvoj krasa, ko so bile neposredno izpostavljene vremenskim vplivom ali pa

pokrite s prstjo in šele kasneje razkrite (v tem primeru govorimo o **pokritem krasu**).

Drobne oblike so povezane z aktivnim raztapljanjem tekoče vode na bolj ali manj nagnjenih površinah (dinamična topnost) ali s statičnim raztapljanjem stoječe vode v površinskih depresijah (statična topnost). S hidrogeološkega in genetskega vidika lahko oblike, nastale v procesih dinamične topnosti, nadalje razdelimo na tiste, ki se nahajajo vzdolž predelov z največjimi nakloni, in tiste, ki se nahajajo ob diskontinuitetah v kamninski masi.

V bližini morja raztapljanje še pospešijo molekule aerosolov, pljuski vode, pa tudi sama morska voda, bogata s tujimi ioni, zaradi česar majhne oblike še posebej izstopajo.

Mednje spadajo:

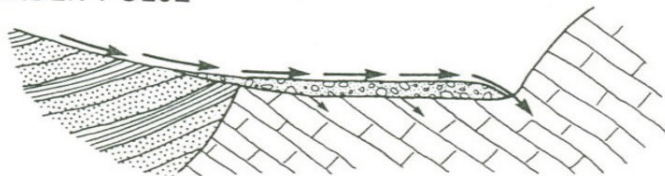
- **Žlebiči** (v nemščini *Rillenkarren*, v angleščini *solution flutes*)



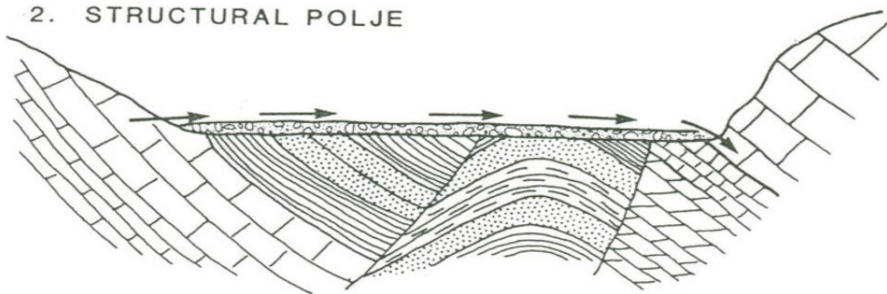
Slika 3.18 Evolucijska shema uvale (povzeto po White, 1988).

3.20 Odsek kraške soteske potoka Glinščica. (Foto: Franco Cucchi)

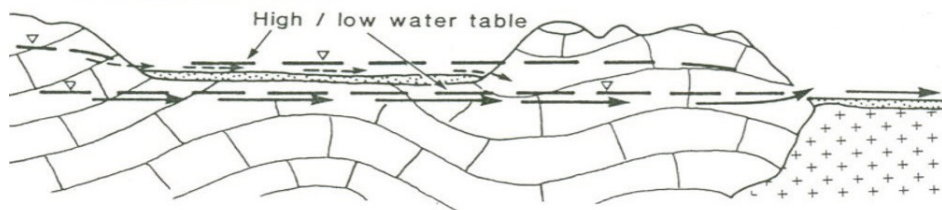
### 1. BORDER POLJE



### 2. STRUCTURAL POLJE



### 3. BASELEVEL POLJE



Slika 3.19 Trije osnovni tipi polja: robno polje; strukturno polje; polje na nivoju gladine podzemne vode (povzeto po White, 1988). Doberdobsko jezero se nahaja na dnu polja na nivoju gladine podtalnice.

ali (manj pogosto) rill karren, ... Gre za drobne oblike, ki jih predstavljajo kratke vzporedne brazde, ločene z ostrimi grebeni, ki delujejo kot razvodnice, globoke približno 1 cm, široke 1-4 cm, dolge 5-50 cm, z zaobljenim prečnim prerezom. Običajno se pojavljajo na srednje do rahlo nagnjenih površinah in so združene v sestave. Glede na videz jih lahko opišemo kot grebenaste, peresaste, snopičaste in otočkaste škraplje. Nastanek lahko pripišemo korozivskemu učinku deževnice zaradi dinamične topnosti vzdolž najbolj nagnjenih delov (glej sliki 3.7 in 3.20). Ob vznožju žlebičev so pogosto gladke površine, ki jih oblikuje voda, kjer se več drobnih vodnih niti združi in ustvari neprekinjeno tanko plast z enakomernim pretokom brez stranskih sprememb hitrosti (laminarni tok).

• **Škraplje**, če so vijugaste: **meandra**ste škraplje (v nemščini *Rinnenkarren* ali *Wandkarren*, odvisno od morfologije, v angleščini *solution grooves* ali (redkeje uporabljano) *wall karren*, v francoščini *lapiès*, ...; če so vijugaste: *meandering runnels*, *Meanderkarren*; če so zaobljene: *rounded karren*, *Rundkarren*). To so brazde, široke več kot 5 cm, globoke več kot 3 cm in dolge vsaj 100 cm, ki sledijo največjemu naklonu apnenčaste površine. Njihova morfologija je različna: prečni prerez je vedno v obliki črke U, stra-

nice pa so lahko bolj ali manj strme, odvisno od količine in hitrosti odtekajoče vode. Običajno potekajo v ravnih linijah, lahko pa tudi vijugasto, slednje so pogostejše na manj nagnjenih površinah. Dno je gladko, pogosto ima vdolbeno sekundarno brazdo, ki je posledica raztapljanja zaradi minimalnega pronicanja vode. Za vzdolžni profil je včasih značilen stopničast potek zaradi prisotnosti majhnih kotanj. To so "žlebovi", katerih nastanek je povezan z zgoščenim linearnim tokom odtočne vode, pri čemer je morfologija odvisna od naklona odtočne površine, prisotnosti rastlinskih organizmov in vrste podnebja: so klasični učinek tako



Slika 3.21 Kraški žlebiči in škraplje na rudi-stnih apnencih ob Devinskem klifu. (Foto: Franco Cucchi)

imenovane pospešene korozije (glej slike 3.7 in 3.20).

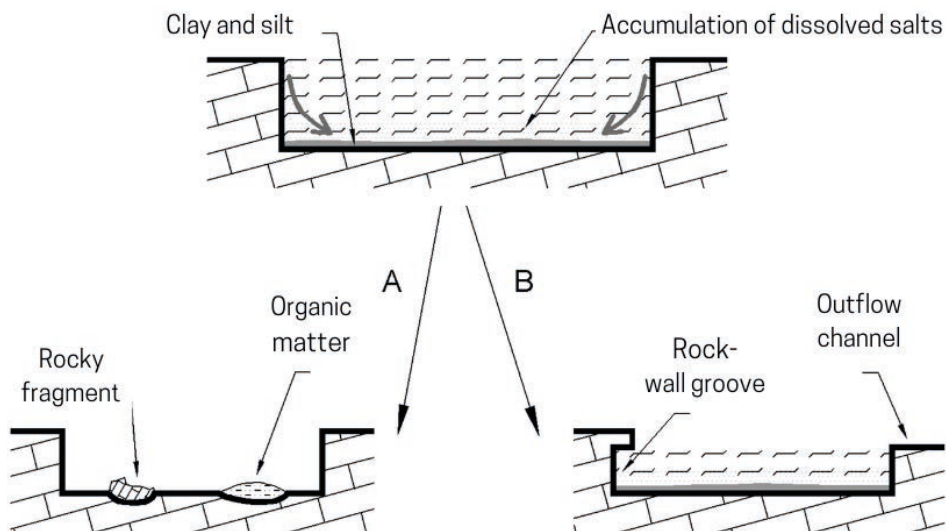
- **Poklinaste škraplje** (v nemščini *Kluftkarren*, v angleščini *grikes* ali *solution grooves* ali (manj pogosto uporabljeno) *cleft karren*, v francoščini *lapiés de diaclase*). Gre za globoke in grobe prelome (*solution widening of joints*), ki so redko povezani z anastomozami lukenj, pogosteje pa so pravi prednostni vodni tokovi, ki jih usmerja razpokanost. Pobočja so vedno zelo nagnjena, dno je ravno (trench karren) ali rahlo odprto v obliki črke V (cleft karren). Po nastanku so podobne škrapljam, vendar je pri škrapljah največji naklon tisti, ki usmerja tok vode, pri poklinastij škrapljah pa so ravnine diskontinuitete (običajno ravnine razpoke) tiste, ki določajo smer gibanja.
- **Škavnice** (mednarodno znane pod hrvaško-srbskim izrazom **kamenitza**, nemško *Napfkarren*, angleško *solution pan*, *tinajita* (*špa*), ...). To so majhne zaprte vdolbine (globoke od 2 do 50 cm, široke od 5 do 200 cm), zaobljene, različnih premerov, plitve glede na površino. Dno je skoraj vedno vodoravno, prečni prerez je krožnikast ali skodelast, tj. razširjen v smeri navzdol. Pogosto imajo izpustni kanal (*drainway*), včasih, zlasti če so se razvile ob razpokah, tudi omejen impluvijski bazen.

vode v mikrodepresiji, ki jo včasih povzroči ali spodbuja površinska erozija zaradi mikroskopskih alg ali izoliran klast. Če usedline ali organizmi ostanejo v škavnici tudi med praznjenjem, lahko s podpovršinskim zakrasevanjem nastanejo poglobljeni žepi.

Škavnice se širijo hitreje kot poglobljajo, ker je korozija aktivnejša na robovih kot na dnu. Ob postopnem poglobljanju škavnice se ob vznožju sten pogosto ustvarijo previsne niše, ki so skoraj kot "korozijske škraplje".

- **Nožaste škraplje** (pit karren ali tunnel karren) To so mikro jarki, majhne cevaste votline s krožnim ali eliptičnim prerezom, s premerom od milimetra do decimetra, ki skorajda prebadajo kamnino in so nastale na razpokah. Njihov nastanek lahko pripišemo pojavom raztapljanja vzdolž kanalčkov v razpokah, pri čemer širjenje poteka od dna navzgor najprej zaradi kapilarnih pojavov in nato zaradi kroženja vlažnega zraka.
- **Griža** ali kraški grušč (iz slovenske besede *griža* = prodnik) To so kamnita polja, ki jih tvorijo manjši kosi kamnine, ločeni od kamninske podlage zaradi zakrasevanja vzdolž diskontinuitetnih površin (plastovitost in razpokanost), ki so ostali na mestu in jih gravitacija ali tekoča voda nista premaknili. Pogosto so drobno razjedena, škrapljasta tla, pravzaprav površje razpadlih

Nastanek je povezan z zastajanjem



3.22 Shematski razvoj škavnice: korozija traja dlje na stenah in (primer A) pod skalnimi odlomki ali majhnimi kumulacijami organskega ali zemeljskega materiala. Primer B: Voda, ki se zadržuje v škavnici, bočno raztaplja stene le te; med postopnim odtekanjem nastane mikro razjeda. Notranji robovi škavnice postanejo previsni. (Cucchi F., 2009).



Slika 3.23 a) Škvavnica nepravilne oblike z rdečo prstjo na dnu, odtočnim kanalom in previsnimi stenami; b) škavnice okrogle oblike. (Foto: Franco Cucchi)

škrapelj, včasih pa pokrivajo obsežna območja in označujejo kamnino, ki je močno plastovita in razpokana.

• **Škrapljišče** (*Karrenfeld* v nemščini, *lapiés* v francoščini, tudi *limestone pavements* v angleščini). To so skalnati izdanki, tudi obsežni, v katerih je skupaj prisotnih več razpadajočih morfortipov, kot so žlebiči, škraplje, nožaste škraplje, ponvice, razpoke itd.

#### Italijanski matični Kras

Na matičnem Krasu je zakrasevanje relativno zrelo, oblike so rezultat razvoja, ki je trajal vsaj deset milijonov let. Iz tega sledi, da so tako na površini kot v globini hkrati prisotne mlade in zrele oblike. Načeloma je mogoče sklepati, da se je površje od začetka zakrasevanja do danes samo zaradi raztapljanja znižalo za več sto metrov, da je osnovna gladina vode večkrat nihala in bila celo precej časa vsaj 300/200 metrov nižja kot danes ter da se je podnebje večkrat precej spremenilo.

Načeloma so prve oblike, ki začnejo spreminjati površje vrtače, ki so nastale zaradi raztapljanja. Te so lijakaste oblike in so posledica centripetalnega dinamičnega raztapljanja vode, ki v globino ponika skozi prednostne absorpcijske točke ali območja. Hkra-

ti se nekatera mesta ponikanja vode, in sicer tista, ki so v stiku z nekraško kamnino okoli apnenčastega masiva, začnejo obnašati kot pravi požiralniki, v masivu pa nastane podzemno odvodno omrežje, ki odvaja vodo proti točkam, kjer voda pride na površje. Poleg dolin zaradi raztapljanja se začnejo odpirati tudi številne udorne doline, saj se podzemni prostori postopoma širijo, debelina krovne kamnine pa je pogosto skromna.

Od najstarejših površinskih oblik je



Slika 3.24 Anastomoza nožastih škrapelj in nastanek psevdopoklinaste škraplje. (Foto: Franco Cucchi)



*Slika 3.25 (a) Griža (Foto: Franco Cucchi);  
(b) škraplje v bližini Prčedola (Foto: Furio  
Finocchiaro).*

danes ostalo le malo in le nekaj deset vrtač s premerom več kot 100/200 metrov. V globini jih običajno zaznamuje zapleten sistem votlin ob straneh in na dnu; votline so bolj ali manj odprte in pogosto zapolnjene z raznovrstnim materialom (udorni material, konkrecije, gline).

Zaradi zniževanja površja se sčasoma spreminja tipologija tal, škrapljišča zamenjajo griže, ki se nato preoblikujejo v skromno prst, pokrita kraška območja postanejo griže ali nova škrapljišča, pri čemer strukturna razporeditev in petrografija kamnin določata različne tipe majhnih kraških oblik, nastalih s površinsko korozijo. Ponekod se preostale oblike ohranijo še nekaj deset tisoč let.

Vsekakor se pokrajina ne spreminja s hitrostjo tistih, ki so podvrženi ero-

ziji ali ledeniškem preoblikovanju, v časovnem merilu človeka se zdi, da je pokrajina negibna, kar skorajda drži. Vendar se je treba zavedati, da je sedanja slika rezultat zelo dolgega razvoja, ki se bo še nadaljeval.

### *3.2.2 Podzemna geomorfologija*

**Speleogeneza** je skupek številnih procesov, ki v skoraj vseh geoloških okoljih, kjer so prisotne karbonatne kamnine, vodijo v nastanek naravnih jam.

Obstajajo jame, ki nastajajo skozi procese brez kraškega raztapljanja (vulkanske jame, jame v ledenikih, skalni previsi ...), vendar večina jam<sup>4</sup> nastaja predvsem s procesi raztapljanja v karbonatnih kamninah (kraška speleogeneza v ožjem smislu).

V karbonatnih kamninah sta za nastanek in razvoj votlin značilna predvsem dva procesa. V obeh primerih je sredstvo voda:

- kemijski procese, kot sta raztapljanje kamnin in korozija;
- fizikalni procesi, kot sta erozija in gravitacija.

V zvezi s tem glejte tudi prejšnja poglavja.

Večinoma gre za meteorne vode (t. i. površinske vode), ki delujejo gravitacijsko, ko padajo od zgoraj navzdol, lahko pa gre tudi za vode iz globine (t. i. podzemne vode), ki aktivirajo kemične procese tako, da se dvigujejo od spodaj navzgor in se pogosto mešajo s površinskimi vodami.

Ob obali so tudi mešane vode, s tako imenovanimi vdori slane vode na meji med izključno morskimi in sladkimi vodami, mešanice, ki lokalno prispe-

vajo k pospeševanju korozije.

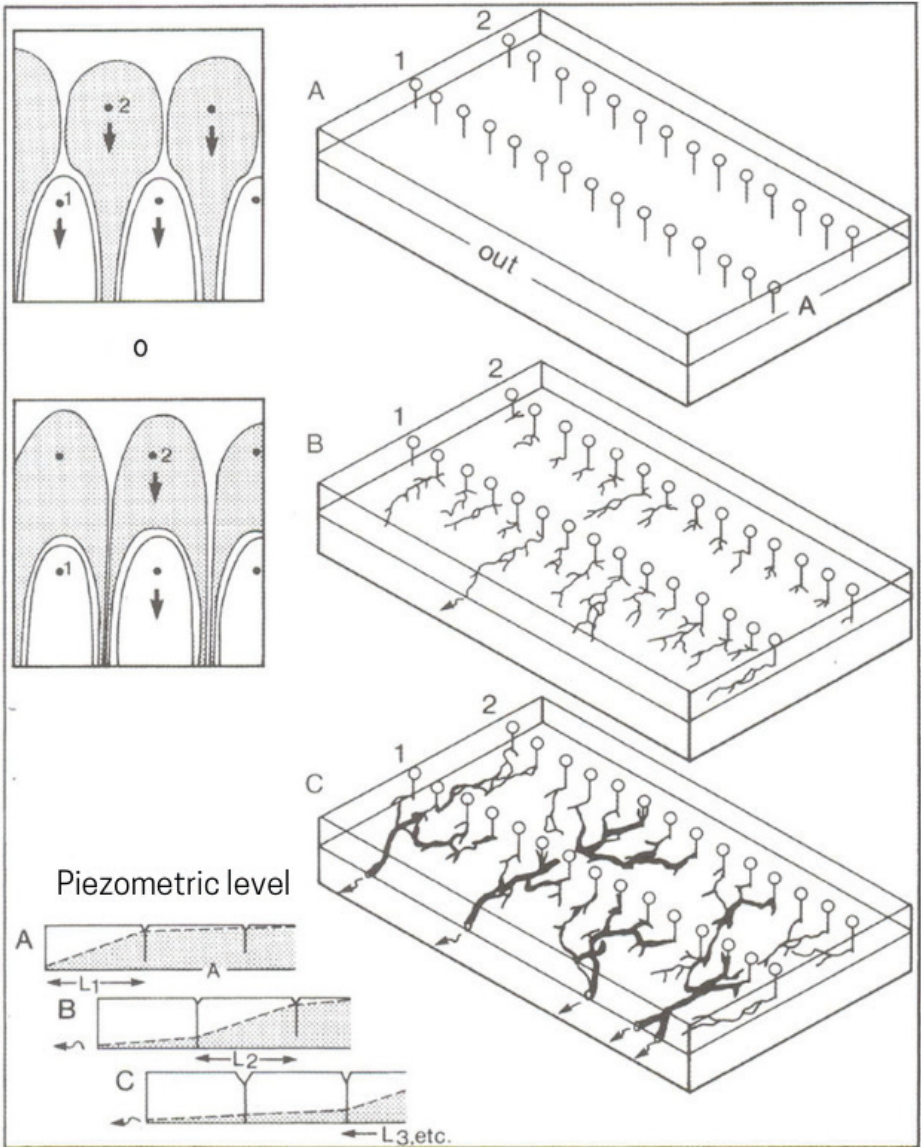
### *Tlak*

Topnost  $\text{CO}_2$  je odvisna tudi od tlaka (pomislite na primer na gazirano vodo). Povečanje hidrostatičnega tlaka poveča topnost  $\text{CO}_2$  in posledično karbonata v vodi. Ta proces je pomemben v prvih nekaj sto metrih vodonosnika, pri čemer se topnost poveča za približno 6 mg/L na vsakih 100 metrov vodnega stolpca. Primer so jame, ki so nenadoma poplavljene: v stropnih nišah se lahko ujame zrak, ki se mu tlak poveča, kar povzroči raztapljanje  $\text{CO}_2$  in s tem povečanje agresivnosti vode, pri čemer lahko nastanejo kupole in kanali v oboku. Učinek povečane topnosti ogljikovega dioksida v globini (pri visokem tlaku) je zelo pomemben, zlasti v primeru hipogenega  $\text{CO}_2$ . V tem primeru lahko skupni učinek znižanja temperature (ko se voda dvigne na površje) in znižanja tlaka (zaradi sproščanja mehurčkov  $\text{CO}_2$ , ki se takoj raztopijo v vodi) ustvari območja, na katerih je voda ponovno agresivna.

### Geneza in razvoj podzemnih kraških oblik

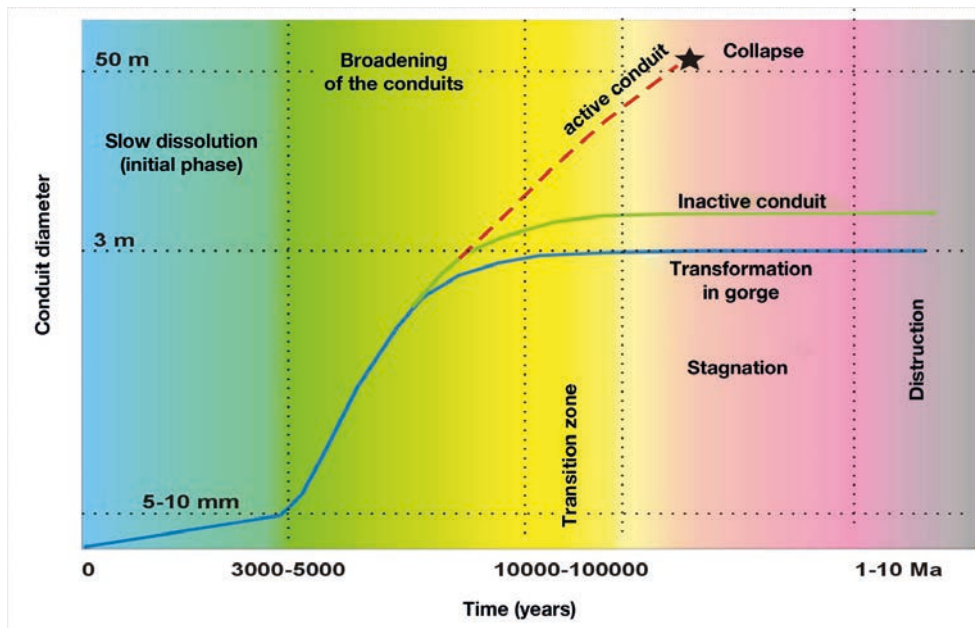
Da bi lahko analizirali podzemne morfologije, moramo najprej poznati evolucijske faze masiva ali kraškega območja, na katerem se podzemne oblike pojavljajo. Podzemne kraške

<sup>4</sup>"Jama" je splošni izraz za votlino, ki ga običajno uporabljajo speleologi za označevanje naravnih podzemnih prostorov, v katere lahko človek vstopi in tako z georeferenciranjem vhoda izmeri velikost in usmerjenost prostorov.



Slika 3.26 "Naključno" napredovanje protokavitet (povzeto po Ford in Williams, 2007).

Slika 3.27 Dokler voda kroži laminarno, je širjenje kanalov počasno; takoj ko preide v turbulentni tok, gibanje vode premika  $\text{CO}_2$ , spodbuja difuzijo snovi v tekočini in izniči učinek pakiranja. Sproži se tudi erozija in kanali se vedno bolj širijo, čisto erozijska faza celo preseže učinek raztapljanja (povzeto po De Waele in sod., 2009).



oblike so namreč rezultat različnih hidroloških razmer, ki so skozi čas vladale zakraselim okoljem.

Voda prodira s površine v notranjost kamninske mase in/ali iz globin v zgornje volumne prek raznih diskontinuitet, najsi gre za neskladovite presledke, prelome ali razpoke, in/ali prek primarnih ali sekundarnih poroznosti kamnin, ter se po bolj ali manj razčlenjenih in hitrih poteh premika do točk ponovnega vznika.

Začetek razvoja je skoraj naključen in pogojen s ponori, tj. točkami, ki omogočajo prodiranje vode v tla in

od tam v podtalje, ter z vodnim pretokom v podtalju; temu sledi nastanek prvih protokavitet, ki se razvijajo vodeno naključno (glej zgoraj). Nato se prednostno širijo tisti odseki vodotoka, ki imajo iztok navzven, tj. tistih, ki lahko z odtokom zajamejo več vode, in nato dejanski razvoj znotraj vodonosnika, povezan s številnimi dejavniki, med katerimi prevladujejo geološki in podnebni.

V različnih časovnih obdobjih, vendar v časovnih razponih, ki so velikostnega razreda več deset tisoč let od trenutka, ko voda začne napadati

izpostavljene površinske ali globinske kamnine, se v kraških kamninah z raztapljanjem ustvari bolj ali manj razčlenjena mreža med seboj povezanih praznin.

Razvoj podzemnega omrežja poteka po neenotnih pravih in na zapletene načine v skladu s procesi, ki še niso podrobno znani, tudi zato, ker na razvoj vpliva veliko dejavnikov.

Med temi dejavniki sta morda najpomembnejša obstojnost in oddaljenost diskontinuitet: bolj ko so površine obsežne in manj ko se oprijemajo, lažje prodira voda, najprej kapilarno, nato v laminarnem toku, nazadnje pa s turbolentnim tokom.

Bistven dejavnik je tudi zakrasevalni potencial kamninske mase: vemo, da so kamnine z mikritno osnovo bolj korozivne kot sparitne; da so dolomitni kristali bolj odporni kot sparitni; da organske primesi pospešujejo raztapljanje, medtem ko ga silikatne primesi ovirajo oziroma ovirajo vodne tokove, ko se primesi mobilizirajo.

Nekatere votline se zato širijo hitreje kot druge.

Seveda obstajajo še drugi dejavniki, ki

vplivajo na hitrost reakcij raztapljanja, tako da jih upočasnijo ali pospešijo: mešanje voda z različno kemijsko sestavo in/ali različnimi temperaturami, prisotnost raztopljenih ali kontaktnih plinov, ....

Prav tako vemo, da se s hitrejšim pronicanjem vode začne tudi faza erozije, ki povzroči prenos raztopljenega materiala drugam.

Podzemno omrežje vpliva na celoten masiv, s hidrološkega vidika ločimo dva dela masiva:

- zgornji del, v katerem voda **pronica** in **odteka**, napolni pa se le v fazi prenosa vode s površine navzdol.

- spodnji del s kraškimi presledki, ki so v celoti zapolnjeni z vodo pod tako imenovanim **piezometričnim nivajem**<sup>5</sup>.

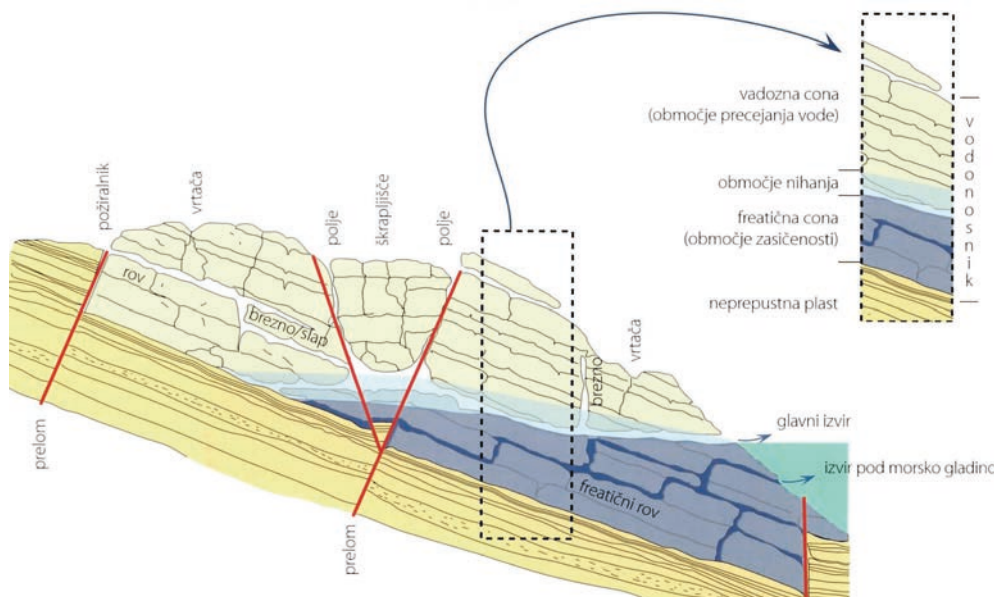
Tako imamo "hidrogeološko" razdelitev kraškega masiva na:

- **vadozno cono, cono pronicanja** ali **nezasičeno cono**;

- **cono zasičenosti ali freatično cono**.

Med obema conama je vmesna cona, znana kot **poplavna cona** (tudi cona nihanja podtalnice ali **epifreatična cona**), katere debelina je odvisna od lokalnega hidravličnega režima in

<sup>5</sup> Številni izrazi so prevzeti iz klasične hidrogeologije, ki obravnava porozne kamnine. Freatični nivo (ali piezometrični nivo podtalnice) je zgornji nivo, ki ločuje nasičeno in nenasičeno cono: spodaj so vse praznine (pore) nasičene z vodo, zgoraj pa je v prazninah zrak. Obstaja vmesno območje, v katerem se podzemna voda s kapilarnostjo vsrkava (v našem primeru se dviguje) v kanale (v našem primeru diskontinuitete) v podlagi: tekočina se dviguje v obratnem sorazmerju z velikostjo kanalov. V krasoslovju torej freatični nivo združuje točke največje višine vode v kraškem masivu, v danem trenutku.



Slika 3.28 Teoretična hidrogeološka shema kraškega vodonosnika. V sivi barvi so apnenčaste kamnine (vodonosnik), v oker barvi so neprepustne kamnine (akviklud), v svetlo modri pa podtalnica. (povzeto po Cucchi in sod., 2012).

Slika 3.29 Razvoj votline od začetne faze freatičnega kanala do zrelejše faze soteske, zapolnjene z naplavinami (povzeto po Cucchi in sod., 2012). 1) Voda zapolni vse votline in jih popolnoma zalije; 2) voda teče z odprto gladino; 3) voda izkoplje sotesko v sredini predora, začne se tvorba kapnikov; 4) spremeni se vodni režim in sprožijo se procesi sedimentacije. Voda se pretaka po nanosih, ki zapolnjujejo predore, in nadaljuje se nastajanje kapnikov.



spreminjanja piezometričnega nivoja, tj. od količine vode, ki vstopa v sistem, in splošne prepustnosti, tj. hitrosti, s katero voda odteka iz sistema.

Tako je mogoče z genetsko-evolucijskega vidika opisati morfologije glede na prevladujoče dejavnike razvoja. Razumljivo je, da litološke značilnosti (litotipi, ki se lahko bolj ali manj dovzetni ali sploh niso dovzetni za zakrasedevanje), tektonske značilnosti (gube, prelomi itd.) in prostorska razporeditev diskontinuitet (pogostost in razporejenost) odločilno vplivajo na podzemne morfotipe ter na razvoj, vrsto in obseg kraških pojavov.

Pri analizi morfologij ne smemo pozabiti niti na vpliv evolucijskih nepredvidenih dogodkov na razvoj kraških pojavov, zlasti tektonskih in podnebnih sprememb, ki so zaradi dolgega časa, potrebnega za njihov popoln razvoj, morda pravi oblikovalci kraških morfotipov.

V različnih geološko-strukturnih in geografskih razmerah, ki so se pojavile med procesom nastajanja krasa, je namreč treba skozi čas oblikovati, analizirati in razumeti rezultate samostojnega ali kombiniranega delovanja treh glavnih morfogenetskih dejavnikov:

**(a)** delovanje tekoče ali stoječe vode, saj lahko razjeda kamnino (agresivna voda ustvarja praznine) in/ali ponovno odlaga kamnino v obliki konkrecije (nasičena voda bolj ali manj popolno

zapolnjuje praznine);

**b)** delovanje vode, ki je sposobna (zaradi energije, pridobljene s hitrostjo) mehansko erodirati (in s tem ustvarjati praznine v kamnini ali sedimentu), prenašati in odlagati material (in s tem pozitivno ali negativno spreminjati praznine) različnih velikosti, če ne tudi različnih vrst (morene, ki jih je v notranjost potisnil led, naplavine, ki so jih v notranjost prenesli površinski in/ali podzemni vodni tokovi);

**(c)** delovanje gravitacije, tj. procesi spreminjanja prvotne morfologije z rušenjem delov kamnin ali drugega materiala s stropov in sten, pri čemer se vzpostavijo novi pogoji stabilnosti (in s tem nove oblike praznin).

Če povzamemo: vsaka votlina je sestavljena iz prostorov, ki so prav tako posebnih oblik in so rezultat geoloških pogojev in razvojnih posebnosti.

Pri analizi podzemnih morfologij je zato koristno razlikovati med tistimi, ki so nastale v freatični coni in se imenujejo **neposredne ali singenetske morfologije**, ter tistimi, ki so nastale v coni pretakanja in se imenujejo **posredne ali paragenetske morfologije**. V vmesnem območju nihanja, kjer se raven kraške vode občasno dvigne, se ustvarjajo mešane morfologije, neposredne in posredne.

Neposredne morfologije

so oblike, ki nastanejo zaradi koroziivnega in eroziivnega delovanja vode

v vseh smereh med poplavljanjem nasičenega podzemnega prostora.

Klasični morfotip je **freatični kanal** ali prisilni kanal. To je bolj ali manj nagnjen in premočrten predor, redkeje vijugast, po katerem se voda skoraj kot po povezovalni cevi s spremenljivo hitrostjo giblje pod osnovno gladino, bodisi lokalno in trenutno bodisi splošno in stalno.

Korozija deluje na stenah in vzdolž smeri toka v vse smeri, zato je prečni prerez bodisi idealno krožne oblike ali pa ovalne oblike zaradi morebitne različne korozivnosti kamnine na različnih mestih. Vedno pa vzdolžna dimenzija v smeri toka in razvoja kanala jasno prevladuje nad stranskimi in navpičnimi dimenzijami.

Med neposredne morfologije se prišteva tudi **brezna**, votline s pretežno ali povsem navpičnim potekom, s podaljšano glavno osjo in z okroglim do elipsastim prečnim prereзом. V nasičeni coni nastajajo le kot tlačni subvertikalni freatični kanali, saj se običajno razvijejo na subvertikalnih diskontinuitetah v vadozni coni. Širijo se s pronicanjem po stenah, s konvekcijskim gibanjem z vlago nasičenega zraka in s padanjem vode. Možno je ločevati med "**klasičnimi brezni**", ki so subcilindrične oblike s simetričnim prereзом glede na navpično ravnino in se navzgor zaključijo z zvončastim stropom, ki je lahko zelo podolgovat, ter "**kaskadnimi brezni**", ki nastanejo zaradi dotoka vode iz bolj ali manj

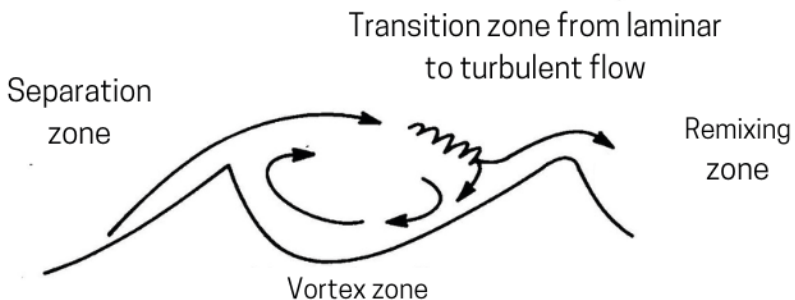
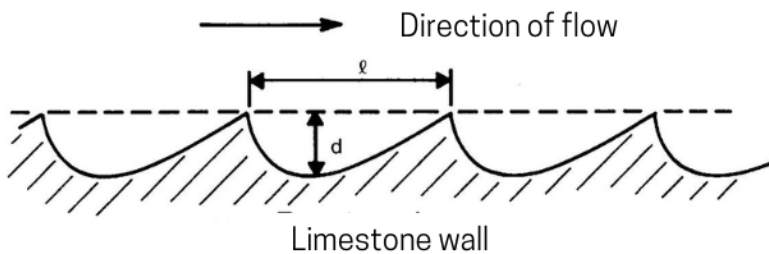
nagnjenih stranskih kanalov, ki se križajo z navpično strukturo.

Posebne neposredne morfologije omejenih dimenzij na stropih ali stenah predorov ali brezen, so *fasete*, kupole, stropni kanali in skalne police.

- **fasete** so ovalne vdolbinice podobne satovju, velike od centimetra do decimetra, znane tudi kot "odtis pretoka". Nastanejo zaradi korozije (in morda tudi abrazije) kamnin, ki ga povzroča tekoča voda v freatičnih pogojih, s turbulentnim, vrtinčastim tokom. Vdolbine so asimetrične v smeri toka, greben in globlji del je na strani pritekanja vode. Zanimive so zlasti s hidrogeološkega vidika, saj njihova velikost omogoča, da določimo hitrosti toka, asimetrija pa omogoča določitev smeri vodnega toka.

- **korozijske kupole** so polkrožne votline na stropu ali stenah predorov, decimetrske do metrske velikosti, običajno na stičiščih diskontinuitet. V vadoznih pogojih lahko nastanejo s kondenzacijo vlage iz zraka, v freatičnih pogojih pa z nihanjem koncentracije CO<sub>2</sub> v vodi, z mešanjem vode iz glavnega toka z vodo iz manjših razpok/kanalov v stropu ali, veliko redkeje, z delovanjem turbulentnih tokov vode ali z zastajanjem zraka/plina na stropu. Pri njihovem nastanku včasih (ne na Krasu) sodelujejo hipogene, plinaste in/ali termalne vode, ki pospešujejo

Slika 3.30 a) in b) Fasete na stropu rova v jami Gualtiero Savi, v notranjosti Stene na desni strani doline Glinščice. Vdolbina je korozijska kupola . c) Risbe so prirejene po White, 1988.



raztapljanje.

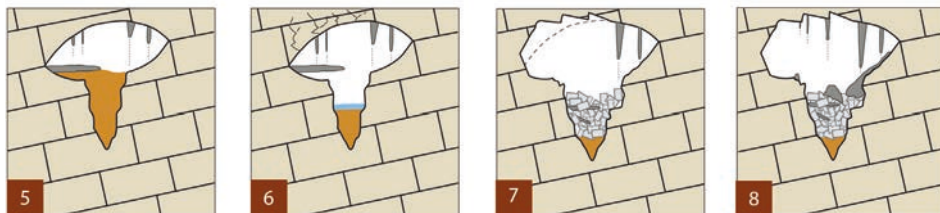
- **stropni kanali** so morfologije, ki jih oblikuje počasni vodni tok, ki pod tlakom ali prisilno teče v stiku s stropom subhorizontalnih predorov po skoraj popolni zapolnitvi prostora z aluvialnim glinenim materialom, torej v polfreatičnih razmerah. Nastanejo tudi zaradi vodnih tokov v odprtem subhorizontalnem vmesnem sloju (lahko pa tudi v kateri koli diskontinuiteti), ki so še posebej stalni in neprekinjeni. Potek je lahko odvisen (cik-cak) ali neodvisen (vijugast) od diskontinuitet v kamninski masi. Višina, dolžina in širina so raznolike: v smeri toka merijo od nekaj metrov do nekaj deset metrov, njihovi prečni prerezi pa so visoki in široki od nekaj centimetrov do enega metra. Posebni morfotipi podobne gene-

ze so **obeski**, kamniti izrastki, ki se spuščajo s stropa: nastanejo s prepletanjem vodnih niti, ki potekajo skozi prodnato-illovnate naplavine in razjedajo strop votlin.

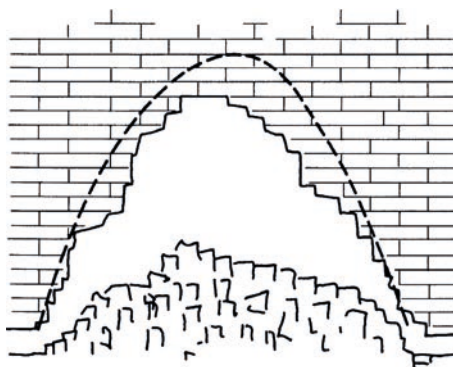
- končno, **police** so stranski vzdolžni izrastki predorov, ki so dokaz erozije in/ali selektivne korozije ali pa so posledica sprememb v režimu vodnega toka in prisotnosti delnih zasipov, ki so bili pozneje odstranjeni.

#### Posredne morfologije

so vsi tisti morfotipi, ki spreminjajo obliko brezen ali so posledica modifikacije brezen zaradi gravitacijskih, fizikalnih in kemičnih učinkov ter tektonskih dogodkov. Zelo pogosto so posredne morfologije posledica sočasnega (ali časovno porazdeljenega) delovanja različnih morfoge-



Slika 3.31 Razvoj votline od faze zrele soteske do faze zrele votline. 5) nastanejo kompleksne sigaste tvorbe in začne se erozija zapolnitvenih nanosov; 6) erozija in nastajanje sige se nadaljujeta; 7) sprožijo se podori zaradi gravitacijske prilagoditve; 8) podori, konkrecije in usedline spreminjajo obliko prvotne votline (povzeto po Cucchi in sod., 2012).



Slika 3.32 Geneza dvorane zaradi podora stropa. Če se strop ob podoru odpre na površje, nastane udorna dolina (povzeto po White, 1988).



Slika 3.33 "Lindnerjev rov", velik prostor na dnu jame Labadnica pri Trebčah, ki ga delno zapolnjujejo podori in naplavine. Nizki predor, ki ga osvetljujejo jamarji, je tako imenovani "vhodni sifon" (foto A. Maizan).

netskih dejavnikov.

Erozija povzroča poglobljanje zaradi korozijskega in erozijskega učinka vode, ki teče v vadoznem režimu po dnu rovov, pri čemer nastajajo soteske, brazde, kotlice, tj. oblike, ki so zelo podobne tistim, ki nastajajo v površinskem fluvialnem okolju. Pogosto je razjedanje ob vznožju predhodno nanesenih sedimentov (police, podorov, kemičnih ali fizikalnih usedlin itd.) zaradi erozije, premikanja in prenosa na druga območja votline.

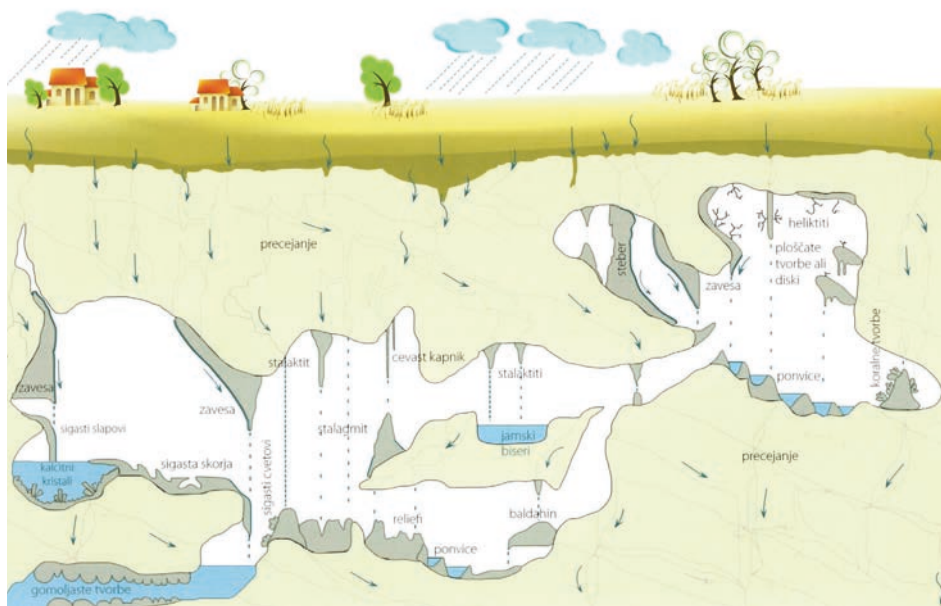
Sedimentacija se izvaja z usedanjem bolj ali manj debelozrnatih usedlin, ki jih tekoče vode prenašajo in puščajo za seboj, ko se zmanjša njihova transportna sposobnost: prod, pesek, mulj, glina. Včasih so v votline zagozdeni tudi ledeniški nanosi, kot so morene. Tako poznamo "avtohtone" usedline, ki nastanejo z razgradnjo, transportom in odlaganjem materialov iz same kamninske mase, in "alohtone" usedline, sestavljene iz materialov, ki so bili vneseni od zunaj skozi požiralnike. Ti nanosi lahko ostanejo sipki ali rahlo zgoščeni, lahko pa delno cementirajo in postanejo pravi konglomerati.

Skalni **podori** so posledica gravitacijskih procesov, ki z mikro-mehanskimi dogodki ali makrogravitacijskimi epizodami obdelujejo praznine, ki niso več v geostatičnem ravnovesju, kar posledično privede do stabilnejših oblik. Poleg rušenja drobnejših skalnih blokov se pojavljajo tudi veliki

podori stropov (ki lahko povzročijo nastanek udornic, če so dovolj blizu površine) ali prevračanje sten v dvorinah in rovih. Pogoste so tudi zrušitve tal zaradi anastomoz rovov, prevrnitve zaradi spodjedanja podnožja in tenzijskih razpok. To lahko privede do nastanka celo precejšnjih akumulacij različnega razsutega (in včasih karsneje tudi zacementiranega) materiala različne debeline: pri evolucionjskih analizah je treba upoštevati, da detriti zavzemajo večjo prostornino kot prvotni material na mestu podora.

Nedavne študije, v katerih so primerjali starost nekaterih velikih podorov v evropskih votlinah, so pokazale določeno povezavo med velikimi zunanjimi podnebnimi spremembami in velikimi podori. Ena od razlag je povezana s povečanim toplotnim raztezanjem skorje v globini, ki deluje kot sprožilec določenih geoloških razmer (ugodna geometrija razpok, napredovalo zakrasevanje in slabšanje geomehanskih lastnosti). Drugi večji podori so zagotovo tudi posledica nenadnega vdora vode pod velikim pritiskom v prostore, iz katerih je odtok veliko manjši od dotoka: skoraj nekakšen "vodni udar" z rušilnimi učinki na stene in stropove prostorov.

Med fizičnimi sedimenti velja poleg naplavin (prod, pesek, bolj ali manj strjeni mulji) omeniti tako imenovane **plastične sedimente**, združbe brazd, grebenov in piramid, ki so nastale v



Slika 3.34 Oblike sigastih tvorb glede na vodni režim (prirejeno po Cucchi in sod., 2012).

glinenih in muljastih sedimentih z večjim ali manjšim deležem peska kot posledica ponavljajočega se poplavljanja in poznejšega praznjenja votline ali kapljanja vode s stropa.

**Črvičaste tvorbe** ali "leopardaste proge" so posebne tanke ilovnate obloge na stenah. Zaradi izhlapevanja in elektrostatične privlačnosti (po mnenju nekaterih tudi zaradi delovanja bakterij) glineni delci aglutinirajo in tvorijo nepravilne, prekinjene agregate majhne velikosti in debeline.

**Nastanek konkrecije** (kemično odlaganje) je rekristalizacija določene soli

(običajno kalcijevega karbonata, ob posebnih priložnostih pa tudi drugih karbonatov) zaradi prenasičenosti, skoraj vedno v vadoznem okolju. Oblika in struktura konkrecij (t. i. **sig**) sta odvisni od "vrste gibanja" mineralizirane vode: točkovni ali razpršeni vir, kapljanje ali pretakanje, stalen ali spremenljiv tok, drsenje po stenah ali dnu, laminarni ali turbulentni tok, zračni tokovi, spremembe absolutne vlažnosti, mineralna ali termična obogatitev so nekateri od dejavnikov, ki pogojujejo morfologijo različnih oblik. Na obliko in vrsto kristalizacije seveda vpliva tudi smer prevladujočih zračnih ali vodnih tokov.

Zato jih moramo razlagati na podlagi modela nastanka vendar ob tem upoštevati, da so tudi dokaz preteklih vodnih in/ali podnebnih režimov.

Glavni mehanizmi usedanja so:

- (a) usedanje s kapljanjem (**cevke, stalaktiti, tančice ali zavese, stalagmiti**);
- (b) usedanje z odtekanjem (**stebri, ščiti, stalagmitne skorje, ponvice**);
- (c) kapilarno usedanje (**diski, helektiti, socvetja**);
- (d) usedanje v podvodnih razmerah (mameloni, **jamski biseri**);
- (e) usedanje iz termalnih izvirov (gaysermites);
- (f) usedanje s kondenzacijo (obrobe, metlice).

Stalaktiti in stalagmiti so najpogostejše oblike jamskih konkrecij. Nastanejo z odlaganjem kristalov kalcita ( $\text{CaCO}_3$ ) pri izhlapevanju vode med kapljanjem.

**Cevke** so posebni stalaktiti, katerih premer ostaja konstanten in sovпада s premerom kapljice vode, ki jih ustvarja (0,4-0,6 cm). Kapljanje je dovolj počasno, da omogoča odlaganje materiala v krožnem vencu, vendar je dovolj hitro, da ne omogoča kristalizacije v cevi.

**Stalaktiti** se oblikujejo na stropu votlin: kaplja, ki z difuzijo izgublja ogljikov dioksid v ozračje, odlaga kristale kalcita na robu. Voda pronica skozi osrednji kanalček (kar prispeva k vertikalni rasti) in po zunanji

površini, pri čemer se odlagajo tanke koncentrične koprene, ki omogočajo radialno rast sige.

Na točki, kamor kaplja pade (običajno na tleh) nastane **stalagmit**, katerega valjasta oblika z oglatim vrhom je posledica dejstva, da je odlaganje največje na mestu padca in se radialno zmanjšuje, ko se oddaljujemo od mesta padca. Oblika stalagmita ni odvisna le od hitrosti padanja (in s tem od višine), temveč tudi od količine vode in njenega režima (in s tem od vrste zunanjega podnebja).

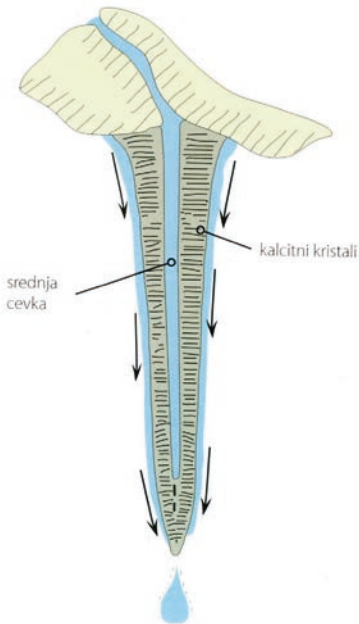
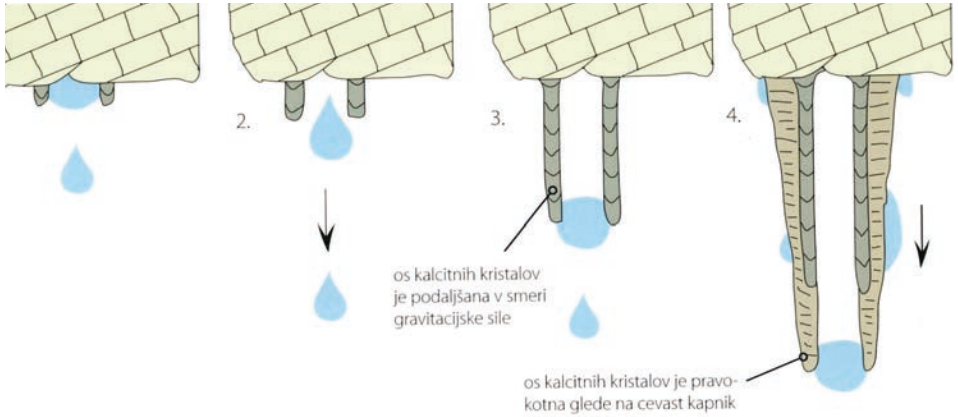
Združitev stalaktita s stalagmitom tvori **steber**, ki se nato razvije v ščit.

Navpični odsek stalaktit - padajoča kapljica - stalagmit ostajajo poravnani z osjo prirastka stalagmita: "nihanja", tj. spremembe položaja kamnine, v kateri se nahaja votlina, ostanejo zabeležene z zaporednimi stalagmitnimi prirastnimi pasovi. Z analizo oblike prirastka in odstopanj od navpične osi prirastka je mogoče rekonstruirati nekatere geološke dogodke, kot so nedavni premiki površinske skorje (ki jih pogosto spremlja seizmičnost) in podnebne spremembe.

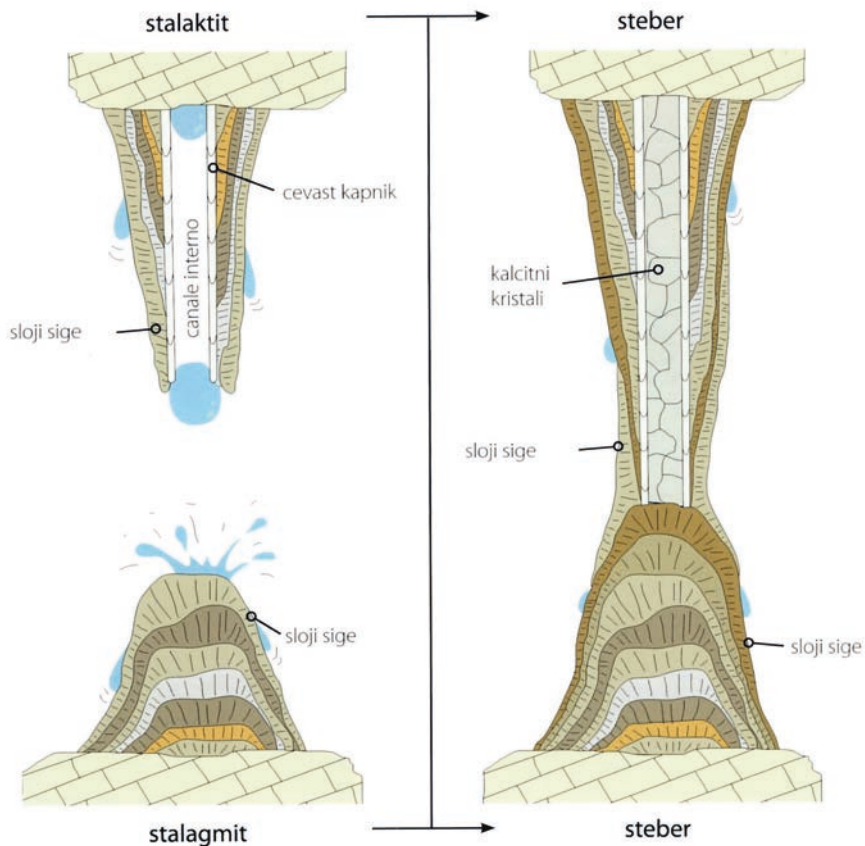
**Tančice** ali zavese so zavesam podobne konkrecije, ki nastanejo s kapljanjem in/ali pretakanjem vode v določeni smeri, najprej vzdolž stene, nato pa se od nje oddaljijo.

**Ščiti**, ki se v najrazličnejših oblikah odlagajo na subvertikalnih do subhorizontalnih površinah, nasta-

Slika 3.35 Rast cevke ali kanile (prirejeno po Cucchi in sod., 2012).



Slika 3.36 Nastanek stalaktita (prirejeno po Cucchi in sod., 2012).



Slika 3.38 Rast stalagmita (levo) do nastanka stebra (desno) (prirejeno po Cucchi in sod., 2012).

Slika 3.37 a, prečni prerez dveh koalescentnih stalaktitov (Cucchi in sod., 2009); b1 in b3 sta vzdolžna prereza stalaktita, v sredini b1 je še vedno vidna prvotna kanila, ki je v b3 zapolnjena s sigo. b2 prečni prerez (manjkajoči del med b1 in b3), v katerem je vidna kanila v sredini in okoli nje pasovi kristalov različnih velikosti, odvisno od stopnje perkolacije. Opažiti je možno, kako lahko med eno in drugo konkrezijsko fazo nastanejo praznine. Barvne razlike so odvisne od prisotnosti organskih snovi, kovinskih ionov in pigmentnih snovi.

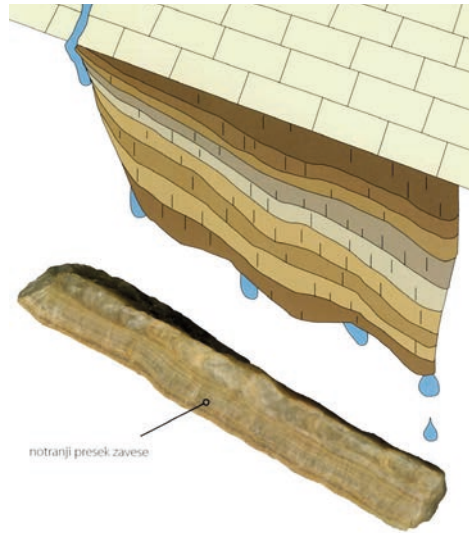
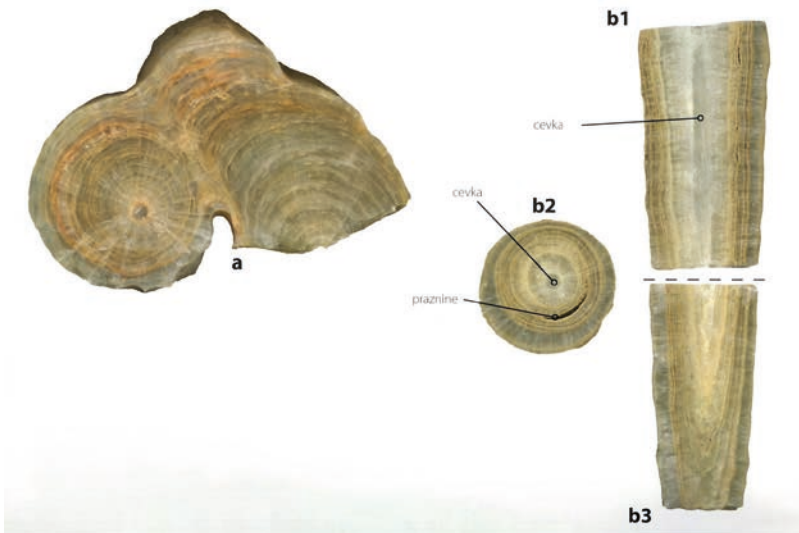


Fig. 3.39 Nastanek zavese in notranji preseki le te. (prirejeno po Cucchi in sod., 2012)



nejo zaradi tanke vodne koprane, ki teče po površinah in odlaga kristale kalcita (z osjo rasti pravokotno na površino). Tudi morfologija ščitov, zlasti stenskih, je povezana z dinamiko toka in količino vode, zapletajo pa jo lahko tudi stalaktiti ali obodne pregrade.

**Ponvice** so viseče kadi, ki jih zapirajo sigove pregrade; velike so od nekaj milimetrov v višino in širino (mikrogours) do nekaj deset metrov v širino in več metrov v višino. V območju pretakanja se vzpostavijo turbulentni pogoji, ki povzročijo sproščanje CO<sub>2</sub> in odlaganje same sige zaradi prenasičenosti: oblika je običajno vijugasta, kar je odvisno od nepravilnosti podlage in kinetične energije odtokov.

**Diski** so jajčaste ali okroglaste konkrecije, sestavljene iz dveh krožnikov (vsaka debela 1-5 cm), ki ju ločuje sredinska prekinitvena ploskev. Ploskev je izbočenje interne razpoke v kamnini v prostore v votlino; voda kapilarno prihaja iz razpoke in se izteka v vse smeri.

**Helektiti** je kalcitna tvorba, ki se razvija v vseh smereh, ne da bi nanje očitno vplivala gravitacija. Razvijejo se na ali iz porozne podlage, ki omogoča razvoj notranjega oskrbovalnega kanalčka s premerom v stotinkah milimetra: voda pride do vrha kapilarno, ker je vode malo napetosti toka ne vplivajo na tvorjenje kristalov. Če se ne kondenzira voda, temveč aerosol,

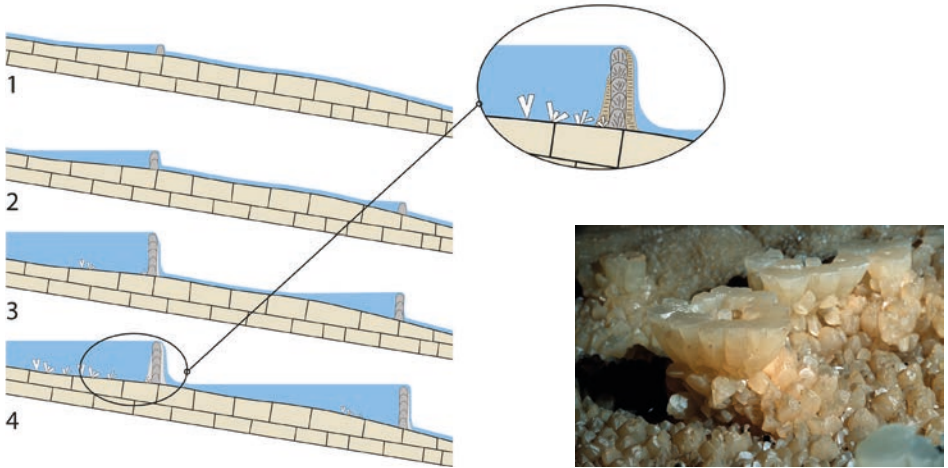
lahko nastanejo helektiti, znani kot "metlice".

Tudi **socvetja so** posledica "cvetenja" kalcitnih kristalov s kapilarnim dovodom vode iz sten.

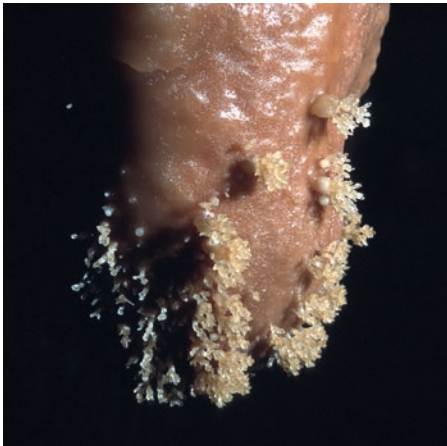
**Pizoliti** ali jamski biseri so proste konkrecije, sestavljene iz koncentričnih skorij sige, ki se razvijejo okrog usedlinskega jedra. Najpogostejša oblika je kroglasta, s premerom od nekaj stotink milimetra (**ooliti**) do približno deset centimetrov. Običajno jih najdemo v skupinah v rezervoarjih, ki jih napaja prenasičena voda.

### 3.2.3 Jamarske raziskave

Izraz "speleologija" se je v znanstveni literaturi pojavil šele konec 19. sto-



Slika 3.40 a ) Oblikovanje ponvic in kalcitnih makrokristalov (prirejeno po Cucchi in sod., 2012); b) nekaj makrokristalov na dnu obodne pregrade v jami Grotta Impossibile. (Foto: Franco Cucchi)



Slika 3.41 a) Helektiti in b) socvetja na stalaktitih v jami Grotta Impossibile. (Foto: Franco Cucchi)

letja, ko ga je uporabil Francoz Emile Riviére. dejansko se je znanstveno in sistematično preučevanje votlin in podzemnih voda rodilo v prvi polovici 19. stoletja tako na matičnem Krasu kot v Franciji, glavni raziskovalec tistega stoletja je bil Eduard Alfred Martel (1859-1938).

Vendar so bila že v drugi polovici 17. stoletja natisnjena prva besedila o podzemnih votlinah, ki so poskušala pojasniti njihov nastanek ter nastanek stalaktitov in stalagmitov, čeprav so temeljila na takratnem znanju.

Prvi speleološki spis je iz leta 1664: gre za knjigo *Mundus Subterraneus* jezuita Atanzija Kirchnerja, ki na zemljevidu prikazuje štiri ustja, iz katerih je takrat tekla reka Timava.

V začetku 18. stoletja je francoski botanik Joseph de Tournefort objavil nenavadno teorijo o rastlinskem izvoru konkrecij, ki naj bi nastale z okamenitvijo semen.

Zelo pomembna osebnost za nastanek znanstvene speleologije na Krasu je Janez Vajkard Valvasor, ki je leta 1687 poslal Kraljevi družbi v London zapis, v katerem je opisal hidrogeologijo *Cerkniškega jezera* in okolice.

V Valvasorjevem najbolj znanem delu "Slava vojvodine Kranjske" so opisane tudi najbolj znane kraške jame, kot sta *Postojnska in Škocjanske jame*. Dolgo je veljalo prepričanje, da so vode, ki so prihajale v te jame, iztekale iz Štivana, in da je njihova podzemna pot potekala za mestom Trst.

Rojstvo speleologije na matičnem

Krasu je tesno povezano z nekaterimi vidiki tržaškega gospodarskega življenja. Ko je cesar Karel VI. leta 1719 Trstu podelil status svobodnega pristanišča, se je znatno povečal ladijski promet in s tem pomen mesta: ocenjuje se, da je leta 1780 skozi Trst potekala četrtnina vse trgovine avstrijskega cesarstva. V približno enem stoletju, od sredine 18. stoletja, je mesto doživelo velike spremembe: povečalo se je pristanišče, zgradile so se nove četrti, predvsem pa se je znatno povečalo število prebivalcev. Posledično se je povečala tudi potreba po vodi, zlasti v poletnih mesecih. Že sredi 18. stoletja je bil zgrajen terezijanski vodovod, ki je vodo črpal prek dveh drenažnih rovov, izvrtanih v fliš v četrti Vrdele, in z njo napajal vodnjake na treh mestnih trgih. V 19. stoletju so terezijanski vodovod postopoma povečevali z izkopom novih predorov, tako da je bila leta 1902 trasa enega od predorov podaljšana za več kot 100 metrov v apnenec, vendar ni naletela na večje vodne tokove. Vendar pretok terezijanskega vodovoda nikoli ni bil dovolj velik, da bi dokončno rešil težave z oskrbo mesta in pristanišča z vodo.

Prav s temi vprašanji so povezane "speleološke" raziskave podzemnega toka reke Timave. Vključenost Občine Trst in drugih javnih zavodov ter zanimanje nekaterih vodilnih osebnosti mesta (na primer Domenica Rossettija) za to temo so dobro dokumentirani od začetka 19. stoletja. Leta 1828

je bila imenovana "Komisija za vodo", ki je ocenila vodne vire celotnega ozemlja, vključno z Nabrežinskimi izviri in vodami Škocjana.

V naslednjih letih so opravili izmere ter določili višine in višinske razlike med Škocjanom in mestom, da bi ocenili možnost izkopa predora v dolžini 6000 *klafter* (nekaj več kot 11 km), ki bi dovajal vode zgornje Timave. Leta 1838 je Anton Friedrich Lindner začel sistematično raziskovati mesta, kjer je med visokim vodostajem Timave voda bruhala na dan zaradi dviganja vode v območju nihanja podtalnice. Ta najdišča, ki jih je pozneje popisal Anton Schmid, so poimenovali z nemškim izrazom "luftloch" (dobesedno "zračna luknja", slovensko *dihalnik*), ki ga še vedno uporabljajo jamarji v Trstu.

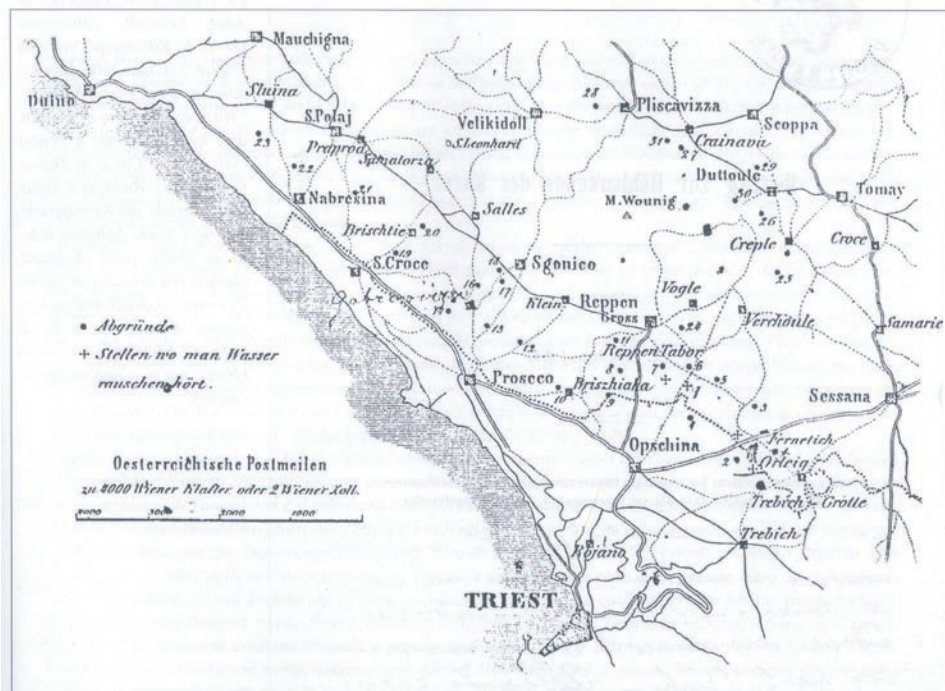
Cilj je bil poiskati vmesno točko ob podzemnem toku reke Timave, od koder bi lahko speljali odcepni kanal do mesta. Lindnerju pripisujejo dve pomembni odkritji: Briškovsko jamo (Grotta Gigante) in Labadnica pri Trebčah (Abbisso di Trebiciano). O Lindnerjevem raziskovanju prve votline ni zanesljivih dokazov, o raziskavah v Labadnici pa je na voljo dovolj dokumentacije. Raziskava je bila za tiste čase izjemen podvig: izkopavanja so trajala pet mesecev, pri čemer so se ozki prehodi odpirali tudi z uporabo min. 5. aprila 1841 sta se Luca Kral iz Trebč in rudar Antonio Arich iz Idrije spustila v veliko jamo, na dnu katere je na globini 326 m tekla reka

Timava; odprla sta prvi pogled na njen podzemni tok. Med enim od prvih spustov so našli nekaj primerkov hrošča *Pterostichus fasciatopunctatus*, o katerem so poročali iz doline Zgornje Timave. To je bil znanstveni dokaz povezave med Zgornjo Timavo in podzemno Timavo ter eden prvih primerov biološkega sledila.

Po nekaj mesecih je bilo odkritje objavljeno v reviji, ki je izhajala na Dunaju, konec oktobra pa tudi v "Giornale dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze lettere ed Arti di Milano. Naslednje leto, leta 1842, je Domenico Rossetti odkritje predstavil v Padovi na četrtem srečanju italijanskih znanstvenikov. Novica je obšla Evropo, tako da je jama vse do začetka 20. stoletja veljala za najglobljo na svetu.

Vendar odkritje ni rešilo težav z vodo v mestu, saj je bila nadmorska višina (12 m nad morjem) prenizka. Financirana je bila gradnja fiksnih lestev, eno leto pa so preučevali značilnosti vode in gladino reke, da bi ocenili, kako visoko se lahko dvigne voda. V naslednjih letih se je zaradi gradnje južne železnice problem oskrbe z vodo še zaostрил, projekt preusmerjanja vode iz kraške votline je bil opuščen, zato so se odločili za izkoriščanje Nabrežinskih izvirov.

Leta 1883 je bila ustanovljena "Jamarska komisija" planinskega društva Società Alpina delle Giulie, v katerem je bilo veliko speleologov, povezanih z iredentizmom. V istih letih so bile ustanovljene druge speleološke sku-



pine, povezane z nacionalnimi skupinami, ki so začele na tem območju iskati in raziskovati jame.

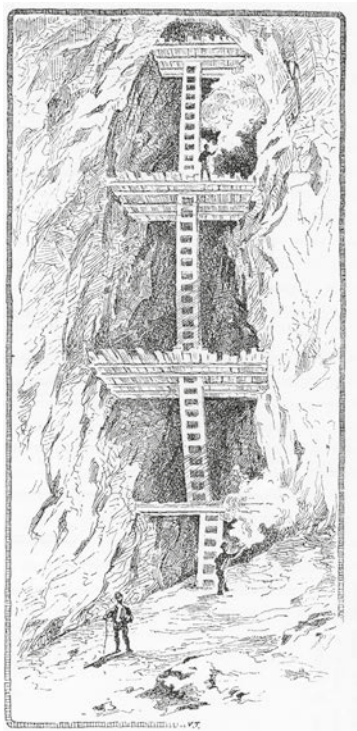
Leta 1893 je Eduard Alfred Martel obiskal Labadnico pri Trebčah, naslednje leto pa je v svojem članku omenil tudi Grotta dei morti (Jamo mrtvih) in jamo v Padričah, ki je po njegovem mnenju bila druga najgloblja jama na svetu. Prvo obsežno dokumentirano raziskovanje Briške jame sega v leto 1895, že leta 1908 pa je bila odprta za javnost kot "turistična jama".

V začetku 20. stoletja je inženir Ti-

*Slika 3.42 Zemljevid znanih vhodov v jame in "luftlochov" (dihalnikov), ki ga leta 1851 objavil Adolf Schimdl (povzeto po Galli, 2000).*

meus z vrsto poskusov s kemičnimi sledili, barvili in radioaktivnim označevanjem vode dokazal, da obstaja vodna povezava med požiralnikom Škocjan, Labadnico v Trebčah in izviri v Štivanu. To je bila znanstvena potrditev številnih hipotez in poskusov, pogosto empiričnih, ki so si sledili že tri stoletja, začeni s tistimi, ki jih je konec 16. stoletja zastavil farmacevt Ferrante Imperato.

Konec prve svetovne vojne je pomenil epohalno spremembo za mesto Trst in seveda tudi za krasoslovce: v letih, ki so sledila, sta postala pomembna Luigi Bertarelli in Eugenio Boegan. Leta 1926 sta izdala zbornik "2000 Grotte", ki je bil sinteza takratnega speleološkega znanja in predvsem prvi poskus ureditve popolnega seznama jam matičnega Krasa. V naslednjih letih je Boegan poglobljal in sintetiziral svoje znanje o podzemnem toku Timave in leta 1938,



leto pred svojo smrtjo, objavil knjigo "Il Timavo", ki je desetletja ostala eden najboljših primerov "študije podzemne in površinske kraške hidrografije", kot pravi njen podnaslov. V povojnem obdobju se je na območju Tržaške in Goriške pokrajine povečalo raziskovanje, katerega cilj je bil razširiti speleološko znanje, predvsem pa odkriti nova brezna, ki segajo v podzemni tok Timave. V petdesetih letih prejšnjega stoletja je Walter Maucci, učitelj naravoslovja na eni od mestnih srednjih šol, začel prve jamske raziskave v dveh sifonih Labodnice pri Trebčah. V šestdesetih letih 20. stoletja je sodelovanje med speleologi in univerzo spodbudilo tudi nov pristop k znanstvenemu raziskovanju, ki je speleologe približal geologom, zoologom in arheologom. Septembra 1966 je avtonomna dežela Furlanija-Julijska krajina objavila deželni zakon, s katerim je ustanovila "deželni register jam" in začela financirati raziskovanje kraških pojavov ter razširjati rezultate speleoloških dejavnosti. To je bil prvi zakon v Italiji, ki je priznal in institucionaliziral pomen speleologije za poznavanje kraških območij.

Šele konec prejšnjega stoletja, leta 1991, z osamosvojitvijo Slovenije in njenim vstopom v Evropo leta 2006,

*Slika 3.43 Pritrjene lesene lestve v Labodnici pri Trebčah (Caprin 1895, povzeto po Galli, 2000).*

je bilo mogoče odpreti novo poglavje o preučevanju Timavskega bazena, nadaljevati raziskave vodnega toka in geologije celotnega matičnega Krasa z zanimivimi rezultati.

V Tržaški in Goriški pokrajini deluje 14 speleoloških skupin, ki so večinoma članice Deželne speleološke zveze. Skupno število jam v Deželnem katastru jam je skoraj 4.000.

Ne smemo pozabiti, da to območje ni le zibelka znanstvene speleologije, temveč tudi jamskega turizma. Prva knjiga z imeni obiskovalcev Škocjanskih jam je iz leta 1819, obstaja pa tudi dokument iz leta 1633, ki navaja, da je grof Petazzi, lastnik zemljišča pri Lokvi, kjer se je odprla *Jama Vilenica*, lokalni skupnosti podaril del prihodkov od obiska jame, zato se lahko ponaša kot prva turistična jama na svetu.

---

## BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA

CUCCHI F., RICCAMBONI R., BANDI E. (Ed.) (2012) *Acqua e vita nelle grotte della Val Rosandra*. 141 pp. LINDT (Trieste-Slovenia), ISBN 978-88-8190-281-1.

DE WAELE J., FORTI P., PICCINI L. (2009) *Speleogenesi in rocce carbonatiche*. Progetto Powerpoint 2009, Società Speleologica Italiana.

FORD D.C. & WILLIAMS P.W. (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley and Sons Ltd, 562 str.

FORTI P. (2000) *I depositi chimici delle grotte*. Quad. Did. Soc. Speleol. Ital., 7, 36 str.

GALLI M. (2000) *La ricerca del Timavo sotterraneo*. Museo Civico di Storia Naturale, 175 str., Trieste.

JAKUCS, L. (1977) *Morphogenetics of karst regions: variants of karst evolution*. (Translated by B. Balkay). Bristol: Adam Hilger, 284 str.

JENNINGS, J.A. (1985) *Karst geomorphology*, second edition. Oxford: Basil Blackwell, 293 str.

PANIZZA M. (2014) *Geomorfologia*. Pitagora Ed. 408 str.

PICCINI L. (1999) *Geomorfologia e speleogenesi carsica*. Quad. Did. Soc. Speleol. Ital., 1, 40 str.

TRUDGILL S.T. (1986) *Solute processes*. Ed. Wiley and sons, 512 str.

WHITE W.B. (1988) *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, Oxford University Press, 464 str.

---

## 4. HIDROGEOLOGIJA

### 4.1 Splošni hidrogeološki koncepti

Po splošno razširjenih predstavah je Kras suha kamnita pokrajina brez površinskih voda in rastlinja. Takšna predstava delno ustreza resničnosti, zato je mogočen izvir podzemne vode v bližini Devina tako močno nasprotje v primerjavi okoliškimi območji, da je že od nekdaj prese-netilo popotnike, ki so v preteklosti ali v današnjem času prečkali ta ozemlja. Od kod se na tako suhem območju pojavi takšna količina vode, da ustvarja kratki površinski tok reke Timave? Za odgovor na to vprašanje je treba razumeti mehanizme, ki uravnavajo napajanje in odtekanje kraškega vodonosnika, in pojasniti nekatere principe, na katerih temelji kroženje podzemne vode.

Najprej moramo razumeti, kje pod zemljo se nahaja voda in kako kroži v globinah.

#### 4.1.1 Poroznost in prepustnost

Vsaka kamnina, bodisi v obliki kamna ali zdrobljena, je sestavljena ne le iz trdnega materiala, temveč tudi iz praznin (por, medprostorov ali razpok). Parameter, s katerim se količinsko opredeli delež praznin glede na trdni del, je **poroznost**, ki v odstotkih izraža skupno prostornino por glede na skupno prostornino kamnine ( $n = V_v / V_t$ ). Poroznost je lahko **primarna**, kadar pore nastanejo hkrati z nastankom kamnine, o **sekundar-**

**ni** poroznosti pa govorimo, kadar je ta lastnost posledica vseh procesov (tektonike, metamorfizma, delovanja zunanjih dejavnikov ...), ki se lahko pojavijo po litogenezi. Sekundarna poroznost je torej odvisna od razpokanosti, lomljenja in delitve kamnine ter kemičnega raztapljanja in mehanske erozije, ki jo doživlja kamnina. Poroznost omogoča, da je vsaka kamnina potencialni rezervoar, v katerem se lahko zadržuje voda. Če je količina vode, ki jo lahko kamnina zadrži, povezana s poroznostjo, pa enostavnost prehajanja podzemne vode skozi kamnino ni povezana le s poroznostjo, temveč tudi in predvsem z obliko, velikostjo in povezanostjo razpok v kamnini. Zato za razumevanje potenciala kamnine s hidrogeološkega vidika ne zadostuje samo poroznost, ampak je treba uvesti tudi pojem prepustnosti. **Prepustnost** je sposobnost kamnine ali tal kot celote, da prepuščata vodo.

Na prvi pogled bi torej ocenili, da se z večanjem poroznosti posledično povečuje tudi prepustnost, vendar to drži le delno. Če so kamninske pore zelo majhne (pod  $0,5 \mu\text{m}$ ), je voda v razpokah zaradi molekularne sile privlačnosti vezana na kamnino in je nepremična. Adsorpcijski pojavi vežejo molekule vode na posamezna kamnita zrna (higroskopska voda), na kamnini pa adhezijski pojavi zadržijo dodatno plast vode (pelikularna

voda). Izraz kamninska retencijska voda pomeni vsoto prostornine higroskopske in pelikularne vode.

To velja na primer za glino, sediment z zelo visoko poroznostjo (40-50 %), vendar z zelo nizko prepustnostjo: vsa voda v porah je retencijska voda in se zato ne more prosto gibati pod vplivom gravitacije; v teh primerih dejansko govorimo o neprepustnih tleh. Če so pore večje, je retencijska voda le delček vode v razpokah (le tista, ki je okoli vsakega zrna v matrici), vsa ostala voda pa se lahko prosto giblje (**gravitacijska voda**). V hidrogeologiji je torej običajno, da skupno poroznost kamnine razdelimo na dve komponenti: specifično retencijo ( $n_r$ ) in efektivno poroznost ali specifični pretok ( $n_u$ ), pri čemer je skupna po-

roznost enaka  $n_t = n_r + n_u$ .

Merska enota za prepustnost je m/s in običajno se tla/skala z vrednostjo, manjšo od  $10^{-9}$  m/s, štejejo za neprepustna, z vrednostmi nad  $10^{-4}$  m/s pa za prepustne enote; vmesne vrednosti se pripisujejo polprepustnim formacijam.

Kamnina	Skupna poroznost [%]	Efektivna poroznost [%]	Prepustnost [m/s]
Gramoz	25÷45	10÷35	$10^{-3} \div 1$
Pesek	20÷40	10÷35	$10^{-6} \div 10^{-2}$
Mulj	30÷50	2÷30	$10^{-9} \div 10^{-5}$
Glina	40÷50	0÷5	$10^{-13} \div 10^{-9}$
Apnenec	0,5÷15	0÷10	$10^{-9} \div 10^{-2}$
Peščenjak	5÷25	2÷15	$10^{-10} \div 10^{-6}$
Lapor-glinenec	10÷50	0,2÷5	$10^{-13} \div 10^{-9}$

#### 4.1.2 Coniranje vodonosnika

Ko se voda infiltrira v podtalje skozi medsebojno povezane pore, začne pot v globino, dokler ne naleti na neprepusten horizont. Glede na stopnjo nasičenosti in gibanje vode lahko podtalje razdelimo na dve območji.

Za prvo, imenovano **aeracijska** ali **nezasičena cona**, je značilno pretežno vertikalno pretakanje vode. Cona, kjer so vse praznine nasičene z vodo, je znana kot **zasičena cona**, kroženje vode poteka v njej pretežno horizontalno proti območjem izvirov ("podtalnica").

Aeracijsko cono lahko razdelimo na 3 podcone:

- Cona *evapotranspiracije* je najbolj površinsko območje, iz katerega se infiltrirana voda z izhlapevanjem in transpiracijo rastlin lahko vrne v ozračje. To je spremenljivo območje, ki je v naših zemljepisnih širinah debelo 1-3 metre.
- Globlje leži cona *retencije*, za katero so značilni večinoma navpični odtoki navzdol, v njej so hkrati zasičene pore in zrak, odvisno od pojavov infiltracije.
- Neposredno pred vstopom v nasičeno območje je *kapilarni rob*. To so vode, ki se s kapilarnimi pojavi dvigajo iz zasičene cone in so debele od nekaj centimetrov do 3-4 metrov v obratnem sorazmerju z velikostjo por.

#### 4.1.3 Vodonosniki

Izraz **vodonosnik** (*aquifer* v angleščini) izhaja iz latinskih izrazov *aqua* (voda) in *fero* (nositi) ter označuje prepustno geološko formacijo, ki je dovolj velika, da omogoča kopičenje in prenos velikih količin vode. Vendar pa, kot trdita Freeze in Cherry (1979), *med vsemi besedami v hidrološkem leksikonu verjetno nobena nima toliko pomenskih odtenkov kot izraz vodonosnik*. Beseda *vodonosnik* ima različne pomene, odvisno od ljudi, ki jo uporabljajo, in morda celo različne pomene za isto osebo v različnih obdobjih. Z izrazom *vodonosnik* označujemo posamezne geološke nivoje, celotne formacije in celo skupine formacij. Izraz je treba vedno obravnavati glede na kontekst uporabe. Najboljša opredelitev **vodonosnika** bi lahko bila naslednja: *prepustna in nasičena geološka enota, ki lahko omogoča pretok znatnih količin vode, če je podvržena primernim hidravličnim gradientom*.

Nasprotno pa se nasičena geološka enota z zelo nizko prepustnostjo, ki ne more prepuščati večjih količin vode, tudi če je podvržena primernim hidravličnim gradientom, imenuje **akviklud** (*aquiclude* v angleščini). Geološke enote z vmesnimi značilnostmi med vodonosniki in akvikludi se imenujejo **akvitaldi** (*aquitard* v angleščini). To so formacije, ki so dovolj prepustne, da voda lahko teče, vendar ne dovolj, da bi jih

lahko izkoriščali.

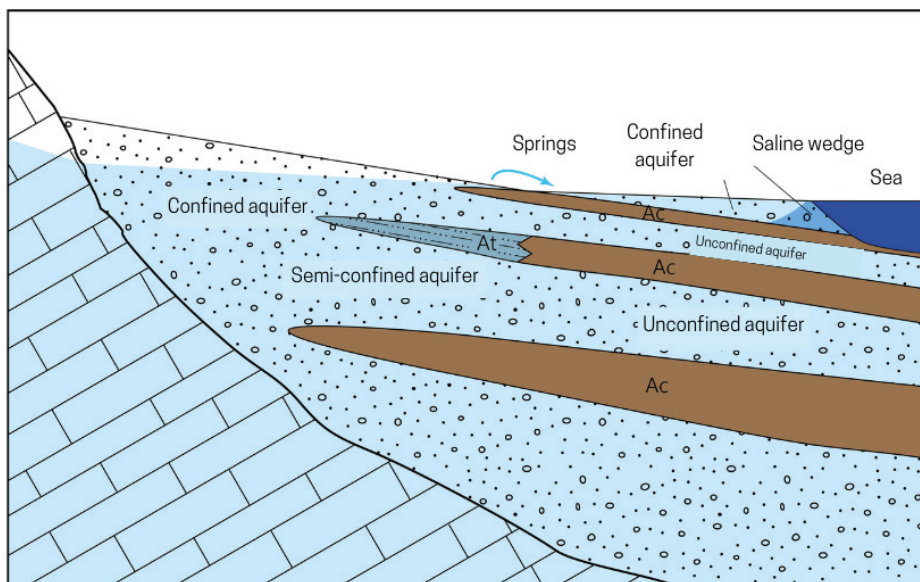
Glede na značilnosti razpok, skozi katere teče voda, se vodonosniki delijo na porozne, če so sestavljeni iz sipkega materiala (prod, pesek ...), in na *razpoklinske/kraške*, če so sestavljeni iz kamnin, ki so prepustne zaradi razpok in/ali zakrasedanja. Poleg tega lahko glede na geometrijska razmerja med akvkludi, akvitaridi in vodonosniki razlikujemo tri različne vrste vodonosnikov:

- **omejeni** ali tlačni **vodonosniki**, tj. vodonosniki, ki so zgoraj in spodaj obdani z akvkludi. Voda v njih je pod pritiskom, piezometrični nivo

pa je višji kot na dnu zgornje barriere. Kadar piezometrična raven vode presega raven tal, se imenuje *arteški izvir*;

- **neomejeni** ali freatični **vodonosniki** so vodonosniki, ki jih spodaj omejuje le slabo prepustna podlaga, medtem ko lahko med letom nihajo glede na padavine in režim oskrbe;
- **delno omejeni** ali delno prosti **vodonosniki** so tisti, ki vsebujejo podtalnico pod pritiskom, vendar so spodaj in/ali zgoraj omejeni z akvitarodom; ali prosti vodonosniki, ki so spodaj omejeni z akvitarodom.

Slika 4.1 Primer večslojnega vodonosnika (risba P. Turpaud).



#### 4.1.4 Podzemno kroženje vode

V vodonosniku se voda pretežno subhorizontalno giblje od območij napajanja proti območju, kjer prihaja na površje (izviru). V poroznih vodonosnikih poteka splošno gibanje vodne mase skozi pore, ki so majhne, a homogeno razporejene po celotnem sistemu. V razpoklinskih in/ali kraških vodonosnikih pa voda teče po poteh, ki jih ustvarjajo medsebojno povezane in različno usmerjene diskontinuitete (razpoke prelomi, stiki med plastmi ...) v kamninski masi.

V vsakem primeru gibanje podzemne vode in način izlivanja na površje nista povezana le z značilnostmi vodonosnika, temveč tudi z medsebojnim odnosom med prepustnimi in neprepustnimi enotami ter morebitno prisotnostjo hidrostrukturnih omejitev. V tem smislu je **meja prepustnosti** opredeljena kot ravnina ali območje prehoda med dvema hidrogeološkima kompleksoma, od katerih bolj prepusten leži nad manj prepustnim. Geometrija meje je skladna s prevladujočo smerjo toka podzemne vode.

Spet drug primer je **prag prepustnosti**, ko je prehodna stopnja med dvema hidrogeološkima kompleksoma z različno prepustnostjo takšna, da nasprotuje prevladujoči smeri toka.

**Prispevno zaledje** je tisti del hidrostrukture, kjer nastajajo in se obnavljajo vodni viri, ki napajajo izvirski tok.

#### Izviri

Izvir je točka ali omejeno območje, kjer podzemna voda zaradi naravnih vzrokov prihaja na površje. Glede na pretočni režim jih lahko razdelimo na *trajne* izvire (ki nikoli ne usahnejo) in začasne izvire. Tako trajni kot začasni izviri lahko izkazujejo precejšnje spremembe v hitrosti pretoka v hidrogeološkem ciklu.

Glede na prevladujoče hidrogeološke dejavnike, ki vplivajo na prodiranje podzemne vode na površje, je Civita (1973) izvire razdelil na tri vrste:

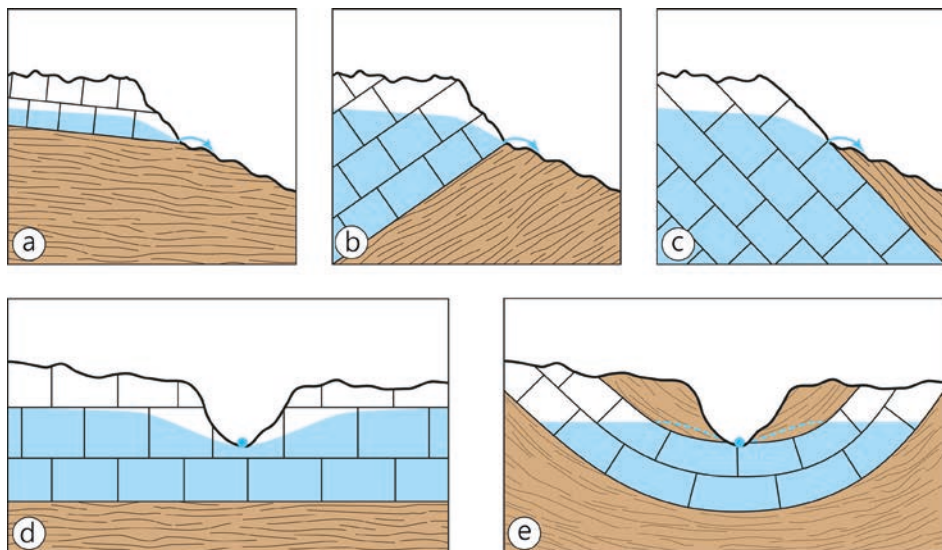
- **izviri zaradi meje prepustnosti, tj.** kadar voda prihaja na površje, ker naleti na mejo prepustnosti. Če je mejo mogoče določiti na podlagi jasnega stika med različnimi tereni (stratigrafsko, tektonsko ali kotno neskladje), govorimo o izvirih z *določeno mejo prepustnosti*. Če pa v litološko homogenem kompleksu opazimo pas, ki ločuje vrhnjo enoto z visoko prepustnostjo od spodnje enote z nižjo prepustnostjo, govorimo o nedoločeni meji.
- **izviri zaradi praga prepustnosti**, ko se voda pojavi na površju, ker naleti na podzemno oviro, ki zaustavi podzemni tok. Glede na geometrijo praga obstajata dva podrazreda: *spodaj ležeči prag prepustnosti*, kadar je neprepustna enota pod vodonosnikom, in *zgoraj ležeči prag prepustnosti*, kadar je neprepustna enota nad vodonosnikom.
- **piezometrični izviri**, ki se pojavlja-

jo zaradi prisotnosti vodonosnika, ki je plitev glede na nivo tal, in zaradi prisotnosti topografske zareze/depresije (dolinske brazde, ledeniške ekspozicije, jezerske kotline ...), ki sekajo piezometrično površino. Če je vodonosnik, ki napaja izvir, zgoraj odprt, nastanejo izviri z izdanjanjem *odprtega vodonosnika*; če pa je vodonosnik omejen, nastanejo izviri z *izdanjanjem vodonosnika pod pritiskom*.

#### 4.1.5 Hidrogeologija kraških vodonosnikov

Kot smo videli v prejšnjih poglavjih, je voda tista gonilna sila, ki ustvarja in razvija kraške pojave. Kroženje podzemne vode v kamninski masi je odvisno od števila, usmerjenosti in medsebojne povezanosti prisotnih sistemov diskontinuitet (plastni stiki, prelomi, razpoke itd.). Padavinska voda pronica v kamnino, ki je sama po sebi neprepustna, le zaradi prisotnosti diskontinuitet. V začetnih fazah zakrasevanja voda sprva kroži

Slika 4.2 Izviri glede na mejo (a), izviri zaradi spodaj ali (b) zgoraj ležečega prava (c), izviri z izdanjanjem odprtega vodonosnika (d) in vodonosnika pod pritiskom (e) (risba P. Turpaud).



razpršeno po celotnem vodonosniku in vpliva na vse prisotne diskontinuitete, takoj zatem pa se voda bolj pretaka tam, kjer je prepustnost večja, tj. vzdolž tistih diskontinuitet, ki so bolj odprte in kjer so padci pretoka manjši. Na teh prednostnih pretokih se kraški proces razvija hitreje: diskontinuitete se širijo in spodbuja se kroženje s turbulentnim odtokom, kar vodi v erozijske in korozijske procese. To je proces, ki se sam obnavlja in sčasoma privede do nastanka izredno heterogenega sistema v kamninski masi s sektorji, v katerih so prekinitev z velikim premerom in zato zelo visoko prepustnostjo, imenovanimi *kanali*, in drugimi, imenovanimi *bloki*, v katerih sta prepustnost in transmisivnost zelo nizki. Nastanek in razvoj te heterogene in anizotropne mreže diskontinuitet ni povezan le z usmerjenostjo in prepustnostjo posameznih diskontinuitet, temveč tudi z načinom napajanja hidrostrukture in medsebojnimi odnosi med prepustnimi in neprepustnimi enotami.

Glede na to, kako voda teče, lahko kraški karbonatni vodonosnik razdelimo na tri sektorje.

#### *Prispevno zaledje in epikras*

Izraz **prispevno zaledje** označuje celotno površino kraškega sistema, ki lahko prejema zaloge vode.

Infiltracija je lahko *razpršena* ali *primarna* (avtogeno napajanje), kadar je povezana samo s padavinami. Hi-

trost in učinkovitost odvajanja vode v globino sta odvisni od prisotnosti, debeline in vrste eluvialno-koluvialnih terenov na površini ter prepustnosti najbolj površinskega dela kamnine. Ta je del tako imenovanega **epikrasa, tj.** najplitvejšega dela kamnine (na našem Krasu običajno 2-5 m), ki ima zaradi dekompresije in delovanja eksogenih dejavnikov večjo prepustnost kot spodaj ležeča kamnina. Zaradi teh lastnosti epikras omogoča hitro infiltracijo površinske vode, ki se nato z določeno zakasnitvijo prenese v vadozno (nezasičeno) cono. Vodonosnik se lahko napaja tudi s površinskim odtokom z nekraških površin, ki ga kraška hidrostruktura odvaja skozi eno ali več požiralnikov (tudi pod nivojem struge). V tem primeru govorimo o *koncentrirani* ali *sekundarni* infiltraciji (alogeno napajanje).

#### *Vadozna cona*

Ko so vode pod zemljo, se večinoma pretakajo po navpičnih poteh po jaških in meandrih v vadozni coni. Z globino se povečuje hierarhičnost kraške mreže, vode pa se kopičijo v vrsti vodnih zbiralnikov, po katerih je vodni pretok včasih tudi stalen in so vse bolj subhorizontalni, dokler ne dosežejo zasičene cone.

#### *Zasičena cona*

V zasičeni coni (znani tudi kot *freatična cona*) voda teče v subhori-

zonalnih kanalih in predorih različnih velikosti, odvisno od hitrosti pretoka, prisotni pa so tudi sifonski odseki. Geometrija predorov in kanalov je tesno povezana z usmerjenostjo različnih diskontinuitet in sega tudi več deset metrov pod piezometrični nivo. Horizontalna in vertikalna razsežnost poplajene mreže je odvisna od položaja izvirov in globine akvikludov/akvitarudov ter od hidrostatične obremenitve. Za zasičeno cono so običajno značilna precejšnja nihanja gladine vode, saj izviri ne morejo vedno odvesti vse vode, ki pronica med močnimi padavinami. Piezometrični nivo se nenadoma dvigne tudi za več deset metrov in tako poseže v dele vadozne cone, v katerih voda običajno ne kroži. Dvigajoča voda potisne ven zrak, ki je ujet v jaških in meandrih, kar ustvarja včasih zelo močne zračne tokove, ki jih je mogoče zaznati tako v kraški mreži kot na površju. Mimogrede, ti zračni tokovi polni vlage prispevajo k dodatnemu širjenju diskontinuitet. Pas med najnižjo in najvišjo gladino vode se imenuje **epifreatična cona** ali občasno zalita cona in je izredno pomembna za razvoj kraškega procesa. V tej coni namreč prihaja do mešanja različnih voda (novo infiltrirana voda in rezerva), kar povečuje agresivnost vode, visoki gradienti pa spodbujajo erozijske procese. To je morda najbolj dinamičen sektor celotnega vodonosnika, kjer nastajajo kanali in predori s premerom do nekaj deset metrov. Skozi kanale in predore se vode stekajo proti izvirov. Ti nastajajo v

topografsko nižjih predelih kraške hidrostrukture, njihov nastanek pa je pogojen z geološko in strukturalno sestavo sistema, kot je prisotnost pragov ali meja prepustnosti. V bližini stalnih izvirov (redkeje začasnih izvirov) lahko opazimo prelivne izvire, ki se aktivirajo šele, ko se piezometrični nivo dvigne in osnovni izviri ne morejo odvesti vse vode, ki pronica v vodonosnik.

#### 4.1.6 Klasifikacija kraških sistemov

V kraškem sistemu so hitrost odtoka in spremembe kemijsko-fizikalnih parametrov vode povezani s fizikalnimi in geometrijskimi značilnostmi rezervoarja, v katerem se voda zadržuje, ter z razvojem kraškega procesa. Raziskava pretočnega režima skupaj s spremljanjem sprememb kemijsko-fizikalnih parametrov vode na izviri ali na splošno na "vodni točki" nam omogoča, da bolje razumemo zgradbo kraškega omrežja in ugotovimo, ali je zanj značilna prisotnost velikih vodnih zbiralnikov ali omrežje diskontinuitet z nizko stopnjo zakraselosti. Po shematizaciji, ki jo je predlagal Vigna (2001), lahko kraške sisteme razdelimo na tri konceptualne modele.

#### *Sistemi z dominantnim odtokom*

Značilni so za vodonosnike, ki so se razvili v masivnih, slabo razčlenjenih in močno zakraselih kamninah. V takšnih sistemih nastane dobro hierarhično razvito kraško omrežje z odtočno mrežo iz velikih zbiralnikov, pogosto nameščenih blizu neprepustne podlage. Ne moremo govoriti o pravi zasičeni coni, vendar so v globokih sektorjih omrežja tudi popolnoma poplavljeni sifonski odseki, ki predstavljajo prednostno drenažno pot vode proti izvirov. Visoka prepustnost mreže zbiralnikov, značilna za ta sistem, omogoča hiter odtok vode med infiltracijskimi dogodki. Na izviri se nenadoma poveča pretok (tudi za tri velikostne rede v primerjavi z običajnim pretokom) in nenadoma se zmanjša vsebnost mineralov v vodi zaradi pritoka novo infiltrirane vode, ki zaradi kratkega časa zadrževanja v vodonosniku nižjo električno prevodnost. Te vode se zelo hitro pretakajo v vodonosniku in običajno nadomestijo tiste, ki so že prisotne v hidrostrukturi.

### *Sistemi z medsebojno odvisnimi odtoki*

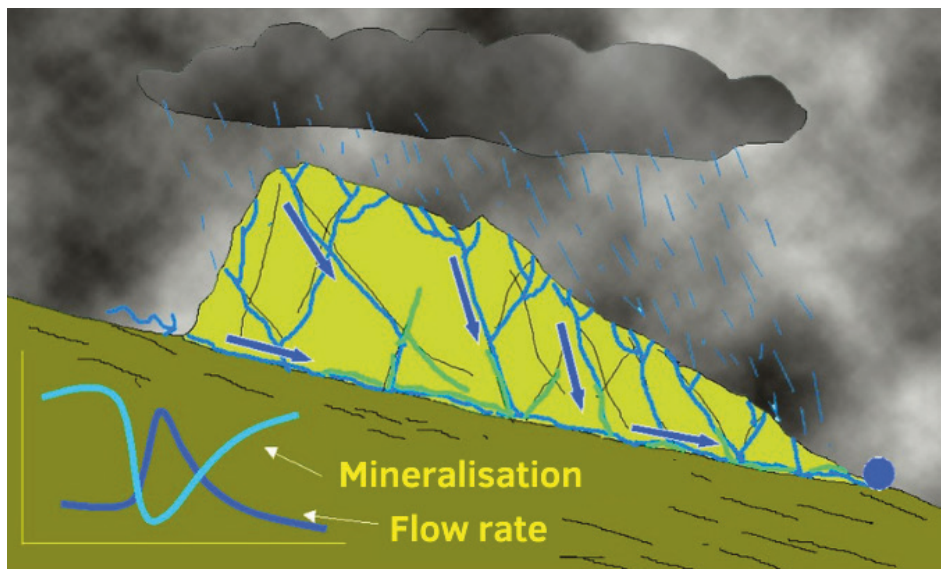
To je sistem, ki se razvija v dobro razčlenjenih in lokalno precej zakraselih kamninah. Zasičena cona je zelo obsežna, zanjo so značilni kanali in razpoke raznih stopenj zakraselosti, ki so med seboj povezani. Tako kot v prejšnjem primeru je med visokim vodostajem na izvirih opaziti pomembno povečanje pretoka, čeprav z manjšimi nihanji in bolj zapoznelim odzivom kot v sistemih z dominantnim odtokom. Ker so za sistem značilne velike rezerve, lahko krivulja upadanja (krivulja praznjenja) pretoka dolgo časa ostaja na visokih vrednostih. Novo prenikajoča voda, ki vstopa v sistem, ponovno mobilizira vodo v manj prepustnih sektorjih omrežja, pri izvirih pa je opazen tipičen učinek bata, saj priteka voda z večjo vsebnostjo mineralov.

### *Disperzijski obtočni sistemi*

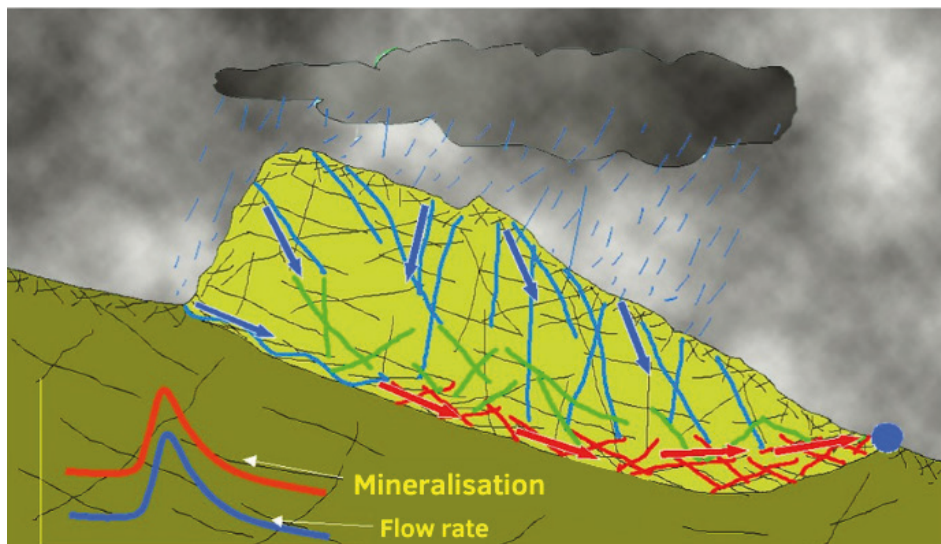
Značilne so za karbonatne kamnine, za katere je značilno intenzivno razpokanje in razširjena krašenje, tako da je kroženje podobno kroženju v poroznem vodonosniku. Kroženje vode je počasno in razpršeno v mreži prekinitev, glavnih zbiralnikov pa ni. Na izvirih ne opazimo povečanja pretoka, povezanega s posameznimi infiltracijskimi dogodki, temveč dolgoročna nihanja, povezana s sezonskostjo. Zaradi počasnega kroženja je mineralizacija v povprečju visoka in relativno stalna (pojav homogenizacije), prav tako tudi temperature.

Če v praksi prepoznamo vzorce delovanja enega od treh modelov, ki jih je predlagal Vigna (2001), si lahko na ta način pomagamo določiti obseg kraškega procesa in tako opisati vzorce kroženja podzemne vode. A upoštevati je treba, da je kroženje v karbonatnih masivih pogosto zapleteno in se lahko znajdemo v vmesnih pogojih med različnimi modeli. Vendar je prepoznavanje zgoraj opisanih hidroloških pojavov (prevladujoča izmenjava vode, učinek bata in homogenizacija) lahko pomemben ključ za razumevanje podzemnega kroženja vode in ocenjevanje zakraselosti kraških sistemov, bodisi da so ti že dobro poznani ali pa še neraziskani s strani speleologov.

Slika 4.3 Shema kraškega sistema z dominantnim odtokom (prirejeno po Vigna, 2009).



Slika 4.4 Shema kraškega sistema z medsebojno odvisnimi odtoki (povzeto po Vigna 2009).



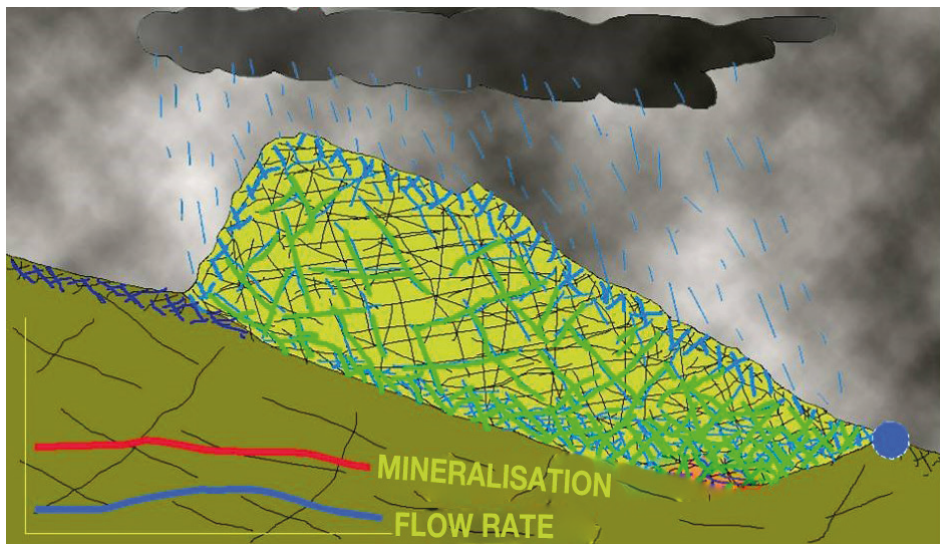
#### 4.2 Vodonosnik matičnega Krasa

Vodonosnik matičnega Krasa se razteza na območju približno 750 km<sup>2</sup> od reke Soče do Jadranskega morja in skoraj do Postojne.

S hidrogeološkega vidika je zanj značilna prisotnost dveh različnih hidrogeoloških enot: **karbonatnih kredno-terciarnih kamnin**, ki so zelo zakrasele in imajo visoko prepustnost zaradi razpokanosti in zakrasevanja, ter **peščenjakov in laporjev eocenskega fliša**, za katere je na splošno značilna nizka prepustnost. Velika razlika v prepustnosti obeh omenjenih enot, skupaj s hidravličnimi

gradienti, ki se oblikujejo na Krasu, imajo pomembno vlogo pri načinu napajanja in odtekanja vode ter njenega pritekanja na površje. Prisotnost peščenjakov in laporjev v severnem in južnem delu antiklinale dejansko predstavlja dve stranski hidrogeološki oviri, ki usmerjata razvoj zakrasevanja in odtekanje podzemne vode. Le tam, kjer je flišna pregrada pod morsko gladino, lahko voda izteka iz vodonosnika in ustvarja izvire. To se dogaja na območju med Nabrežino in Tržičem, kjer je na ducate izvirov s pretokom od nekaj litrov na minuto do več tisoč kubičnih metrov na sekundo.

Slika 4.5 Shema kraškega sistema z disperzijsko cirkulacijo (prirejeno po Vigna 2009).

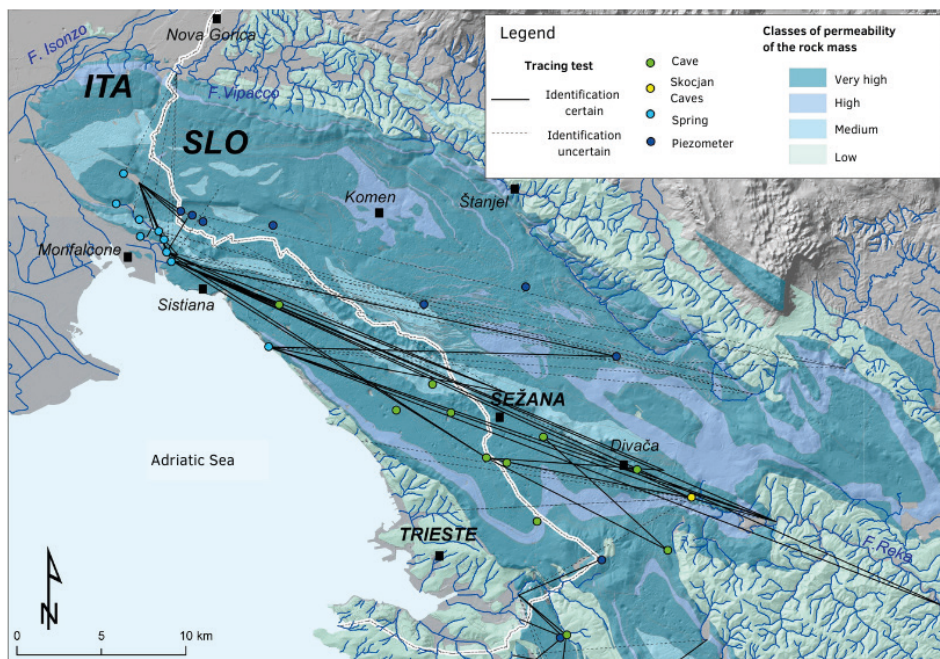


#### 4.2.1 Polnjenje vodonosnika

Vodonosnik se napaja predvsem iz treh različnih virov: učinkovitega pronicanja, vode iz rek Reka in Raša ter preliivanja iz podtalnice reke Soče.

Glede na obseg kraške planote in obilne padavine na tem območju je **učinkovita infiltracija** glavni dejavnik, ki prispeva k polnjenju kraškega vodonosnika. Kras se nahaja na prehodnem območju med sredozemskim in celinskim podnebjem, povprečna količina padavin pa se giblje od približno 1000 mm/leto ob obali do 1800 mm/leto v notranjosti, pri čemer je povprečna stopnja evapotranspiracije od 450 do 750

mm/leto. Zaradi intenzivnega in obsežnega zakrasedanja kamninske mase, redke poraščenosti in precej plitkega sloja prsti, ni površinskega odtočnega omrežja, temveč se deževnica hitro infiltrira in napaja vodonosnik. Civita in sod. (1995) so ocenili, da učinkovita infiltracija prispeva k vodonosniku povprečno 20,6 m<sup>3</sup>/s. Drugi vir polnjenja vodonosnika se nahaja v severozahodnem delu kraške hidrostrukture med naseljema Miren in Zagraj, kjer tečeta **Soča in Vipava** ter njuna podtalnica, v neposrednem stiku z apnenci. Na tem območju je vrsta površinskih in podzemnih požiralnikov, ki omogočajo preliivanje površinske in podzemne vode v



kraški vodonosnik. Vode pronicajo na številnih mestih in tako ustvarjajo zapleteno podzemno mrežo, za katero so značilni številni med seboj povezani kanali. Na poti do izvirov se ti kanali napajajo tudi s padavinsko vodo prek razvejanega sistema votlin in razpok z manjšo hidravlično prevodnostjo, značilno za območje Goriškega krasa. Prispevek soških voda ni stalen skozi vse leto, pač pa je odvisen od hidrogeološkega režima. Ko so na Krasu obilne padavine, se zaradi infiltracije hitro dvigne gladina kraške podtalnice, nastala hidravlična obremenitev pa preprečuje odtekanje voda iz Soče in Vipave v vodonosnik. Včasih se zgodi, da so smeri odtekanja na nekaterih območjih celo obrnjene. Vendar je v obdobjih nizkega vodostaja poglaviti vir napajanja soška podtalnica, katere vpliv je opazen v celotnem sistemu izvirov, od Močil do Timave. V povprečju prispeva Soča in njena podtalnica približno  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  v kraški vodonosnik.

Tretji prispevek k napajanju vodonosnika predstavljata **reki Raša in Reka** (zgornji tok Timave). Obe reki tečeta po površju, dokler je podlaga flišna, ko pa dosežeta apnenice, se vzdolž struge pojavi niz požiralnikov, po katerih voda odteka v globino. Pretok Raše je razmeroma skromen, rečno korito ostaja suho skozi daljša

obdobja, medtem ko je pretok Reke precej večji in v povprečju predstavlja več kot četrtnino vodnega vira, iz katerega se napaja celotni kraški vodonosnik. Prispevek reke Reke (zgornji tok Timave) je ocenjen na  $8,26 \text{ m}^3/\text{s}$  in je izredno spremenljiv, saj je ob nizkih pretokih zelo majhen in skoraj neznamen, ob visokem vodostaju pa zelo močan.

#### 4.2.2 Notranjska Reka-Timava

*Notranjska Reka*, v italijanščini znana pod imenom Zgornja Timava, izvira na pobočjih Dletva na meji med Slovenijo in Hrvaško in odvaja vodo v več kot  $400 \text{ km}^2$  velikem porečju, v katerem v povprečju pade med 2000 in 2600 mm padavin na leto. Reka teče več kot 50 km po flišnih tleh, dokler ne preide na apnenčaste podlage približno 7 km gorvodno od Škocjanskih jam. Na tem odseku reka zaradi aktivnega zakrsevanja izgublja del svojega vodostaja, saj voda pronica v podtalje. Mestoma se odpirajo pravi požiralniki, globoki nekaj metrov, skozi katere ponikne vsa ali del vode. Požiralnike so v preteklosti takoj umetno "zamašili", da ne bi prekinili delovanja mlinov, danes jih naravno zapolni reka sama z naplavinami med vsakokratnimi poplavamami. Požiralniki, tudi če so zapolnjeni, še naprej delujejo in odvajajo rečno vodo v globino. Prav to se dogaja v bližini Gornjih Vrem, kjer se je požiralnik nenadoma odprl leta 1981 in se nekaj tednov pozneje zapolnil z vodo, a še vedno opravlja svojo na-

logo, tako da v sušnih obdobjih še vedno uspe odvesti vso vodo iz Reke, struga reke ostane v spodnjem toku popolnoma suha.

Ko je pretok večji od približno  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , požiralnik Vreme ne zmore zajeti vse rečne vode, zato je pretok neprekinjen vse do požiralnika v Škocjanskih jamah. Notranjska Reka vstopi v Škocjanske jame, ki so skupaj dolge več kot 6 kilometrov, na 317 metrih nadmorske višine, prečka nekaj zelo globokih udornic (Mala dolina je globoka 120 metrov, Velika dolina pa več kot 165 metrov) in se po približno 3,5 kilometrov dolgi soteski, široki od 10 do 60 metrov in visoki več kot 100

metrov, pretaka prek približno 30 slapov/brzic, nato pa ponikne na 212 metrih nadmorske višine v sifon Mrtvega jezera.

Notranjska Reka ima izredno spremenljiv pretok, ki se giblje od več kot  $380 \text{ m}^3/\text{s}$  ob visokem vodostaju do  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  ob nizkem vodostaju. Pretok je lahko tako velik, da včasih končni sifon ne more odvesti vse vode iz reke, zato sta jama in del Velike doline napolnjeni z vodo.

Iz požiralnika Škocjan se odcepijo številni široki kanali dominantnega odvoda, ponekod odprtega tipa, ponekod kot sifoni, spet drugje pa po kanalih pod morsko gladino.



no, ki učinkovito povezujejo jamo z izviri v Brojnici, izvirom Timave in izviri Sardoča. Le pet drugih votlin omogoča neposredno opazovanje zbiralnikov podzemnega vodnega omrežja Reke-Timave: podzemni kompleks *B3G Brezno treh generacij - Kačna jama, Jama 1 v Kanjaducah, Stršinkna dolina-Jama Sesanke Reke, Jama Labdnica in Jerkova jama*.

**Kačna jama** je velikanski podzemni sistem v krednih apnencih približno 1 km zahodno od Divače. Brezno se odpira na 436 metrih nadmorske višine in je dostopno preko brezna, ki je globoko 186 metrov in vodi do razvejanega sistema dveh etaž podzemnih rogov.

*Slika 4.7 Hidrostruktura matični Krasa z glavnimi vodnimi točkami: SKO Škočjanske jame, KAC Kačna jama, KAN Jama 1 v Kanjaducah, SKI jama Claudio Skilan, STR Brezno v Stršinkni dolini - Jama Sežanske Reke, TRE Labdnica - Abisso di Trebiciano, LAJ jama Lazzaro Jerko, GRG Briškova jama - Grotta Gigante, RUP Abisso di Rupingrande, OPI piezometer pri Opčinah, MAS Abisso Massimo, LIN Grotta Lindner, AUR Nabrežinski izviri, TIM Izviri Timave, LIS Izviri Ližerc, SAB Sabeljsko jezero, PET Prelosno jezero in DOB Doberdobsko jezero. Modre puščice označujejo različne vire napajanja vodonosnika, rdeča puščica pa povprečni pretok izvirov (prirejeno po Zini in sod., 2022).*

Zgornja etaža rogov ni hidrogeološko aktivna, je pa tu veliko sigastih tvorb; v tem predelu merijo raziskani rovi skupno približno 1,5 km in se nahajajo na nadmorski višini približno 250 metrov. Spodnji nivo, v katerega vstopamo z zgornjega prek zaporednih brezen in rogov, se razvija subhorizontalno in zajema razvejan sistem rogov, po katerih se v prostem toku pretaka Reka-Timava ob nizkih in srednjih vodostajih do sifona na nadmorski višini 156 metrov. Ob najvišjih vodostajih se gladina vode dvigne za več kot 100 metrov in poplavi tudi zgornji nivo predorov.

Leta 2010 je bilo odkrito *Brezno treh generacij*, ki je povezano z jezerom Phare na jugovzhodnem koncu novih rogov Kačne jame in tako tvori več kot 15 km dolg podzemni sistem. Svoje ime je brezno dobila zaradi tega, ker so bili med odstranjevanjem ovir v votlini odkriti sledovi starih izkopavanja, ki so bila verjetno izvedena konec 19. stoletja.

Pet kilometrov dolvodno od Kačne jame je **Jama 1 v Kanjaducah**. To je 330 metrov globoka jama skupne dolžine 1,5 km. Na dnu, na nadmorski višini približno 20 metrov, je velik epifreatični kanal (dolga 600 metrov, širok 50 metrov in visok 60 metrov), skozi katerega tečejo vode sistema Reka-Timava. Po nadaljnjih 2,6 kilometra pridemo do podzemnega sistema **Jama Sežanske Reke - Brezno v Stršinkni dolini**, na dnu katerega se na približno 15. metrih

nadmorske višine pretakajo vode reke Reke-Timave. V jamo vodita dva ločena vhoda: prvi, *Jama Sežanske Reke*, se odpre na nadmorski višini 354 m in vodi do vhodnega sifona, drugi, *Brezno v Stršinkni dolini* (344 m nadmorske višine), pa vodi do izhodnega sifona. Iz jame se skozi vrsto delno še neznanih sifonov pride do **jame Labadnica** (*Abisso di Trebiciano*). Ta je najbolj znano brezno na Krasu, z zelo pomembno vlogo pri raziskovanju kraške hidrogeologije, saj je že v prejšnjem stoletju postala pomemben podzemni znanstveni laboratorij.

Skupna dolžina jame je več kot 2400 m, globoka je 370 m in sestavljena iz približno dvajsetih brez, globokih od 2 do 50 m, skozi katera je mogoče dostopati do Lindnerjeve dvorane in številnih stranskih rovov. Široka končna dvorana, skozi katero se pretaka rokav Timave, je v večjem delu napolnjena z rečnimi naplavinami in ostanki podorov. Najnovejše jamarsko-potapljaške raziskave so potrdile prisotnost večjih poplavljenih dvoran, ki segajo še nadaljnjih 40 m v globino in so dolge več sto metrov.

Zadnja jama, kjer se pretaka podzemni tok Timave, je **Jerkova jama** (Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko), ki se nahaja v bližini Cola pri Repentabru na nadmorski višini 302 m, 3,5 km od Labadnice v smeri proti severu. Raziskovanje jame, ki se je pričelo leta 1987, je zahtevalo veliko truda in težka

izkopavanja, ki so jih opravili jamarji skupine Commissione Grotte E. Boegan. Izkopna dela so večkrat opustili in z njimi ponovno nadaljevali, dokler se niso leta 1999 zaključila z odkritjem stalnega vodnega toka podzemne Timave. Jama je pretežno navpična in ima številna brezna, ki vodijo do dveh širokih dvoran; na dnu katerih se pretaka eden od podzemnih rokavov Timave na 4. metrih nadmorske višine. Povezava med vsemi temi jamami je bila potrjena z nizom sledilnih raziskav z označevanjem voda, ki so bile izvedene v različnih časovnih obdobjih in z različnimi sledili. V zadnjem času je bil s stalnim spremljanjem kemičnih in fizikalnih parametrov vode podrobneje opredeljen čas in način povezave.

Jerkova jama je zadnja, v kateri je mogoče neposredno opazovati Timavo, od Repentabra dalje pa ni več mogoče zaznati niti "dihalnikov" (glej poglavje 3.2.3). To je verjetno posledica dejstva, da so glavne odvodne poti podzemnega sistema Timave pod sedanjo morsko gladino in so polno zasičene. V času visokega vodostaja in ob povečanem pretoku v požiralnikih pri Škocjanu pa se gladina podzemne vode lahko dvigne za več deset metrov (tudi preko 100 m), zato podzemna voda poplavi končne rove nekaterih najglobljih jam na Krasu (Skilanove jame, Repensko brezno, Veliko brezno, jama Lisičja luknja (Lindnerjeva jama), Dolenjca jama, Drča jama).

#### 4.2.3 Izviri



*Slika 4.8 Reka-Timava na dnu jame Labadnice (foto A. Maizan).*

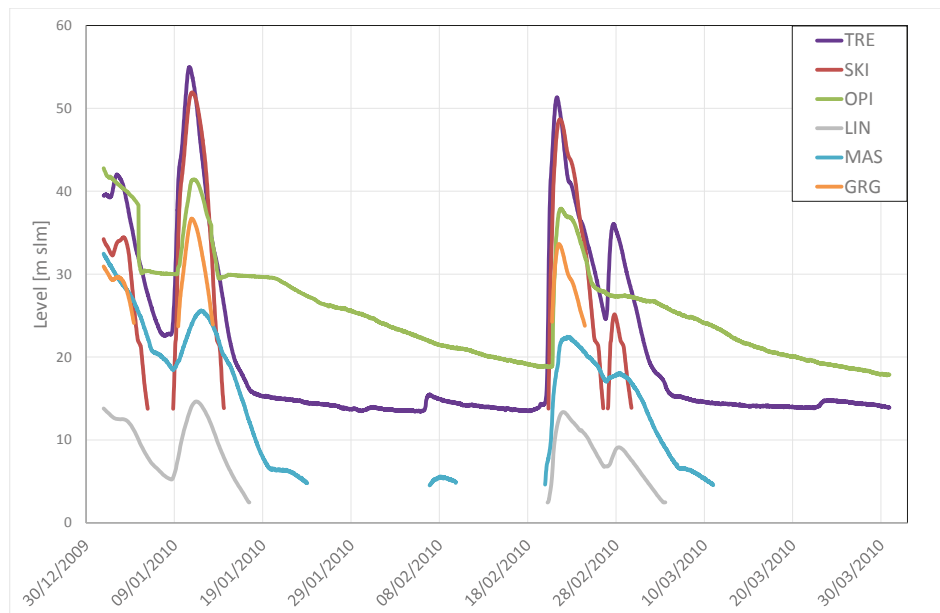
Ob obali od Nabrežine do mesta Tržič, kjer je stik med apnencem in flišem na nizki nadmorski višini in pogosto pod morsko gladino, je mogoče opaziti številne izvire, ki odvajajo vodo iz vodonosnika matičnega Krasa. Na jugovzhodni strani se prvi pas izvirov začne z izviri v Nabrežini. Gre za 9 izvirov, ki se razvijajo na približno 350 m dolgi liniji v bližini stika med apnencem in flišem, ki tukaj sovpada z morsko obalo. Vode se danes zbirajo v umetnem drenažnem jarku, ki je speljan vzporedno z obalo in je od leta 1857 do 1971 služil za oskrbo mesta Trst z vodo.

Ob morju od Nabrežine do Ribiškega naselja je mogoče zaslediti številna iztekanja vode, pogosto pod morsko

gladino, s povprečnim skupnim pretokom, ocenjenim na 0,5 do 1 m<sup>3</sup>/s, ki pa se v odvisnosti od vodostaja zelo spreminja. Glavni izvir se nahaja zahodno od Sesljsanskega zaliva.

Na skrajnem zahodnem območju med Doberdobom in Tržičem je razvejan sistem izvirov, kraških jezer in požiralnikov, ki tvorijo edinstven hidrogeološki sistem in ekosistem. Zaradi teh posebnosti je območje

*Slika 4.9 Nprekinjeno spremljanje nivoja v nekaterih jamah na italijanskem Krasu: TRE Labadnica - Abisso di Trebiciano, SKI jama Claudio Skilan, OPI Piezometer pri Opčinah, GRG Briškova jama - Grotta Gigante, MAS Brezno Massimo in LIN Lisičja luknja - Lindnerjeva jama (prilagojeno po Zini in sod., 2022).*



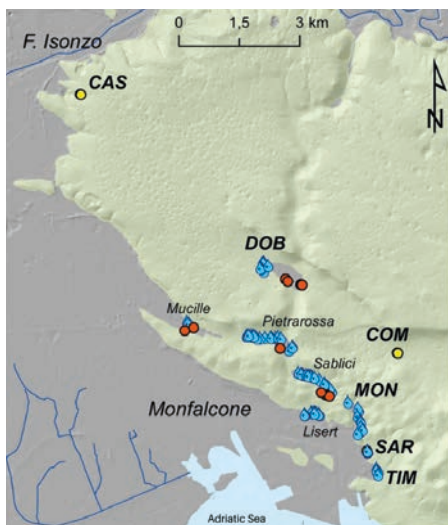
del omrežja Natura 2000 IT3341002 - Kraška območja Julijske krajine in Naravni rezervat Doberdobskega in Prelosnega jezera.

Doberdobsko jezero je najsevernejše v nizu kraških jezer, ki vključuje tudi jezera Močile, Prelosno in Sabeljsko jezero. Dno omenjenih depresij leži na nadmorski višini med 1 in 5 m, zato omogočajo, da se kraška podtalnica tu dvigne na površje. Tako v Doberdobskem jezeru kot v Močilah so stalni izviri in požiralniki, ki uravnavajo vodni režim. V času visokega vodostaja se pretok izvirov hitro poveča in požiralniki ne morejo odvesti vse vode, ki priteče v jezera, zato se gladina v nekaj urah dvigne. V Doberdobskem jezeru je gladina običajno 4,8 m nad morjem, ob visokem vodostaju običajno doseže 8 m nad morjem, ob izjemnih dogodkih pa 11 m. V jezeru Močile je povprečna gladina 4,6 m nad morsk gladino in se ob običajnih visokih vodostajih dvigne do približno 6 m nad morjem, izjemoma pa lahko preseže tudi 8 m nad morsk gladino.

Prelosno in Sabeljsko jezero se napajata prek dveh skupin izvirov s približno petnajstimi oziroma dvajsetimi točkami izvira, katerih pretok se giblje od nekaj litrov na minuto do nekaj deset litrov na sekundo. Na splošno je bil zabeležen povprečni skupni pretok  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hidrogeološko stanje teh jezer je bilo do šestdesetih let 20. stoletja povsem podobno tistemu v Doberdobskem jezeru. Kasneje se je

z vrsto sanacijskih posegov in gradnjo dveh drenažnih kanalov, ki sta presekalata naravni prag med Prelosnim in Sabeljskim jezerom ter med slednjim in kanalom pri Moščenicah, korenito spremenila hidrodinamika tega območja. Posegi so dejansko povzročili spremembo hidrološkega režima na območju, kar je povzročilo splošno znižanje piezometričnega nivoja v jezerih in vplivalo na celotno območje vse do Doberdobskega jezera. Prav Doberdobsko jezero je morda najbolj prizadeto zaradi omenjenih sprememb. Do prve polovice 20. stoletja je bilo Doberdobsko jezero velik del leta poplavljeno, zdaj pa je tudi skozi dolga obdobja prisotno

*Slika 4.10 Izviri in vodne točke na zahodnem delu matičnega Krasa. (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu)*



ten le ozek vodni tok, ki povezuje zahodno območje izvirov z vzhodnimi požiralniki. Zaradi pomanjkanja vode se je povečala prirast rastlinstva in kopičenje biomase, kar počasi vodi v postopno prekrivanje celotnega območja s prstjo in ogroža celoten ekosistem.

Drenažno omrežje območja je vsekakor zapleteno in sestavljeno iz številnih odvodnih poti, po katerih vode iz jezer, in ne samo iz njih, napajajo sistem izvirov, vključno z izviri namakalnih jarkov Tržiča, s povprečnim pretokom  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , izviri Ližerc, ki odvajajo del vode Sabeljskega jezera, s pretokom  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  in izviri pri Moščenicah, 8 izlivnih točk s skupnim povprečnim pretokom  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

V Štivanu naletimo na izvire Timave, ki predstavljajo glavne površinske vodotoke matičnega Krasa. Sestavljajo jih štiri vodne žile, zbrane v treh vejah, ki se izlivajo v en sam kanal, ta pa se po treh kilometrih izliva v morje v Tržiškem zalivu.

V območju izvirov, ki poleg izvirov reke Timave vključuje tudi izvire Sardoč, je bilo izvedeno več posegov za izgradnjo vodnih zajetij za oskrbo mesta Trst z vodo. Izviri Sardoč, znani tudi pod imenom Randač, se nahajajo približno 500 m severno od Timave. Sestavlja jih pet izvirkov na približno 2,2 m nadmorske višine, ki so bili povezani s poplavljenno depresijo, globoko približno 5 metrov. Voda prihaja iz tlačnega voda pod morsko gladino, ki se napaja predvsem z vodo iz soškega sektorja. Delno se napaja z

lokalnimi padavinami in občasno s sistemom Timave ob večjih vodostajih. Povprečni letni pretok, zabeležen med letoma 1975 in 1982, je znašal  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , najmanjši (13. februarja 1989) je bil  $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , največji pa  $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , zabeležen novembra 1979. Leta 1929 so različne izvire zajeli in tako zgradili prvi vodovod, poimenovan po Giovanniju Randacciu, junaku prve svetovne vojne, ki je umrl v bližini izvirov. Kasneje so zaradi povečanega povpraševanja po pitni vodi v vodovod vključili tudi štiri vodne žile Timave in zgradili vrsto premičnih zapornic in jezov, da bi preprečili onesnaženje z morsko vodo in olajšali njeno zajemanje z oblikovanjem posebnih zbiralnikov.

Timava ima izrazito visok pretok z dnevnimi povprečnimi vrednostmi okoli  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , najnižjimi  $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$  in najvišjimi  $158 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Čeprav so bili izviri Timave s količinskega vidika odličen vir, pa kakovost ni bila zadovoljiva. Dejansko so bile vode močno onesnažene z organskimi snovmi, ki so jih industrijski obrati v Ilirski Bistrici odvajali v Notranjsko Reko, poleg tega je bila voda kalna ob vsakem visokem vodostaju in je presegala tudi 200 FTU (Formazin Turbidity Unit). Zato so izviri Timava bili v uporabi le do osemdesetih let 20. stoletja, ko so zaradi onesnaženosti prekinili črpanje in izvire nadomestili z vrsto vrtin v soški nižini v bližini tržaškega letališča. Okoljska ozaveščenost in spremenjena geopolitična situaci-

ja v Sloveniji sta v tem času privedla do vrste posegov za izboljšanje vode Notranjske Reke, ki je danes odlične kakovosti, posledično so takšni tudi izviri Timave, ki so postali strateški vir tržaškega vodovoda za nujne primere.

Timavski izviri predstavljajo osrednje hidrogeološko stičišče celotnega matičnega Krasa in odvajajo večino vode, ki napaja vodonosnik. Dejansko se od treh vej izvirov odcepi zapletena in razvejana mreža širokih vodov, ki segajo do globine -83 m nadmorske višine in imajo skupno dolžino več kot 1 500 metrov ter povezujejo tako vode Notranjske Reke, ki poniknejo v Škocjanskih jamah, vode, ki se z nižine infiltrirajo v Obsoški Kras, kot tudi vode, povezane z učinkovito infiltracijo celotnega Krasa.

### *Hidrodinamika vodonosnika*

Na različnih izvirih in votlinah na Krasu, zlasti na reki Timavi, se je s stalnim nadzorom pretoka vode, temperature in mineralizacije prek parametra električne prevodnosti, ugotovilo kateri vodni viri prispevajo največ v vodonosnik glede na hidrogeološke režime na različnih točkah izvirov.

Med visokim pretokom se namreč na splošno razlikujejo prilivi vode, trendi temperature in električne prevodnosti se razlikujejo ob različnih dogodkih in od točke do točke. To je posledica dopolnjevanja ali nasprotovanja vodnega dotoka, ki prihaja po različnih drenažnih poteh in na

različnih kotah iz porečja Notranjske Reke, iz stranskih izgub Soče in Vipave ter padavin, ki pronicajo na kraški planoti.

Slika 4.11 (a) kaže na tesno povezo-vo med vodami Notranjske Reke in izviri Timave v času visokega preto-ka. V obdobju od sredine februarja 2006 do sredine marca 2006 so si sledile intenzivne padavine, ki so štirikrat povzročile visoke vodostaje Notranjske Reke. Vrhovi visokega vo-dostaja Notranjske Reke, zabeleženi v Škocjanu, so na podoben način opazni tudi v Labadnici pri Trebčah, kjer se gladina običajno dvigne za več kot 30 metrov, in na izvirih Timave. Povečanje hidravlične obremenitve zaradi infiltracije vode iz Notranjske Reke, ki ponikne v Škocjanu, in zara-di padavinam na celotnem kraškem območju, vpliva na celoten vodo-nosnik in povzroča skoraj sinhrono zviševanje ravni na vseh nadzornih točkah. Vendar pa ta dvig ravni ne pomeni dejanskega prihoda nove infiltrirane vode, temveč je povezan s prenosom pritiskov znotraj sistema kraških vodov. Če želimo razumeti način in realno hitrost prenosa nove prenikajoče vode, moramo analizirati spreminjanje električne prevodno-sti. Ob vsakem visokem vodostaju se vrednosti električne prevodnosti v Notranjski Reki nenadoma zmanjšajo s 350-380 uS/cm na 250-260 uS/cm. To obnašanje tako postane pre-poznavni znak voda Notranjske Reke, ki nam omogoča prepoznati vse jame in izvire, ki se napajajo iz teh voda; z izračunom časovnih zamikov med različnimi nadzornimi točkami pa lahko določimo navidezne hitrosti (razmerje med premočrtno razdaljo

med točkami in časom) pretoka vode. Slika 4.11 (b) prikazuje primer opisa-nega dogajanja med Škocjanskimi jamami, Labadnico pri Trebčah in izviri Timave. Med najbolj izrazito vi-sokimi vodostaji lahko hitrost vodne-ga toka na odseku med požiralnikom Škocjan in Labadnico pri Trebčah preseže 800 m/h, na odseku med Trebčami in izviri Timave pa 600 m/h. Vendar pa je dogajanje pri vsa-kem visokem vodostaju drugačno, saj odtok vode v vodonosniku ni po-vezan le s količino padavin, temveč tudi s hidrogeološkimi razmerami pred posameznim dogodkom (ni-zek vodostaj, srednji vodostaj itd.) in porazdelitvijo padavin na območju. Dovod voda Notranjske Reka je čutiti v celotnem vzhodnem sektorju Kra-sa in je jasno viden v vseh izvirih od Nabrežine do Timave ter med najintenzivnejšimi poplavamami tudi v izviru Sardoča, vendar pa ni opazen v zahodnem sektorju Obsoškega Kra-sa, kjer prevladujejo drugi vodni viri.

*Slika 4.11 Hidrogram nivoja (a) in električne prevodnosti (b), zabeležen v SKO Škocjanskih jamah, TRE Labadnici-Abisso di Trebiciano, TIM Izvirih Timave (Diagrami: Luca Zini).*

Fig. 4.11 (a)

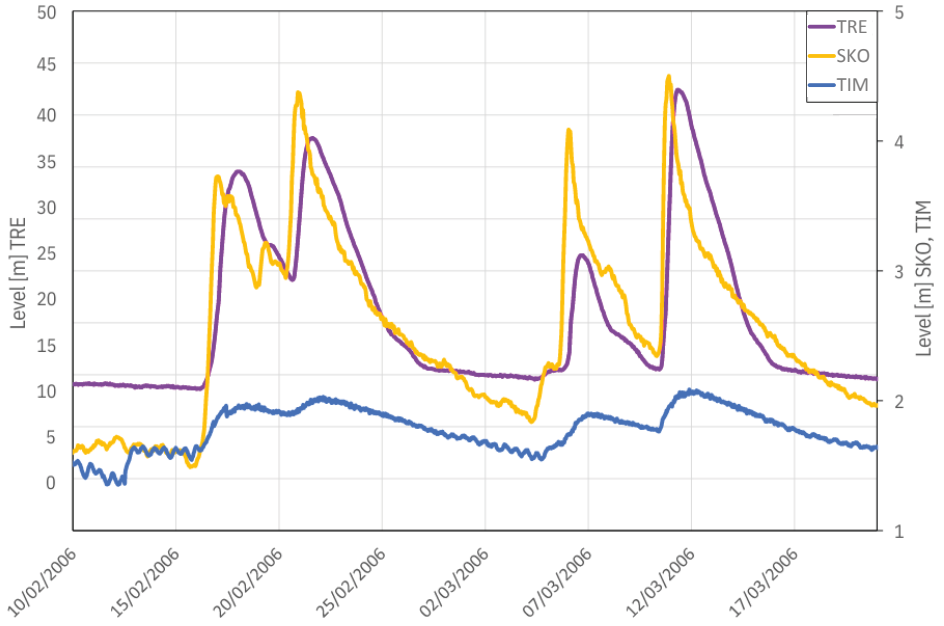
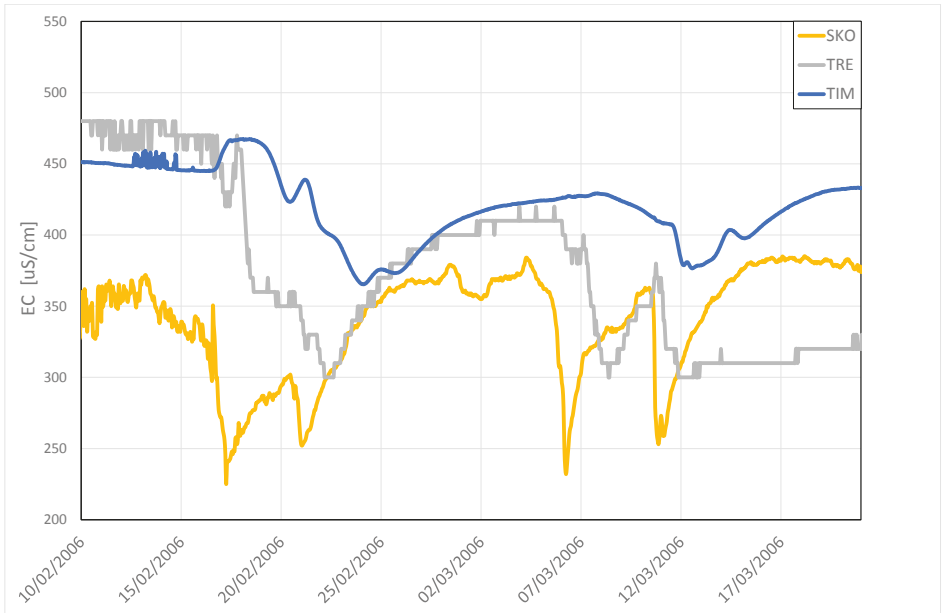


Fig. 4.11 (b)



Vode, ki se pretakajo po Obsoškem Krasu, se v glavnem napajajo iz dveh virov: razpršena voda iz rek Soča in Vipava, ki ima povprečno električno prevodnost (25°C) 270 uS/cm, ter vode, povezane z učinkovito infiltracijo (kraške vode), s povprečno prevodnostjo 530 uS/cm. S spremljanjem električne prevodnosti vode na različnih lokacijah med krajema Zagraj in Štivan je bilo ugotovljeno, kako glede na hidravlični režim določen vodni vir prevladuje nad drugim. V obdobjih nizkega vodostaja je ob premikanju od zahoda proti vzhodu možno zaznati postopno povečevanje električne prevodnosti podzemnih voda, kar potrjuje pomen večje oskrbe vodonosnika iz sistema Soča-Vipava kot pa iz kraških voda. Soške vode dopolnjujejo pretok vseh zahodnih kraških izvirov in tudi izvira Timave, ki ima v sušnih obdobjih še vedno velik pretok (približno 10 m<sup>3</sup>/s), v nasprotju z dovodom iz Notranjske Reke, ki znaša največ 1 m<sup>3</sup>/s. Povezava izvirov Timave s podzemnim soškim omrežjem je bila preverjena tudi z več testi z vbrizgavanjem sledil v požiralnike Doberdobskega jezera. Pri vseh testih je večina sledila priteklu v izvire Timave, v manjših količinah v izvire Sabliči, Moščenice in Sardoč, v Prelosno jezero pa je priteklo le nekaj sledov sledila.

Med visokimi vodostaji pa je opaziti povsem drugačno obnašanje: padavinske vode hitro prodrejo v kraški sistem, kar poveča hidravlični gradient, ki znatno ovira ali omejuje oskrbo iz

systema Soča-Vipava. Na vseh vodnih točkah je opaziti nenadno povečanje vrednosti električne prevodnosti (učinek bata), ki ostane visoka, dokler se nivo vode ne vrne na prejšnje stanje.

V tem smislu predstavlja izvir Sardoč stično točko med zahodnim soškim sistemom in vzhodnim sistemom, povezanim z Notranjsko Reko/Timavo: na tej točki je med najintenzivnejšimi poplavami mogoče opaziti značilen signal Notranjske Reke s padcem električne prevodnosti, v drugih primerih pa značilen batni učinek kraških voda.

*Slika 4.12 Hidrogram vodostaja (a) in električne prevodnosti (b), zabeležen v merilnih točkah: DOB Doberdobsko jezero, COM jama Komarje, CAS vodnjak Castelvechio, MON izvir severne Moščenice, SAR izvir Sardoča in TIM izviri Timave.*

Fig. 4.12 (a)

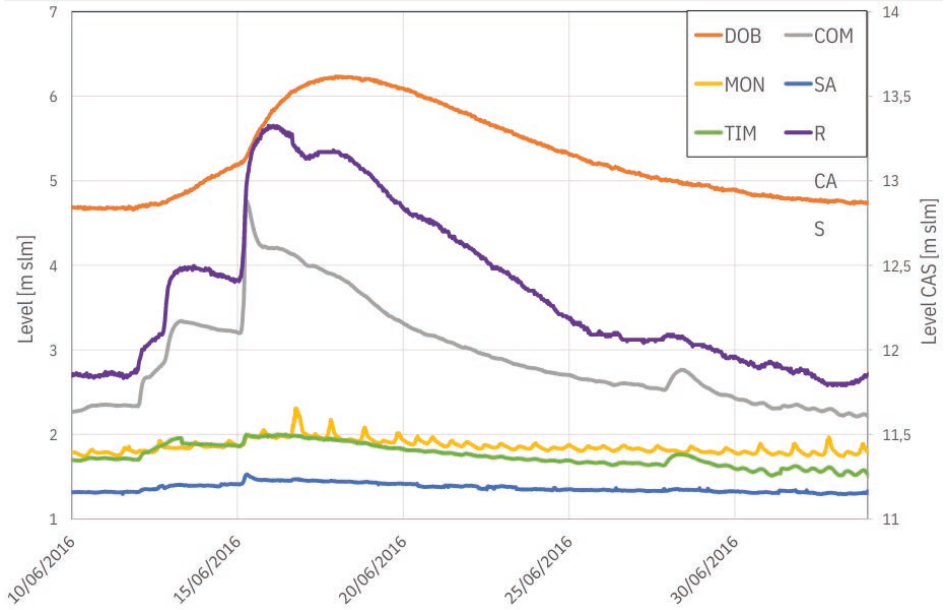
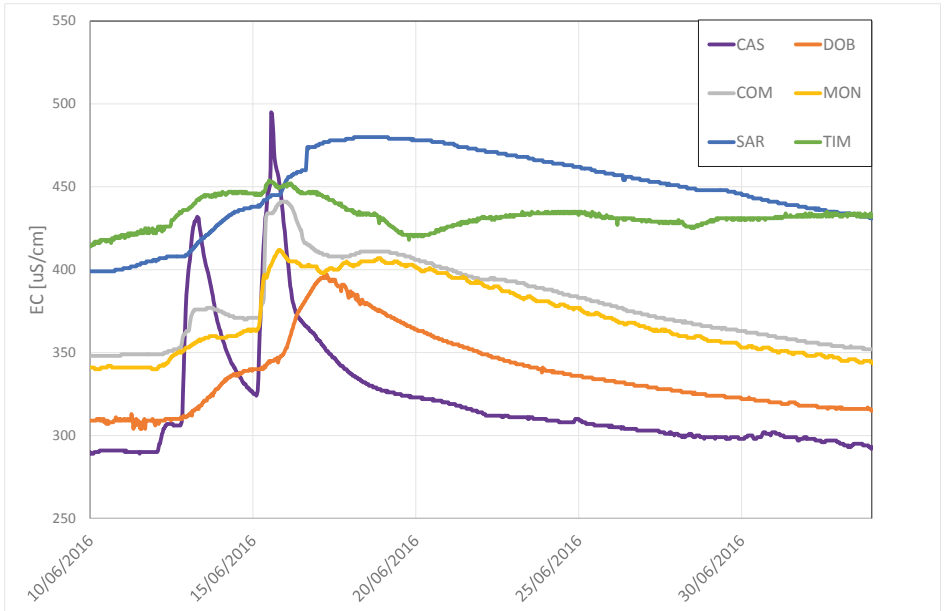


Fig. 4.12 (b)





---

## BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA

CALLIGARIS C., GALLI M., GEMITI F., PISELLI S., TENTOR M., ZINI L., CUCCHI F. (2019) *Electrical Conductivity as a tool to evaluate the various recharges of a Karst aquifer*. Rendiconti Online della Società Geologica Italiana, 47, 13-17. <https://doi.org/10.3301/ROL.2019.03>

CIVITA M. (2005) *Idrologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana Milano, 794pp.

CIVITA M., CUCCHI F., EUSEBIO A., GARAVOGLIA S., MARANZANA F., VIGNA B. (1995) *The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected*. Acta Carsologica, 24, 169-186.

CUCCHI, F. FORTI F. (1981) *La "Cattura" del Timavo superiore a Vreme*. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan, 21: 55-64.

CUCCHI, F., ZINI, L., CALLIGARIS C. (eds), (2015) *Le acque del Carso Classico/Vodonosnik klasičnega Krasa*. Progetto/Projekt HYDROKARST, Edizioni Università di Trieste, 181 pp.

FRANCANI V. (2014) *Idrogeologia ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana Milano, 337 pp.

GABROVŠEK F., PERIC B. (2006) *Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifer: the case of Reka river system, karst plateau, SW Slovenia*. Acta Carsologica, 35(1), 35-45.

GEMITI, F. (1995) *Portata liquida e portata solida del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*. Hydrores. 13, 75-88.

GEMITI, F. (2004) *Le sorgenti Sardos e l'approvvigionamento idrico della Provincia di Trieste*. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan", 39, 67-80.

VIGNA B. (2001) *Gli acquiferi carsici*. Quad. Did. Soc. Speleol. Ital., 12, 48pp.

VIGNA B. (2009) *Gli acquiferi in rocce carbonatiche*. Progetto Powerpoint 2009, Società Speleologica Italiana.

ZINI L., CALLIGARIS C., CUCCHI F. (2017) *Il Lacus Timavi. Idrogeologia. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan", 47, 63-76.*

ZINI, L., CALLIGARIS C., CUCCHI, F. (2022) *Excursion FT2 - Along the hidden Timavo. Geological Field Trips and Maps, in stampa.*



---

## 5. GEOPESTROST

### 5.1 Koncept

Pojma geopestrosti in geovarstva sta bila v geološke znanosti uvedena nekaj let pozneje kot "biotska raznovrstnost". Sharples (1992) je s temi izrazi povzel potrebo po ohranjanju tudi abiotskih vidikov narave, da bi jih ne zanemarili kot "pozabljeno polovico narave". V naslednjih letih je pomen geodiverzitete boljše opredelilo več avtorjev z anglosaškega območja, ki so se ukvarjali z upravljanjem naravnih območij in so geološko raznovrstost pogosto prepletali z drugimi pojmi, kot sta *Geological heritage* in *Geoconservation*, ter jo povezovali z "geotočkami": kraji, kjer je geopestrost nekega območja očitna in značilna.

Avtor najbolj klasične definicije geotočke je Wimbledon (1996): geotočko ali geološko znamenitost lahko opredelimo kot kraj, območje ali ozemlje, kjer je mogoče prepoznati pomemben geološki in/ali geomorfološki interes in ga je zato vredno ohraniti. Ta opredelitev se morda zdi preveč splošna, vendar je treba upoštevati, da je bil glavni cilj Mednarodne zveze za geološke znanosti, da se s projektom "GEOSITES" sestavi prvi kataster geotočk, projekt pa je bil šele v začetni fazi, zato je Wimbledon pripravil namerno široko zastavljeno opredelitev.

V Tasmaniji in Avstraliji se je razvila miselna šola (Kiernan,

Dixon), ki geopestrost ali geološke raznovrstnosti pojmuje kot osnovni element ekosistemov in s tem biotske raznovrstnosti, zato je ta šola razvila celosten in celovit koncept varstva narave, ki jo je treba obravnavati v celoti. Morda ni naključje, da se je takšno dojemanje narave razvilo prav v državah, v katerih je razmeroma malo kulturne in arheološke dediščine, avtohtono prebivalstvo pa je močno simbolno povezano z zemljo. Na takšen pristop so se navezali tudi Barthlott in drugi (1966), ki so uvedli koncept ekodiverzitete ozemlja kot kombinacijo geodiverzitete in biotske raznovrstnosti.

Jasno je, da se merila za ocenjevanje stopnje geopestrosti in stopnje biotske raznovrstnosti območja razlikujejo, prav tako pa se razlikujejo tudi načini ohranjanja območja. Banalen primer: če je obstoj neke živalske vrste na določenem območju ogrožen, je mogoče ponovno naseliti nove osebe z območij, kjer je živalska vrsta bogato zastopana. Druga možnost je vračanje v ujetništvo rojenih osebkov v divjino. Edinstvene geološke znamenitosti pa ni mogoče replicirati, ko se enkrat spremeni, bo ponovna vzpostavitev z običajnimi geološkimi procesi trajala več sto, če ne celo več tisoč let; ko pa je enkrat uničena, ni poti nazaj.

Dejansko se je v Združenem kraljestvu zavedanje o potrebi po

zaščiti abiotskih elementov narave razvilo že v prvih povojnih letih. V predlogih za ustanovitev nacionalnih parkov (Chubb, 1945), se je opozarjalo na ranljivost geotočk na eni strani ter ranljivost rastlinstva in živalstva na drugi.

Upravljanje geotočk je obširno opisano v priročniku, ki ga je izdala organizacija English Nature (Prosser in sod, 2006) in v katerem so povzeta glavna tveganja, ki ogrožajo celovitost geotočk. Poleg razvoja in urbanizacije je pozornost usmerjena tudi na dejavnosti pogozdovanja, na škodljivo floro ter na dejavnosti kamnolomov, paradoksalno pa tudi na njihovo pretirano sanacijo.

Zgornji pregled definicij in konceptov je nujen, če želimo razumeti in sprejeti sedanje definicije, ki se uporabljajo na nacionalni ravni in uvesti takšno opredelitev geotočke, ki bo splošna referenca za vse:

"Geotočka je prostorsko omejena lokacija na zemeljski površini, pod zemljo ali pod vodo, ki jo je možno jasno ločiti od okoliških območij, njene geološke značilnosti pa so znanstveno pomembne in omogočajo razumevanje zgodovine ali geološkega razvoja območja; za takšno lokacijo je mogoče opredeliti geološki varstveni interes."

Pri tem se pojem geološkega interesa nanaša na vse geološke vede in vidike, torej tako geomorfologijo kot

tudi hidrogeologijo, stratigrafijo in tako naprej, brez izjeme (seveda je na zakonodajnem področju zaradi razmejnitve zakonodajnih pristojnosti nujna točna opredelitev), pojmi redek, reprezentativen in vzorčen pa so sestavni del opredelitve, tako kot tudi kriteriji za določitev kategorije geološke znamenitosti.

Večina evropskih držav je v zadnjih letih sprejela usmeritve, ki so jih Wimbledon in drugi avtorji ponudili v projektu Global Geosites Project (1995 in 1999) glede delitve geotočk na tiste, ki so mednarodnega, nacionalnega, regionalnega in lokalnega pomena. Delitev izhaja iz znanstvenih meril, geotočke so nato opredeljene še glede na prevladujočo geološko značilnost, torej so lahko geomorfološko, paleontološko itd. pomembne.

Geotočke so kraji, ki so zaradi skupka svojih geoloških posebnosti prepoznani kot geološka dediščina (ProGEO, 2011, prevod Geremia F. in Bentivenga M., 2013).

Kot je bilo pojasnjeno v uvodu, je geopestrost veliko širši pojem. Na evropski ravni sprejeta definicija jo opisuje kot: "naravno raznolikost kamnin, mineralov, fosilov, geoloških, geomorfoloških in pedoloških procesov, tj. vseh tistih abiotskih procesov, ki ustvarjajo potrebne pogoje za razvoj življenja na Zemlji" (ProGEO, 2011, prevod Geremia F. in Bentivenga M., 2013).

Vendar pa se pojem geopestrosti ne sme omejiti na opredelitev raznolikosti podnebnih, geomorfoloških in geoloških razmer, ki pogojujejo rastlinske združbe in trofične verige določenega habitata: v geologiji je treba vedno upoštevati tudi časovni dejavnik.

Pri opisovanju geodiverzitete ozemlja je treba analizirati njegov razvoj skozi geološko obdobje, tj. pozornost je treba nameniti temu, kako je iz kamnin, reliefnih in geomorfoloških značilnosti mogoče razbrati, katera okolja in procesi so se menjavali skozi geološko zgodovino.

## **5.2 Geopestrost italijanskega matičnega Krasa**

Če želimo opisati geodiverzitetu italijanskega matičnega Krasa, moramo določiti vse tiste lokacije, ki najbolj ponazarjajo vse prostorske in časovne dimenzije raznih kraških procesov.

Na italijanskem matičnem Krasu nam kamnine pripovedujejo geološko zgodbo, ki je trajala približno 80 milijonov let: kredni apnenci pričajo o tropskem morju pred milijoni let, poznejši vzpostavitvi slanega vodnega okolja, postopnem potapljanju platforme in prihodu terigenih sedimentov z nastajajočih gorskih verig (podrobnejšo obravnavo ponuja 2. poglavje).

S hidrogeološkega vidika lahko kraški sistem razdelimo na tri območja. Prvo je območje alogenega napajanja, v

katerem vodni tokovi po pretakanju na površini izginejo znotraj kraškega masiva skozi votline, ki delujejo kot požiralniki.

Drugo območje je kraško območje v ožjem pomenu besede, običajno brez omrežja površinskih voda, po katerem deževnica pronica skozi površje in napaja podzemni vodni obtok. Tretje je območje izvirov, kjer podzemna voda pride na površje.

Kar zadeva območje matičnega Krasa, se eno območje napajanja nahaja na slovenskem ozemlju, na območju Škocjanskih jam, ki so že uvrščene na Unescov seznam, drugo pa v Italiji, na levem bregu reke Soče, ki na severu meji na planoto. Za območje izvirov so značilna jezera, vodne žile, podmorski izviri in vrelci, simbolna geotočka pa so izviri Timave, ki so med najpomembnejšimi kraškimi izviri v Sredozemlju, in so pomembni ne le z znanstvenega vidika, pač pa tudi arheološkega in zgodovinskega.

Raznolikost kraške pokrajine na planoti je tesno povezana z geologijo, tj. z različnimi petrografskimi značilnostmi izdanjajočih litostratigrafskih enot, heteropijami v njih, plastovitostjo in tektoniko. To so na kratko dejavniki, ki vplivajo na obseg površinskih sprememb, stopnjo zakrasevanja in stopnjo erodibilnosti. Kraško planoto lahko torej razdelimo na več območij z različnimi "naravnimi pokrajinami".

Od zahoda proti vzhodu lahko prepoznamo "tržiško-goriški Kras", "li-

nijo reliefov vzdolž mejne črte", "linijo Kraškega roba in visoke obale", "osrednji predel", "dolino Glinščice".

Glavna značilnost tržiško-goriškega Krasa je prisotnost velikega števila majhnih in srednje velikih dolin, nastalih z raztapljanjem. Skoraj štirideset kvadratnih kilometrov veliko "območje dolin" je na jugovzhodu prekinjeno s tako imenovanim "Dolom" (Solco del Vallone) in hribom Grmada. Na območju so številni vhodi v jame, ki pa so skoraj vse skromnih dimenzij. Zgovoren je podatek, da je v goriškem delu le 7 od skupno od 20 votlin z globino ali dolžino več kot 100 m na območju geoparka. Prevladujoča morfologija je pokriti kras, zelo redka so škrapljišča.

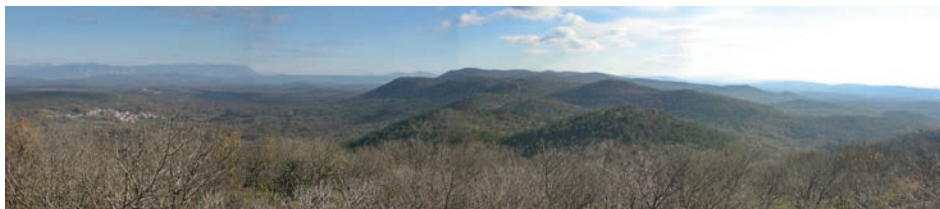
Te geomorfološke značilnosti so verjetno povezane tudi z dejstvom, da na tržiško-goriškem Krasu sicer izdanjajo iste litostratigrafske enote kot na tržaškem Krasu, vendar obstajajo med njimi petrografske razlike, ki opozarjajo na rahle razlike paleookolja obsežne Kraške platforme v kredi. Drugačna je tudi strukturna organizacija, ki spominja na blago

antiklinalo, skoraj "antiklinorij" z osjo zahod-vzhod. Upoštevati je treba tudi različne hidrogeološke razmere na območju (poglavje 4.2).

Za relief ob mejni črti v Italiji je značilen nekaj kilometrov širok pas, vzdolž katerega izdanjajo apnenci, dolomitni apnenci, dolomiti ter nivoji dolomitnih in apnenčevih breč, ki spadajo v formacijo kostenskih apnencev. Občasno so prisotni paleokraški žepi.

Na tem območju je usmerjenost enote subhorizontalna do plitvo nagnjena, razčlenjenost ni intenzivna. Primernost enote za zakrasevanje je srednje-nizka, ali celo nizka, nasprotno pa je srednje erodibilna. V tem pasu so zato prepoznavne številne razvodne linije, sledovi ponikalnic in kratke dolinice, ki se končujejo v požiralnikih in tvorijo majhne "slepe doline". Tipična morfologija je pokriti kras, izdanki so redki, pogosto je prisotna prava prst: pogosta so gozdna in obdelovalna zemljišča, med katerimi prevladujejo vinogradi.

*Slika 5.1 Mejni relief od vrha Sv. Lenarta proti JZ.*



Visoka obala in Kraški rob sta značilna za južni del planote, vzdolž obale od Devina do tržaškega pristanišča. Nadmorska višina se giblje od manj kot 100 m v Devinu do 300 m in več za mestom Trst. Gre za ozek pas, ki ga tvorijo Devinski klif, Sesljanski zaliv in Nabrežinski obronki, vzdolž katerega se kredni apnenci spuščajo v morje.

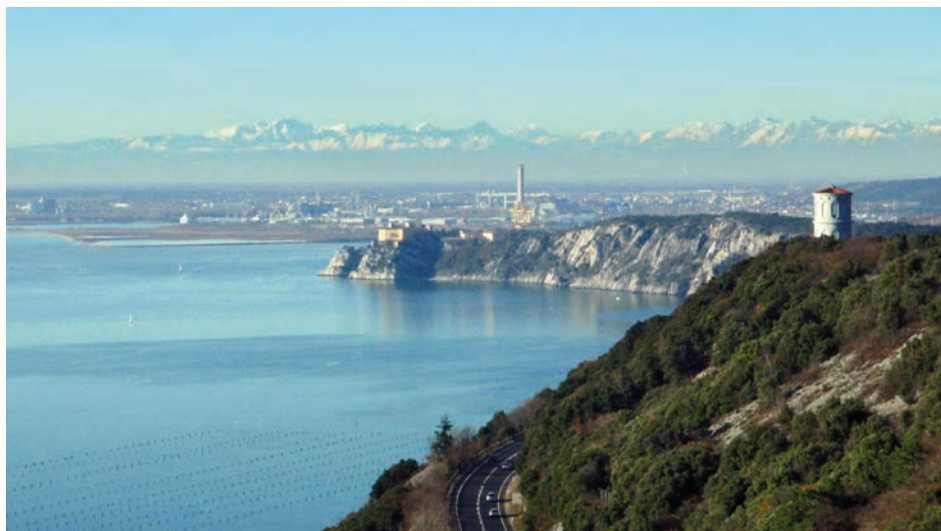
Visoki obali sledi Kraški rob z vrhovi kot so Babica (Babiza), Sveti Primož (San Primo), Pavlji vrh (S. Paolo), Griža (Grisa) in Gurka (Curca) vse do doline Glinščice. V tem predelu so alveolinsko-numulitni apnenci ob vznožju

*Slika 5.2 Visoka obala med Devinom in Nabrežino (foto F. Finocchiaro).*

prekriti s flišnimi turbiditi. Strukturna razporeditev je značilna za zunanjo stran asimetrične antiklinalne s subvertikalnimi, če ne obrnjenimi, do zelo strmo nagnjenimi plastmi; skladno pobočje je bolj strmo od lege skladov, na njem so številni omejeni subvertikalni prelomi pravokotno na plastovitost s šibkim medploščnim zmikom ter ne vedno očitnimi medplastnimi in klinastimi prelomi.

Posledica tega je morfologija z značilnimi visokimi brežinami, strmimi pobočji, grižami in gruščem v smeri proti morju, proti notranjosti planote pa razgibana pobočja in pokriti kras s posameznimi golimi kraškimi oblikami (carso a denti) in sloji kamnitih izdankov (carso a testate di strato).

Osrednji predel planote je dva do



štiri kilometre širok pas, ki se v smeri severozahod-jugovzhod razteza v dolžini več kot 25 km in v katerem se pojavljajo Nabrežinski apnenci, najbolj primerna formacija za zakrasevanje na območju Geoparka.

Lega apnenčastih plasti je subhorizontalna do rahlo nagnjena proti morju, debelina plasti na splošno sega od decimetra do metra, razčlenjenost ni izrazita. Gostota dolin in votlin na enoto površine, razsežnost in raznolikost škrapljišč in griž so v tej formaciji občutno večje kot v drugih krednoterciarnih litostratigrafskih enotah. V tem širokem pasu, ki se rahlo spušča proti zahodu in dosega nadmorske višine od 380 m v pri Bazovici do 110 m v Vižovljah, se torej odpirajo najširše in najgloblje doline, pojavljajo se najobsežnejša škrapljišča ter vhodi v najgloblje in najobsežnejše jame. To je najbolj tipičen Kras z neprekinjenimi izdanki, prepreden z dolinami najrazličnejših velikosti, zato se v tem delu Krasa nahajajo glavne

geotočke. Več o tem so pisali Cucchi in drugi avtorji (2009), zanimiva je tudi spletna stran Avtonomne dežele Furlanije-Julijske krajine o *geodiverziteti in katastru geotočk*.

Dolina Glinščice leži v jugovzhodnem predelu, ozemlje Geoparka tu meji na Slovenijo in se po svojih značilnostih razlikuje od preostalega območja, praktično je primer zase.

"Valle" (oziroma "dolina" v italijanščini), kot ji pravijo Tržačani, je pravzaprav poseben in slikovit primer rečne kraške doline, njena morfologija je rezultat zakrasevanja, pogojena pa je tudi z geološko zgradbo, tektoniko in različnimi vrstami kamnin (za podrobnosti glejte opise poti v poglavju 6.1).

### 5.3 Geološka dediščina italijanskega Krasa

Matični Kras je splošno sprejet kot vzorčna pokrajina kraških pojavov, tu najdemo vse vrste površinskih in podzemnih kraških oblik. Po go-

*Slika 5.3 Osrednji predel v Nabrežini. V ozadju Devin in Tržiški zaliv.*



stoti in razsežnostih teh pojavov je edinstven, prav tako izjemno je tudi kraško podzemno omrežje, njegova geološka dediščina je zanimiva tudi z vidika kraške geomorfologije in hidrologije, z geološkega vidika so zanimivi olistoliti iz Miramara, paleontološko je zanimivo najdišče ostankov dinozavrov v Ribiškem naselju, zanimivosti je še veliko več.

Edinstvene točke, tj. geotočke, so katalogizirane in strokovno opisane v

katastru geotočk Furlanije-Julijske krajine (seznam s kratkim opisom je priložen). Razvrščene so v kompleksne geotočke, ki zajemajo več različnih geotočk (npr. Devinski klif), v multiple geotočke, ki predstavljajo isti pojav na različnih območjih (npr. izviri v morju), in v posamezne geotočke. V nadaljevanju so opisane nekatere od teh geotočk, ki so morda najbolj znane in predstavljajo bisere kraškega ozemlja.

### **Doberdobsko jezero**

Na zgradbo južnega dela soškega Krasa so vplivale številne tektonske strukture, ki potekajo v smeri ZSZ-

*Slika 5.4 Dolina Glinščice: slap, cerkev svete Marije Vnebovzete na Pečah (Santa Maria in Siaris) in greben.*



VJV in vplivajo na zgradbo podolgovatih depresij, se pravi kraških polj, s štirimi jezeri, ki se neposredno napajajo z vodami Kraškega vodonosnika. Najsevernejše in največje polje je Doberdobsko (Doberdò) jezero, ki ga na jugu od Prelosnega (Pietrarossa) jezera in naprej Močil (Mucille) ter Sabeljskega (Sablici) jezera ločujeta dva nizka hriba. Podlago polj gradijo nekoliko proti JV nagnjene plasti apnencev, dolomitov in breč kredne starosti, ki jih ponekod sekajo zmični prelomi. Polje Doberdobskega jezera omejujeta Jameljski prelom (Colle Nero) in manjši prelom, povezan z Brestoviškim prelomom. Ostala tri jezera so vezana na manjše prelome in enega od prelomov, ki je povezan s Palmanovskim prelomom, tektonsko linijo regionalnega značaja, vzdolž katere je Kraška karbonatna platforma narinjena nad fliš.

Jezera so kompleksen sistem izvirov in požiralnikov, ki opredeljujejo hidrogeološki izvirski sistem, značilen za severozahodni del Krasa. Vode, ki tečejo v soškem Krasu, se napajajo iz Soče in Vipave ter avtogene padavinske vode, ki se infiltrira v vodonosnik neposredno s kraškega površja. Vode rek delujejo kot glavno napajanje v tem sektorju območja, saj vzdržujejo pretok vseh izvirov od Močil (Mucille) do kanala Moščenicice (Moschenizza). Ob nizkih vodah, ko so pretoki Reke v Sloveniji zelo nizki (nekaj sto litrov na sekundo), se s tem virom v veliki meri napajajo tudi izviri Timave. Za razliko

od tega je ob poplavah opazen večji vpliv voda s površja Krasa. Ta vpliv je posledica dviga gladine podzemne vode v vodonosniku Krasa, kar zavira napajanje iz Soče.

Doberdobsko (Doberdò) jezero, katerega dno leži med štirimi in petimi metri nadmorske višine, napajajo kraške podzemne vode, običajno na 4,8 m nadmorske višine. Nivo vode uravnava nekaj izvirov in več požiralnikov. Ob visokih vodostajih se pretok izvirov hitro poveča in požiralniki ne morejo odvesti vseh voda, kar povzroči dvig gladine. Ob izjemnih poplavah lahko ta v nekaj urah doseže približno šest metrov. Kraška depresija oziroma dno jezera je pogosto brez vode, tako da lahko Doberdobsko (Doberdò) jezero prištevamo med presihajoča jezera (*slika 5.5*).

Stalni izviri in požiralniki, ki uravnava vodni režim, so prisotni tudi na Močilah (Mucille). Njihova povprečna gladina je na nadmorski višini 4,60 metra, vendar se lahko ob izjemno visokih vodostajih dvigne za približno 3,5 metra. Prelosno (Pietrarossa) in Sabeljsko (Sablici) jezero napajata dve območji izvirov s približno petnajstimi do dvajsetimi izviri, katerih pretoki so od nekaj litrov na minuto do več deset litrov na sekundo. Do šestdesetih let 20. stoletja je bil hidrogeološki režim teh jezer povsem podoben režimu Doberdobskega (Doberdò) jezera, vendar se je po vrsti osuševalnih del in izgradnji dveh odvodnih kanalov, ki sta presekala naravne pragove med

Prelosnim (Pietrarossa) in Sabeljskim (Sablici) jezerom ter med slednjim in Moščeniskim (Moschenizza) kanalom, hidrodinamika tega območja korenito spremenila. Tu je drenažna mreža zapletena in členjena s številnimi podzemnimi kanali, ki odvajajo podtalnico k izvirskemu sistemu, danes zabrisanim z mestnim tkivom Tržiča (Monfalcone).

Da bi bolje razumeli izvor in tok podtalnice, so raziskovalci skozi leta uporabljali različne pristope. Uporabili so tudi metodo monitoringa vode z vrednotenjem električne prevodnosti kot naravnega sledila. Poleg tako pridobljenih podatkov, od leta 2018 izvajajo sledilne poskuse z umetnimi barvili, ki so jih izvedli v nekaterih požiralnikih Doberdobskega (Doberdò) jezera. Rezultati so nepričakovano

pokazali, da večina podzemnih voda odteče k izvirov Timave. Po drugi strani pa na izvire Prelosnega (Pietrarossa) jezera, čeprav so geografsko najbližji, le v manjši meri vplivajo vode Doberdobskega (Doberdò) jezera.

### **Geotočka Ribiško naselje (Villaggio del Pescatore)**

Ribiško naselje (Villaggio del Pescatore), ki se nahaja v občini Devin - Nabrežina (Trst), je še posebej pomembno, saj so tam od poznih devetdesetih let izkopali dva popolna in izjemno dobro ohranjena fosila novega rodu in vrste dinosavrov, imenovane *Tethyshadros insularis*. Dve okostji, ki imata še vedno skoraj vse kosti anatomsko povezane, sta dobili vzdevka Antonio in Bruno in sta razstavljeni v Naravoslovnem muzeju v

*Slika 5.5 - Februar 2017: panoramski pogled na Doberdobsko (Doberdò) presihajoče jezero v sušnem obdobju. V ozadju na desni je hrib Črna griža s strmim pobočjem, nastalim vzdolž Jameljskega (Colle Nero) prelomal (foto: C. Calligaris).*



Trstu.

Na tem najdišču so našli še več fosilov, ki pripadajo istemu rodu dinosavrov, pa tudi živali, kot so krokodili, ribe kostnice in nevretenčarji, vključno z deseteronožnimi raki. Geotočka se nahaja v starem kamnolomu apnenca, katerega plasti so skoraj navpične in zato odkrite v naravnem prerezu. Stratigrafski odnosi med kamninami na geotočki so zapleteni, vendar je mogoče prepoznati dve glavni vrsti kamnin. Ena je sivi apnenec, ki ga lahko imenujemo tipični zgornjekredni rudistni apnenec in vsebuje fosilne fragmente rudistnih školjk (školjk, ki so izumrle ob koncu pozne krede, tako kot dinosavri). Druga vrsta kamnine je tanko laminirani apnenec. Tanke lamine so lahko temne ali sivkasto bele in so pogosto zvite v zapletene gube, ki pričajo o deformacijah, do katerih je prišlo, ko je bil sediment sveže odložen in še ne popolnoma litificiran (spremenjen v kamnino). Fosile dinosavrov so našli v teh tanko laminiranih apnencih. Tudi Brunovo okostje je bilo podvrženo gubanju, kot je mogoče spektakularno videti na razstavi v muzeju (*slika 5.6*).

Bruno je edini dinosaver na svetu, ki leži na gubi v apnenčasti plasti, kar je ukrivilo njegovo okostje za 180 stopinj. Paleontološke raziskave so omogočile določitev starosti teh kamnin v pozno kredo (santonij - kampanij). Sedimentološki in geokemični podatki kažejo, da je

laminirani apnenec odložen v zaprtem morskem okolju, blizu kopnega in pod vplivom sladke vode, pogojev, ki so podobni modrim luknjam "blue hole" (z vodo napolnjenim kotanjam v bližini morja, ki so videti kot modre luknje), ki jih najdemo na današnjih tropskih karbonatnih platformah (Arbulla, 2017; Dalla Vecchia, 2020).

### **Olistoliti Miramarskega gradu**

Miramarski grad leži na rtu, ki se razteza proti jugozahodu v Tržaški zaliv. V parku, ki obdaja grad, in tudi ob obali, lahko obiskovalec jasno vidi raztresene velike bloke belkaste ga apnenca. Skupno je bilo odkritih približno sto apnenčastih blokov s prostornino od približno 500.000 m<sup>3</sup> do 1.300.000 m<sup>3</sup>. Bloki so iz foraminifernih apnencev. Posebej opazna sta dva bloka. Eden se nahaja v bližini majhnega pristanišča Grljan (Grignano). Tam se jasno vidi, da je apnenčasti blok na svoji severovzhodni strani v stiku z dobro plastnatim flišnim peščenjakom. Plasti peščenjaka ob bloku so videti deformirane v zapletene gube, kot da bi apnenčasti blok pritisnil nanje. Zgodovinske fotografije najdišča, posnete pred gradnjo kamnitega zidu, ki je danes pod apnenčastim blokom, pričajo, da se fliš nahaja tudi pod njim in ob njegovem jugozahodnem boku (*slika 5.7*).

Drugi velik in opazen apnenčasti blok se nahaja med konjušnicami in samim Gradom, ob cesti, ki vodi



*Slika 5.6 - Bruno, razstavljen v Naravoslovnem muzeju v Trstu (foto: Marino Lerman, Comune di Trieste, fototeka muzeja Museo di Storia ed Arte, Museo Civico di Storia Naturale di Trieste). Slike dinosavrov se uporabljajo s soglasjem Zavoda za varstvo kulturne dediščine Furlanije-Juljske krajine – Ministrstva za kulturo Italijanske republike in vsakršno razmnoževanje v pridobitne namene je prepovedano.*

*Slika 5.7 - Olistolit iz pristanišča Grljan v bližini Miramarskega gradu (zgodovinska fotografija zbirke Tomè, konec 19. in začetek 20. stoletja).*

do jugovzhodnih vrat. V bližini vho-  
da v predor, ki meji na blok, je gli-  
neno laporasta breča s kosi apnenca  
in vsebuje redke numulitide. Tudi ta  
kamnina, popolnoma drugačna od  
apnenca, kaže močno deformacijo  
okrog bloka. Tako v pristanišču Grljan  
kot v bližini grajskih konjušnic so v  
kamninah, ki obdajajo bloke, vidne  
deformacije. Zadnji pomemben do-  
kaz o izvoru apnenčastega bloka Mi-  
ramar je ta, da je kartiranje razkrilo,  
da so flišne plasti tudi na blokih. To  
pomeni, da se nahajajo *znotraj* flišnih  
kamnin.

Jasni dokazi o deformacijah ob blo-  
kih so omogočili, da jih interpretira-

mo kot olistolite. Olistolit je izraz, ki ga  
geologi uporabljajo za označevanje  
velikih kamnitih blokov, ki so del ze-  
meljskega plazju. Drsenje blokov  
znotraj še nepopolno sprijetih sedi-  
mentov pojasnjuje, zakaj so slednji  
kompleksno deformirani. Celoten  
Miramarski rt je verjetno zgrajen iz  
usedlin velikega podmorskega pla-  
zju, ki je zdrsnil v morski bazen med  
odlaganjem flišnega peščenjaka  
pred 40 do 48 milijoni let. Dejstvo, da  
so miramarski olistoliti iz apnenca, ki  
pripada foraminifernim apnencem,  
dokazuje, da so bili v dogodek vplete-  
ni tudi sedimenti karbonatne platfor-  
me, čeprav so mehanizmi razširitve



in izvora starodavnega podmorskega plazu še vedno nejasni in trenutno v fazi preiskave.

### **Škrapljišča v Briščikih (Borgo Grotta Gigante)**

Zahodno od Briščikov (Borgo Grotta Gigante), onkraj železniške proge, med postajo na severu in športnim centrom Prosek (Prosecco) na jugu, se nahaja značilna pokrajina Krasa s subhorizontalnimi ali blago nagnjenimi različno debelimi plastmi čistih apnencev (Slika 4.2.4). V izdankih rudistnih apnencev najdemo tako številne cele lupine fosilnih rudistnih školjk kot tudi njihove fragmente.

Na slabem kvadratnem kilometru veliki površini so tri velike in okoli dvajset manjših vrtač ter najširši in najpopolnejša škrapljišča tržaškega Krasa. Tu najdemo tudi lep primer brezstropne jame ter nekaj deset jamskih vhodov; tudi v jamo, v kateri so našli na stotine prazgodovinskih artefaktov. Blizu je tudi Briškovska jama (Grotta Gigante), (slika 5.9), turistična jama z največjio dvorano na svetu (<https://www.grottagigante.it/>).

Dve od treh velikih vrtač, Koprivnik in Školudnjek, sta tipično uleknjene, skoraj krožne oblike, z zelo strmimi pobočji in ravnim dnom, premera okoli 250 metrov in globine 40 metrov.

Tretja, najsevernejša, imenovana Murnjak, ima eliptičen obod in je dolga 450 m po svoji najdaljši osi v smeri sever severovzhod – jug jugozahod,

široka približno 250 metrov in globoka 30 metrov. Vhodno pobočje je precej strmejše od zahodnega. Vzdušno jugozahodnega in severovzhodnega obrobja Školudnjeka je deževnica izoblikovala številne značilne in raznolike drobne površinske skalne kraške oblike, vključno z žlebiči, ravnimi in vijugastimi žlebovi, globokimi škrapljami, ki jih prečijo majhni skalni mostovi, ravnimi razširjenimi razpokami, ponekod pa so značilne subkutane kraške oblike. Glavna značilnost teh škrapljišč so velike škavnice (Slika 4.2.6). Skupno jih je na območju med obema omenjenima vrtačama skoraj 200, od tega približno trideset z daljšo osjo večjo od enega metra in površino večjo od enega kvadratnega metra. Ker so tako velike, so mnoge prilagodili za napajanje živine.

Izmenjavanje sedimentnih zaporedij debelo plastovitih in tanko plastovitih apnencev se odraža v izmenjevanju več deset metrskih pasov pokritega krasa z redkimi izdanki kamnitih zob in pasov z močno zakraselimi apnenci, travniki, grižami in škrapljišč, ki jih prekinjajo velike in majhne vrtače, kar ustvarja edinstveno pokrajino.

Na jugovzhodnem robu Koprivnika je nekaj metrov globok, približno deset metrov širok in okoli sedemdeset

*Slika 5.9 - Panoramski pogled na veliko dvorano Briškovske jame (Grotta Gigante) in stalagmit Ruggero (foto arhiv Briškovske jame (Grotta Gigante)).*

Slika 5.8 - Škrapljišča pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante) (foto: C. Calligaris).



metrov dolg, naravni jarek, ostanek podzemne kraške jame, ki ji je denudacija (zniževanje površja zaradi površinske korozije) odstranila strop (brezstropa jama; angl. *roofless cave* ali *unroofed cave*). (Slika 5.11).

V bližini železniške proge, blizu roba majhne vrtače, je majhna jama Grotta della Tartaruga (I688/4530VG), ki je bila "odkrita" šele leta 1962, saj je bila do stropa zasuta s podornimi skalami in ilovico. Kopanje prehoda je privedlo do odkritja manjših dvoran s stalaktiti, debelimi stebri in ponvico s premerom približno 20 centimetrov, ki zbira preniklo vodo. Arheološka izkopavanja so razkrila več obdobij poselitve od mezolitika do bronaste

dobe. Posebej pomemben je nivo D z ostanki iz mlajše kamene dobe, kot so ostanki keramičnih posod in kremenastih artefaktov, dve rezili sekire in dve sekiri iz brušenega kamna.

### Dolina Glinščice

Na južnih mejah italijanskega matičnega Krasa je edini primer doline s površinskim vodotokom na območju Trsta: dolina Glinščice (slika 5.12).

Dolina je globoko zarezana v kenozojske apnenice, laporovce in peščenjake, njena morfologija in hidrografija sta v veliki meri odvisni od tektonike in litologije, tj. od gub, prelomov in različnih kamnin, na katerih



*Slika 5.11 - Vhod v brezstropno jamo pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante)  
(foto: C. Calligaris).*



sta erozija in kraška korozija ustvarili posebno hidrostrukturo.

Je ena redkih rečnih kraških dolin v Italiji in je kompleksna geotočka mednarodnega pomena. Gre za območje s številnimi geološkimi posebnostmi, kot so apnenčasti izdanki, še posebej bogati z alveolinami in numuliti, intraformacijskimi laporovci in glinavci, aluvialni in detritični nanosi, ki so ponekod cementirani, gube majhnega polmera v flišu, impozantne prelomne ploskve (prelom Kraškega roba) slap in soteska z drasljami in meandri, paleoplaz ter

ostanki plaza z velikimi balvani, kilometer dolg podzemni jamski sistem na desnem pobočju in jama z bogatimi prazgodovinskimi živalskimi ostanki na levem pobočju, izvir Bukovec in kraški izvir pri Jami.

Prav izjemen pogled se na dolino odpira z razgledišča pri Zabrežcu (Vedetta di Moccò) in razgledišča pri Jezeru (Vedetta di San Lorenzo). Z obeh je mogoče videti pobočja, ki se strmo dvigajo nad potokom Glinščica, prepredena s skalnatimi klifi in pečinami, previsi, stebriči, vesinami s sloji drobirja in velikimi kamnitimi osamelci,

*Slika 5.10 - Ena od lepo oblikovanih škavnic na območju Briščikov (Borgo Grotta Gigante) (foto: F. Finocchiaro).*

ki so izraz raznolike litologije, kompleksne tektonike in izjemne geodinamike.

Z razgledišča pri Jezeru na levi strani doline opazimo starodavno vijugasto Solno pot in cerkvico svete Marije Vnebovzete na Pečah (*Santa Maria in Siaris*), ki stoji na vrhu območja starodavnega plazu, sproženega zaradi ravninskega drsenja plasti po severnem pobočju Malega Krasa. Ta je, mimogrede, z morfološkega vidika stranica antiklinale, ki se proti ravnini razvije v kolenčasto gubo, narinjeno na turbidite tržaškega fliša.

Dolino je značilno oblikoval huddournik Glinščica, ki teče po lapornati podlagi in se v sugestivnem slapu spusti 30 metrov v globino, kjer je tudi opazen prehod iz fliša v apnenec pod njim. (Slika 5.13).

*Slika 5.12 - Dolina Glinščice z vrha gore Stena. V ozadju Tržaški zaliv (foto: F. Finocchiaro).*

Po slapu potok v skalo vrezuje globoko sotesko, polno brzic, draselj, slapičev, potopljenih meandrov in tolmunov. Struga reke nenehno spreminja smer in sledi glavnim sistemom razpok v kamnini vse do vasi Boljunec. Na poti skozi sotesko, navzdol po dolini, se vodotok napaja iz številnih manjših kraških izvirov.

V dolini so tudi podzemni kraški pojavi: Stena je zelo poseben primer z več kot sto raziskanimi jamami. Jama Fessura del vento (930/4139VG) je najgloblja s 143 m višinske razlike. Jama Gualtiero Savi (5080/5730VG) je s svojimi 4180 m najbolj dolga jama. Obe jami, skupaj z jamo Pečina pod Steno (Grotta delle Gallerie - 290/420VG) in jamo Martina Cucchi (Grotta Martina Cucchi - 4910/5640VG), je treba obravnavati kot del obsežnega in razčlenjenega sistema, dolgega več kot 7 km, rezultat starodavnega razvoja krasa.



V dolini se nahajajo tudi posebni kvartarni nanosi: nasproti kočice CAI se desno od hudournika dviga subvertikalna stena, sestavljena iz bolj ali manj zacementiranih aluvialnih in pobočnih nanosov, ki predstavljajo edini izdanek starih aluvialnih nanosov v kraškem okolju v tržaški pokrajini.

Menjavanje sedimentov različnega nastanka in granulometrije ter kasnejše delovanje hudournika pričajo o zapletenem geološkem razvoju območja zaradi tektonike in pliokvartarnih podnebnih sprememb.

Nekaj sto metrov od izhoda iz doline, ob vznožju Malega Krasa, se odpira poševna razpoka, iz katere nenehno priteka voda: to je izvir pri Jami, ki odvaja kraške vode z Malega Krasa in Socerbske planote.

### **Jama Pečina pod kalom**

Jama Pečina pod kalom (Caverna Pocala) (CSR173/91VG), dolga dobrih sto metrov in široka od dvajset do štirideset metrov, predstavlja eno najzanimivejših zaščiteneh paleontoloških najdišč v Furlaniji - Julijski krajini. V njej so našli številne ostanke pleistocenskih živali, predvsem kosti jamskega medveda (*Ursus spelaeus*). Vhod v jamo se nahaja v podolgovati vrtači, ki je preoblikovana brezstropa jama, kar dokazuje siga na njenih stenah. Jama je enotna poševna galerija z neravnim dnom, pokritim s podornimi skalami, ki jih ponekod prerašča siga. Prva



*Slika 5.13 - Slap ob nizkem vodostaju  
(foto: F. Cucchi).*

sta jo leta 1893 raziskala Ludwig Karl Moser in Ivan Andrej Perko. Med nadaljnjimi raziskavami je postala znana po izjemno velikem številu najdb jamskega medveda. Med letoma 1903 in 1929 so v jami izkopavali tedanji pomembni arheologi, kot so L. K. Moser, Carlo Marchesetti, Eugenio Neumann in Raffaello Battaglia. Leta 1998 je Naravoslovni Muzej v Trstu ponovno začel izkopavanje do tedaj neizkopanih jamskih sedimentov, pod vodstvom Ruggera Calligarisa, takratnega kustosa muzeja, in Gerno-

ta Rabederja z Univerze na Dunaju. Kar 97,5% izkopanih živalskih ostankov pripada jamskemu medvedu, zato jamo Pečina pod kalom lahko opredelimo kot 'medvedjo jamo'.

Po zastopanosti ostankov sledijo jamski lev (*Panthera leo spelaea*) (0,75%), koze in ovce (*Capra hircus* in *Ovis aries*), govedo (*Bos taurus*), volk (*Canis lupus*) ter jelen (*Cervus elaphus*). Našli so tudi številne mousterienske kremenove artefakte, torej ostanke, ki spadajo v neandertalsko kulturo.

Na podlagi študij zob jamskega medveda so bili ostanki kosti v jami datirani v zgornji pleistocen (približno 60.000 let pred sedanostjo).

V zadnjem času so nekaj najdb datirali z radiokarbonsko metodo in ugotovili, da so štiri starejše od 45.000 let (ker je to meja datacijske metode, se ve le, da so starejše od 45.000 let), en vzorec pa je star med 36.500 in 34.500 let.

Najdbe iz jame Pečina pod kalom so na ogled v Naravoslovnem Muzeju v Trstu. (<http://www.museostoriantu-raletrieste.it/>).

*Slika 5.14 - Pečina in sedimenti v Pečini pod kalom (Pocala) (foto: Naravoslovni muzej v Trstu, Luciano Gaudenzio in Sandro Sedran)*



---

## BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA

ARBULLA D. (2017) – *Ritrovamenti paleontologici. Il sito del Villaggio del Pescatore*. Atti Mem. Comm. Grotte “E. Boegan”, 47, 87-107.

BATTAGLIA R. (1930) - *Notizie sulla stratigrafia del deposito quaternario della caverna Pocala di Aurisina (campagne di scavo negli anni 1926 e 1929)*. Istituto italiano di speleologia, gennaio-marzo, Le Grotte d'Italia, 4 (1), A. VIII, str. 17-44.

BARTHLOTT W., LAUER W., PLACKE A. (1996) - *Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity*. Erdkunde, 50 (4), str. 317-327.

CHIARENZA A.A., FABBRI M., CONSORTI L., MUSCIONI M., EVANS D.C., CANTALAPIEDRA J.L., FANTI F. (2021) – *An Italian dinosaur Lagerstätte reveals the tempo and mode of hadrosauriform body size evolution*. Scientific Reports, 11, 23295.

CHUBB, L. (1945). *National Geological Reserves in England and Wales*. Conference on Nature Preservation in Post-War Reconstruction. Natural History Survey of Great Britain, str. 1-45. Londra: The Society for the Protection of Nature Reserves.

CONSORTI L., ARBULLA D., BONINI L., FABBI S., FANTI F., FRANCESCHI M., FRIJIA G., PINI G.A. (2021) – *The Mesozoic paleoenvironmental richness of the Trieste Karst*. Geological Field Trips & Maps, 13, 2.2.

CUCCHI F., FINOCCHIARO F., MUSCIO G. (a cura di), (2009) *Geositi del Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (ed.), Tipografia Arti Grafiche Friulane/Imoco spa, Udine; 383 str.

CUCCHI F., ZINI L., CALLIGARIS C. (2015) - *Le acque del Carso Classico*, Progetto HYDROKARST. EUT, ISBN 978-88- 8303-621-7.

DALLA VECCHIA F.M. (2009) - *Tethyshadros insularis, a new Hadrosauroid dinosaur (Ornithischia) from the Upper Cretaceous of Italy*. J. Vertebrat. Paleontol., 29, 1100-1116.

DALLA VECCHIA F.M. (2020) - *The Unusual Tail of Tethyshadros Insularis (Dinosauria, Hadrosauroidea) from the Adriatic Island of the European Archipelago*. Riv. Ital. Paleontol. S., 126, 583-628.

---

GEREMIA F. & BENTIVENGA M. (2013) - Geoconservazione: principi di base e rilevanza sociale *Geologia dell'Ambiente*, N. 3/2013, str. 27-32.

LAZZARO G. (2003) - *La popolazione di Ursus spelaeus della Grotta Pocala*. Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste, n. 49 (suppl.), str. 59-78

MARCHESETTI C. (1907) - *Relazione sugli scavi paleontologici eseguiti nel 1904 dal dr. Carlo Marchesetti*. Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali in Trieste, 23, str. 233-235.

MARCHESETTI C. (1908) - *Relazione sugli scavi preistorici eseguiti nel 1905*. Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali in Trieste, 24, str. 185-187.

PARONUZZI P., ARBULLA D. (2019) - *Guerra tra archeologi. Le ricerche di L.K. Moser nelle grotte del Carso*. Comune di Trieste, str. 174

ProGEO (2011) - *Conserving our shared geoheritage: a protocol on geoconservation principles, sustainable site use, management, fieldwork, fossil and mineral collecting*. [www].10 str,

PROSSER C., MURPHY M., LARWOOD J. (2006) *Geological conservation A guide to good practice*. English Nature, 70 str.

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (2021) - *Geodiversità e catasto dei geositi*; <https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA06/>

ROSSI M., SANTI G. (2015) - *Observation on the Ursus gr. spelaeus remains from the Pocala cave (Trieste, Friuli Venezia Giulia, N. Italy)*. Revue de Paléobiologie, Genève, n. 34, str. 77-84.

SHARPLES, C., 1992: *Geology; Geomorphology*; In: Harries, D.N. (ed.), *Forgotten Wilderness: North West Tasmania; A Report to the Australian Heritage Commission by the Tasmanian Conservation Trust Inc.*, Hobart, str. 95-125 in 127 - 163

TESTA A., ROMANDINI M., ARBULLA D., BENAZZI S. (2022) - *Analisi tafonomica preliminare di un campione di resti di orsi delle caverne della Caverna Pocala (Duino-Aurisina, TS) nel Carso triestino*. Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste, n. 63, in stampa.

---

WIMBLEDON W.A.P., BENTON M.J., BENVIS R.E., BLACK G.P., BRIDGLAND D.R., CLEAL C.J., COOPER R.G. & MAY V.J. (1995) - The development of a British methodology for selection of geological sites for conservation: Part 1. *Modern Geology*, 20, str. 159-210.

WIMBLEDON W.A.P. (1996) *Geosites – a new conservation initiative*. *Episodes*, 19,3, pp. 87-88.

WIMBLEDON W.A.P., ANDERSENS., CLEAN C.J., COWIE J.W., ERIKSTEAD L., GEONGRIJP G.P., JOHANSON C.E., KARIS L.O. & SUOMMEN V. (1999) - Geosites. A global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. In: *Second Int. Symp.on the conservation of our Geological Heritage/world heritage: Geotope conservation world-wide, European and Italian experiences*. *Mem. Descr. Cart. Geol. It., Serv. Geol. It.*, str. 45-60.

ZINI L., CALLIGARIS C., CUCCHI F. (2022) - *Along the hidden Timavo*. *Geol. F. Trips Maps*, 14 (1.3), 69 str., (<https://doi.org/10.3301/GFT.2022.03>), ISSN: 2038-4947.

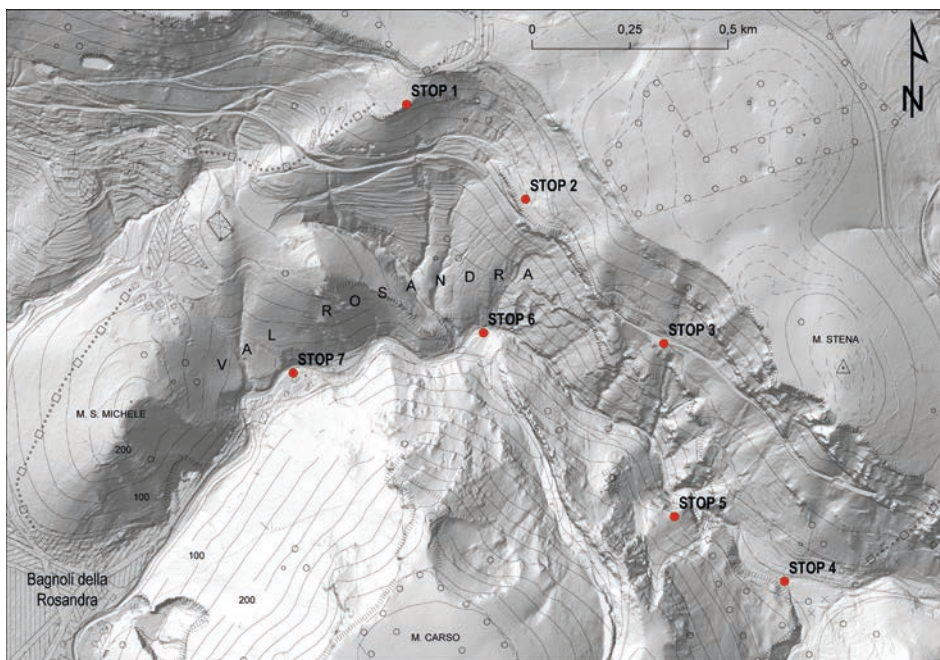
## 6. GEOLOŠKE UČNE POTI V GEOPARKU

### 6.1 Učna pot 1: Dolina Glinščice

Dolina Glinščice, ki leži na južni meji italijanskega matičnega Krasa, je edini primer kraške rečne doline s površinskim vodotokom na tržaškem območju. Je ena redkih takšnih dolin v Italiji in obenem bogata geo-točka mednarodnega pomena, tj. območje, kjer se nahajajo številne posebnosti (slap in soteska, paleo plaz, jamski sistem hriba Stena, laporovci in glinenci, izviri pri Jami, izvir Bukovec, prelom grebena Počivence, aluvialni in detritni nanosi, Medvedja jama). Dolina se globoko zarezuje v terciarne ap-

nence, njeno morfologijo pogojujeta litološka sestava in tektonski elementi s prelomi in različnimi kamninami, kjer je s selektivno erozijo nastala edinstvena hidrostruktura.

Izlet vključuje začetni postanek na razgledišču pri Jezeru (Vedeta di San Lorenzo), od koder se nam odpre čudovit razgled na celotno dolino. Med spustom proti Botaču si lahko ogledamo laporovce in glinence ter uživamo v pogledu na velik zemeljski plaz, na katerem stoji cerkva svete Marije Vnebozete na Pečah (*Santa Maria in Siaris*). V bližini 4. postan-



ka se sprehodimo po tržaškem flišu, nato pa se zadnji del poti po dolini nadaljuje proti izviru Zvirk in kvartarnimi sedimenti nasproti kočje Premuda, ki je zadnja točka učne poti.

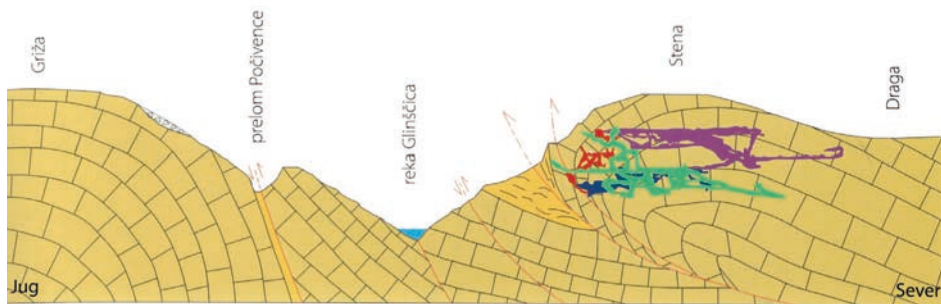
*Slika 6.1 Zemljevid predlaganega izleta in posameznih postankov (v rdeči barvi). (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu; lidar iz kataloga IRDAT – RAFVG).*

### Postanek 1 – Razgledišče pri Jezeru (La Vedetta di San Lorenzo)

Prav izjemen pogled se na dolino odpira z razgledišča pri Zabrežcu (Vedetta di Moccò) in razgledišča pri Jezeru (Vedetta di San Lorenzo). Z obeh je mogoče videti pobočja, ki se strmo dvigajo nad potokom Glinščica, prepredena s skalnatimi klifi in pečinami, previsi, stebriči, vesinami s sloji drobirja in velikimi kamnitimi osamelci, ki so izraz raznolike litologije, kompleksne tektonike in izjemne geodinamike. Zaradi številnih prelomov v pobočjih se s selektivno erozijo in zakrasevanjem vse oblike še dodatno stopnjujejo.

V bližini razgledišča pri Jezeru izdanjajo alveolinski in numulitni apnenci iz spodnjega eocena, v katerih so s prostim očesom vidni številni fosili morskih organizmov. Med njimi so velike alveoline, bentoške foraminifere, značilne za kenozojske karbonatne platforme po vsem svetu. Apnenci z alveolami in numuliti pričajo o razvojni fazi paleogeografije kraškega območja, v kateri je prišlo do sedimentacije karbonatov v plitvih vodah, medtem ko se je naprej proti severovzhodu že dvigalo Dinarsko gorovje.





Slika 6.3 Geološki prerez doline.

V notranjosti Stene so izrisani številni jamski sistemi. V temno oranžni barvi so označeni laporovci in glinenci, v svetlo oranžni apnenci, v rdeči tektonski elementi. Z vijolično je označena jama Savi, z rdečo jama Pečina pod Steno, z modro jama Martina Cucchi in z zeleno jama Fessura del Vento. (Prirejeno po: Cucchi in sod., 2012)

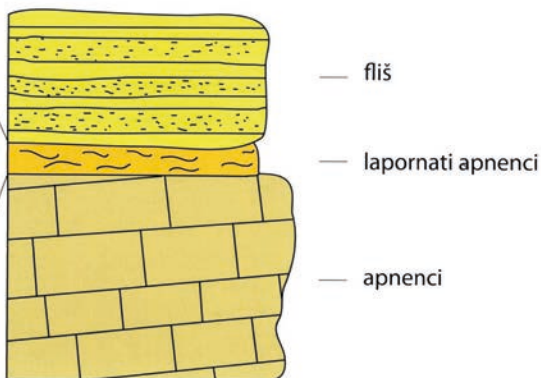
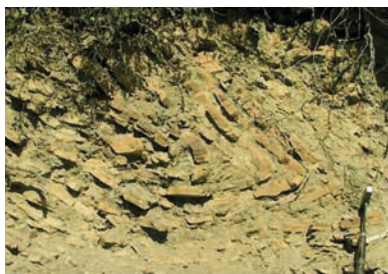
Slika 6.2 Panoramski pogled na Dolino Glinščice z razgledišča pri Jezeru. Na desni strani slike je vrh Mali Kras z dolinsko brazdo, v kateri izdanja tržaški fliš, eden od indikatorjev "preloma Počivence (faglia del Crinale)"; na levi strani je vrh Stene in karbonatne stopničaste terase (rumena linija). (Foto: Franco Cucchi)

### Postanek 2 - Laporovci in glinenci

Z razgledišč pri Jezeru v bližini gostilne Trattoria Al Pozzo se spustite po poti v Botač in po desetih minutah hoje pridete do drugega postanka.

Že kmalu na začetku poti se pojavijo laporovci in glinenci pretežno sive ali rjavkaste barve. Te kamnine so seveda bolj občutljive na erozijo kot numulitni in alveolinski apnenci in

so sestavljene iz tankih plasti. Videz plastovitosti in močne razčlenjenosti je posledica tako prvotnega razslojevanja kot tudi klivaže, tj. razkola med dvigovanjem gorske verige. Deformacije so še posebej intenzivne pri lapornatih in glinastih kamninah, ki so manj kompaktne kot apnenci in bolj gosto razslojene. Laporovci in glinenci pričajo o znatnem povečanju globine morja in o koncu karbonatne sedimentacije plitvega morja na območju v času lutecija (eocen). Stratigrafi ta pojav imenujejo potopitev platforme.



Slika 6.4 Stratigrafski stolpec.  
(Cucchi in sod., 2012)

Laporovci in glinenci na kraškem območju ne izdajajo neprekinjeno, njihova debelina pa je zelo različna. S paleontološkega vidika vsebujejo planktonske foraminifere (Globigerine), ki pričajo o povečanju globine sedimentnega okolja. Poleg tega je prisoten precejšen delež terigenega materiala, ki pričča o aktivnem dvigovanju verige in najavlja prihod turbidita tržaškega fliša. S stratigrafskega vidika se torej laporovci in glinenci nahajajo med alveolinskimi in numulitnimi apnenci ter bolj tipičnimi

turbiditnimi plastmi tržaškega fliša, zaradi česar jih imenujemo tudi prehodne plasti. Ko se pot ponovno združi s cesto proti Botaču, le-ta poteka po naravni brežini, kjer je še posebej vidna potopitev kenozojske podlage. Laporovci in glinenci se z očitno ostrim stikom opirajo na alveolinske numulitne apnence. Pobočje iz bolj recesivnih laporovcev ima razmeroma blag naklon, medtem ko so apnenčaste stene navpične.



*Slika 6.5 Eden od izdankov laporovcev in glinencev, ki so vidni na poti.  
(Foto: Franco Cucchi)*

### Postanek 3 - Postaja Modugno

Ko nadaljujemo po asfaltni cesti v smeri Botača, pridemo do postaje Modugno, nekdanje železniške postaje na progi Trst - Hrpelje - Ljubljana. Od tu je mogoče občudovati pobočje levo dolvodno od potoka Glinščica. Skoraj nasproti postaje je videti cerkvico svete Marije Vnebovzete na Pečah (*Santa Maria in Siaris*), ki stoji na vrhu območja starodavnega plazu, sproženega zaradi ravninskega drsenja plasti po severnem pobočju Malega Krasa. Ta je, mimogrede, z morfološkega vidika stranica antiklinale, ki se proti ravnini razvije v kolenčasto gubo, prekrito s turbiditi tržaškega fliša.

Tudi v bližini postaje Modugno, v smeri proti Trstu, je mogoče opazovati prehod med alveolinskimi in numulitnimi apnenci ter laporovci in glinenci, ki tvorijo tržaški fliš.

### Postanek 4 - Most čez Glinščico

Cesta nato vodi do vasi Botač, blizu meje s Slovenijo pa prečkamo reko Glinščico; v širšem pogledu je tok reke določen s sinklinalo, v jedru ka-

*Slika 6.6 Pogled s postaje Modugno na paleoplaz. Na vrhu je cerkvica svete Marije Vnebovzete na Pečah (Santa Maria in Siaris). (Foto: Franco Cucchi)*



Slika 6.7 Vertikalne plasti fliša v strugi potoka Glinščica. (Foto: Chiara Calligaris)



tere so laporovci in peščenjaki. Reka se oblikuje iz sotočja dveh vodotokov, ki izvirata v Sloveniji: potočka Grižnika in potoka Glinščica.

Tu je na površju mogoče opazovati peščenjake, muljevce in glinence tržaškega fliša. Gre za najbolj značilen facies te litostratigrafske enote, ki je v veliki meri značilna za območje, na katerem leži mesto Trst.

Fliš sestavljajo turbiditi, tj. kamnine, ki so nastale zaradi kopičenja podmorskih plazov, ki so zdrsnili v korito predgorskega bazena. Podmorski zemeljski plaz povzroči kopičenje sedimentov, iz katerih lahko nastane tipična "Boumova sekvenca", kar zelo

poenostavljeno pomeni, da se najbolj groba frakcija pojavi pri dnu, nanjo se postopno odlagajo vse finejši sedimenti.

Z litološkega vidika je tržaški fliš sestavljen iz peščenjakov, muljevcev in glinencev v različnih razmerjih. Paleontološka vsebina, ki ni posebej bogata, je sestavljena predvsem iz planktonskih foraminifer in nanoplanktona. Pogosto so prisotne akumulacije ogljikovih frustul, kar priča o prisotnosti kontinentalnega okolja na robu bazena, v katerem so se odlagali turbiditi. Opazne so tudi bioturbacije in druge fosilne sledi, imenovane "casts", kar v angleščini

pomeni "odlitki". Le-te so posledica erozijskega učinka podvodnega plazu na spodaj ležeče sedimente. Nastale vdolbine so se pozneje kot kalupi zapolnile s sedimentom, ki ga je prenesla motna voda. Zato so različni "odlitki", kot so *flute casts* in *groove casts*, negativ reliefa in kažejo obratno zaporedje, tj. kateri je spodnji del plasti peščenjaka. Odlitki kažejo tudi smeri pretoka motnih tokov. Na podlagi paleontološke vsebine je bil tržaški fliš datiran v Lutecij (eocen).

### **Postanek 5 - Slap in jamski sistemi**

Pot nadaljujemo po dolini navzdol, mimo impozantnega nanosa grušča v nestabilnem geostatičnem ravnovesju, in se ob poti ustavimo, da bi občudovali potok Glinščico. Voda teče po lapornati podlagi in se v suggestivnem slapu spusti 30 metrov v globino, opazen je prehod iz fliša v apnenec pod njim.

Po slapu potok v skalo vrezuje globoko sotesko, polno brzic, draselj, slapičev, meandrov in tolmunov. Struga reke nenehno spreminja smer in sledi glavnim sistemom razpok v kamnini vse do vasi Boljunec. Na poti skozi sotesko, navzdol po dolini, se vodotok napaja iz številnih manjših kraških izvirov.

S tega položaja se odpira privilegiran pogled na Steno, hrib v katerem so, se zaradi posebnih geoloških in geomorfoloških značilnosti ter geološke zgodovine razvili impresivni podzemni kraški pojavi. Podrobneje je bilo raziskanih več kot sto jam v

skupni dolžini skoraj 20 kilometrov. Jama Fessura del vento je s svojimi 143 m najgloblja. Jama Gualtiero Savi, dolga 4180 m, je najdaljša jama. Obe jami, skupaj z jamo Pečina pod Steno in jamo Martina Cucchi, je treba obravnavati kot del obsežnega in razčlenjenega kompleksa, dolgega več kot 7 km, rezultat starodavnega razvoja krasa, ki so ga usmerjale pretekle geološke in okoljske razmere. Večina odsekov jam je nastala iz starodavnih kraških rovov, ki so odvajali vodo in jo usmerjali proti severu in severovzhodu znotraj masiva. Težko je določiti velikost in obliko območja, ki je bilo nekoč prispevno zaledje teh voda, vendar so v masivu prepoznane najmanj štiri stopnje zakrasevanja, pri čemer so se votline razvile na postopno padajočih višinah in se nahajajo na nadmorskih višinah od približno 400 m do približno 220 m. V jami Savi, Fessura del vento in Pečini pod Steno se pojavljajo neposredne morfologije, kot so *fasete* in popolnoma napolnjeni freatični kanali, ki kažejo na popolno zapolnitev prostorov z vodo, na stenah in tudi na stropu so bolj ali manj zacementirani naplavinski nanosi, tudi večjih dimezij, ki kažejo na izmenične faze polnjenja in praznjenja predorov. Velikost prostorov, v katerih se nahajajo *fasete*, kaže na skupne pretoke nad 10 m<sup>3</sup>/s; sedimenti, ki jih sestavljajo peski in prodniki z območij, kjer je izdanjal fliš, kažejo na znatne, burne vodne tokove z nenehno spreminjajočimi se zunanji razmerami. Hitro in znat-

no znižanje talnega nivoja je nato sprožilo pomembno podzemno erozijsko fazo, ki je ustvarila meandre in soteske v spodnjih nivojih jame Savi ter vrsto poglobitev v jami Fessura del vento in Pečini pod Steno.

Jame pa niso samo na gori Stena, ampak tudi na Malem Krasu. Med njimi sta Grotta degli Orsi (Medvedja jama) in Antro di Bagnoli (Jama v Boljuncu). V prvi od teh jam, ki zaradi zaščite ni dostopna, so med konkrekcijami kostni ostanki prazgodovinske favne iz würmske pleistocenske dobe z jamskimi medvedi in njihovim plenom, s sledovi levov, leopardov in neandertalskih lovcev.

Antro di Bagnoli (Jama) (76/105VG) je zanimiv kraški izvir, ki priteka iz ene same subvertikalne razpoke, do katere je mogoče zlahka priti z majhne ceste, ki s trga v središču mesta vodi do pobočij Malega Krasa. Izvir je povezan s kolenčasto tektonsko gubo, ki je alveolinsko-numulitne apnenice premaknila v vertikalni položaj; ti pospešujejo prednostno drenažo, medtem ko laporovci prehodne cone in fliš delujejo kot neprepustna plast. Jama se zajeda v vzpetino približno deset metrov globoko in se konča s sifonom, ki ga obiskujejo jamski potapljači. Voda, ki jo z zgornje planote odvajata požiralnika Beka in Ocizla v Sloveniji, prihaja na dan v tem izviru.

### **Postanek 6 - Izvir Zvirk**

Ko nadaljujemo pot, prečkamo nedavni zemeljski plaz pod cerkvico svete Marije Vnebovzete na Pečah (*Santa Maria in Siaris*), na desni strani pa lahko opazujemo skalnati klif na pobočjih Stene, ki je nastal zaradi inverznih prelomov, spodbujenih zaradi prisotnosti prehodne plasti laporovcev. S pogledom iščemo vhode v votline, ki so jih od prazgodovine uporabljali za nadzor prometa po tako imenovani Solni poti (po kateri zdaj hodimo). Zapustimo pot in se spustimo do rečne struge, kjer iz številnih razpok izvira sladka voda izvira Zvirk, ki je nekoč tekla po rimskem akvaduktu in Trst oskrbovala z vodo. Nadaljujemo po Solni poti in prečkamo odsek, kjer na površje pridejo subvertikalni laporovci in peščenjaki, ki so oblikovali prelom grebena Počivence na severnem boku antiklinale Malega Krasa (glej geološko poglavje POSTANEK 1).



## **Postanek 7 – Kvarterni sedimenti ob koči Premuda**

Nadaljujemo s spustom do POSTANKA 7, pri čemer obidem ostanke rimskega akvadukta in cementirane detrite s pobočja, ki se izmenjujejo z izdanki terciarnih apnencev.

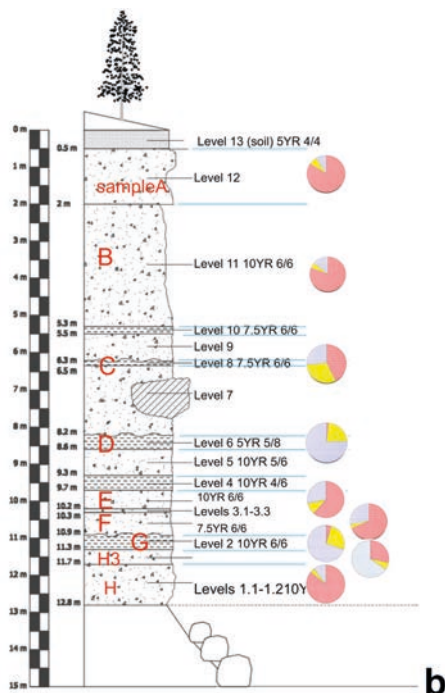
Pred kočo CAI se desno od hudournika dviga subvertikalna stena, sestavljena iz bolj ali manj zacementiranih aluvialnih in pobočnih nanosov, ki predstavljajo edini izdanek starih aluvialnih nanosov v kraškem okolju v tržaški pokrajini. Erozijsko delovanje potoka je razkrilo skoraj 12 metrov visok subvertikalni nasip, sestavljen iz izmenjujočih se rdečkastih glinastomeljastih nivojev, ponekod z erozijskimi mejami, in nivojev proda in prodnikov z oglatimi do zaobljenimi klasti apnencev in peščenjakov v meljasto-peščeni osnovi. V enem od grobih nivojev so prisotni tudi redki decimetrski apnenčasti bloki.

Zaporedje nivojev priča o intenzivnih fazah transporta, ki se izmenjujejo s fazami šibkejše rečne dinamike in fazami sesedanja. Razvoj rečnih in gravitacijskih procesov tako različnih intenzivnosti skozi čas priča o tem, kako različne kvartarne podnebne faze in neotektonski procesi vplivajo na procese akumulacije sedimentov. Primerjava velikosti delcev in mineraloških podatkov je omogočila opredelitev treh enot:

Osnovna enota ob vznožju nasipa: aluvialni nivoji s srednjo in visoko energijsko stopnjo, ki se izmenjujejo z apnenčastimi detritnimi nivoji. Datacija rastlinskega fragmenta iz osnovne enote kaže na starost več kot 45.000 let BP.

Vmesna enota, za katero so značilni drobní nanosi, v katerih se detritni in gravitacijski nivoji izmenjujejo z aluvialnimi nanosi, končajo se z nivojem z bloki.

Zgornja enota, kjer so ponovno prisotni aluvialni nanosi z visoko energijsko stopnjo.



Slika 6.9 Kvarterni sedimenti na območju kočje Premuda. Na tortnih grafikonih so z rdečo barvo označeni prodovi, z rumeno peski, s sivo pa mulji. (Povzeto po: Furlani in sod., 2015)

---

## **BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA**

BORSATO A., CUCCHI F., FRISIA S., MIORANDI R., PALADINI M., PICCINI L., POTLECA M., SAURO U., SPOTL C., TUCCIMEI P., VILLA I.M., ZINI L. (2005) *Ricostruzione climatica degli ultimi 17.000 anni da una stalagmite della Grotta Savi (Trieste, Italia)*. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80, 111-125.

CUCCHI F., MEREU A., OBERTI S., PIANO C., ROSSI A., ZINI L. (2005) *Geology and geomorphology of the "Rosandra" valley for a cultural enhancement*. Il Quaternario-Italian Journal of the Quaternary Sciences 18/1, 183-194.

CUCCHI F., RICCAMBONI R., BANDI E. (Ed.) (2012) *Acqua e vita nelle grotte della Val Rosandra*. LINT editoriale, Trieste, ISBN: 978-88-8190-281-1, 141 pp.

FURLANI S., FINOCCHIARO F., BOSCHIAN G., LENA Z. D., BIOLCHI S., BOCCALI C., MONEGATO G. (2015) Quaternary evolution of the fluviokarst Rosandra Valley (Trieste, NE Italy). Available online <http://amq.aiqua.it>. ISSN (print): 2279-7327, ISSN (online): 2279-7335.

STOYKOVA D., SHOPOV Y., SAURO U., BORSATO A., CUCCHI F., FORTI P. (2003) *High-resolution luminescence speleothem records from Savi Cave, Trieste, NE Italy*. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80, 169-173.

ZINI L., VISINTIN L. CUCCHI F., BOSCHIN W. (2011) *Potential impact of a proposed railway tunnel on the karst environment: the example of Rosandra valley, Classical Karst Region, Italy-Slovenia*. Acta Carsologica, 40/1, 207-218.

## 6.2 Učna pot 2: Od Padrič do Briščikov

Predlagana pot je zasnovana za en dan in poteka po vzhodnem delu italijanskega matičnega Krasa, od Padrič do Repentabra in nazaj, na koncu ekskurzije pa se z zadnjim postankom v bližini Proseka zopet vrnemo na Napoleonovo cesto. Pot vključuje šest postankov, na vsakem od njih pa lahko radovedni pohodnik občuduje nekatere posebnosti, zaradi katerih je območje tako pomembna geomorfološka in geološka dediščina in zaradi katerih je dobilo naziv italijanski matični Kras. Gre za potovanje v preteklost skozi geološko zgodovino tega dela ozemlja, ki se začne z opazovanjem izdankov liburnijskih apnencev v Padričah. Le-ti so vidni na avtocestnem odseku, nato pa se pot premakne k najstarejšim kamninam - Nabrežinskim apnencem – in sicer k spodnjim delom enote, za katero so značilne spektakularne morfologije, kot so Repentabske stene. Na POSTANKU 5 odkrijemo vrhni del te zadnje formacije, ki je najbolj zakrasena, kjer lahko občudujemo čudovite škraplje pri Briščikih, geo-točko nadnacionalnega značaja. Zadnji POSTANEK ponuja manj geoloških-stratigrafskih-geomorfoloških zanimivosti in več tektonskih:

vino tega dela ozemlja, ki se začne z opazovanjem izdankov liburnijskih apnencev v Padričah. Le-ti so vidni na avtocestnem odseku, nato pa se pot premakne k najstarejšim kamninam - Nabrežinskim apnencem – in sicer k spodnjim delom enote, za katero so značilne spektakularne morfologije, kot so Repentabske stene. Na POSTANKU 5 odkrijemo vrhni del te zadnje formacije, ki je najbolj zakrasena, kjer lahko občudujemo čudovite škraplje pri Briščikih, geo-točko nadnacionalnega značaja. Zadnji POSTANEK ponuja manj geoloških-stratigrafskih-geomorfoloških zanimivosti in več tektonskih:



ob Napoleonovi cesti se pojavljajo alveolinsko-numulitni apnenci (najmlajši v stratigrafskem zaporedju, ki ga preučujemo na tem izletu), ki jih je vertikalno oblikoval *nariv* Krasa, pomembna tektonska linija, usmerjena v dinarski smeri SZ-JV.

### **Postanek 1 – Cestni izsek v bližini Znanstvenega parka AREA**

Izhodišče izleta je na parkirišču Parka Globojner v bližini Znanstvenega parka v Padričah.

Izsek za izgradnjo odcepa z avtoceste proti Padričam predstavlja enega največjih in najbolj neprekinjenih izdankov karbonatnega zaporedja na italijanskem matičnem Krasu: odsek Padriče. Lega plasti kamin proti jugozahodu, zato se najstarejše kamnine nahajajo na severovzhodnem delu izdanka, v smeri raziskovalnega območja, mlajše pa na jugozahodu, v smeri proti Trstu.

Kamnine v prvem delu odseka spadajo med liburnijske apnence. Ta litostratigrafska enota spada v zgornjo kredo do paleocena in predstavlja fazo v razvoju kraškega paleookolja, za katero so bile značilne plitve morske razmere (globine nekaj metrov), pogosti so bili primeri emerzije ali skorajšnje emerzije. Kamnine so

pretežno temni apnenci, včasih laminarni, podrejeno pa se pojavljajo lapornato/glinaste plasti, ki so v smeri navzgor (stratigrafsko) vse bolj redke. Pogoste so akumulacije bentoških organizmov (foraminifere, ostrakodi, polži, dasikladne alge, solitarne koralne) in dokazi o paraličnem okolju (tj. okolje, za katerega so značilni izmenični in vzajemni vplivi celinskih in morskih voda), kot je prisotnost mikrokodijev, ter nivoji mono- in poligenih sedimentnih breč. Liburnijskim apnencem sledi kratek čas nastajajoč prehodni pas alveolinsko-numulitnih apnencev iz zgornjega paleocena – spodnjega eocena. Z vidika makroskopskega opazovanja je dokaz prehoda v to enoto pojav foraminifer, ki so vidne s prostim očesom in se ob opazovanju s povečevalnim steklom zdijo velike. Najbolj značilne so bentoške alveolinidne foraminifere ("alveoline"), ki jih včasih prepoznamo po strukturi, za katero so značilne koncentrične spirale okroglih komor, in numuliti, ki imajo lečasto obliko, na prerezu pa kot bolj ali manj sploščene rombične oblike. Z vidika razvoja okolja je prehod iz liburnijskih v numulitske apnence povezan s poglobljanjem okolja in vračanjem izrazito morskih razmer. V okviru paleotektonskega razvoja kraškega območja je to poglobljanje povezano s splošnim in postopnim vse večjim posedanjem zaradi razvoja Dinarskega gorovja, ki se je s severovzhodne smeri dvigala od zgornje krede.

Omeniti velja, da je v odseku Padriče

*Slika 6.10 Zemljevid predlaganega izleta in POSTANKI. (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu, na podlagi RAFVG)*

še pred nekaj leti izdanjal prehod med kredo in paleogenom (K/Pg), kar je v svetovnem merilu eden redkih primerov, ko je to zabeleženo v kamninah, odloženih v plitvovodnih morskih okoljih.

Gradbena dela za avtocestni priključek so dobro razkrila apnenec nad mejo K/Pg, žal pa je prišlo do prekritja prehoda, ki je zdaj težko razpoznaven.

Blizu avtoceste, vendar na območju, ki je težko dostopno, saj se nahaja na izvozni rampi, izdanjajo apnenec kredne starosti, za katere je značilna

prisotnost rudistov in foraminiferne favne, ki vsebuje Rapydionina Liburnica, značilno obliko zgornje krede, obe sta izumrli na prehodu K/Pg. Po presledku v dolžini nekaj deset metrov, v katerem ni kamninskih

*Slika 6.11 Liburnijski apnenec (paleocenska starost) v odseku Padriče.*

*Na sliki je dobro vidna plastovitost, nagnjena pod kotom približno 40° proti jugozahodu (proti morju), debeline posameznih plasti so do enega metra.*

*(Foto: Marco Franceschi)*



izdankov, se pojavijo temni apnenci z značilno paleocensko favno.

### **Postanek 2 – Kamnolom Col**

S parkirišča Parka Globojner se z avtom odpeljemo do Opčin in nadaljujemo proti mejnemu prehodu Repentabor. V bližini vasi Col zavijemo desno po cesti, ki vodi do terminala Autoporto di Ferneti. Takoj ko prečkamo most čez železnico, parkiramo avtomobil in se na levi strani odpravimo po makadamski cesti do zapuščenega kamnoloma.

Kamnolom se začne v osnovnem sloju Nabrežinskih apnencev, ki se pogosto uporabljajo kot okrasni in gradbeni kamen. Sčasoma so kamnoseki vrste kamnov poimenovali z imeni, ki so postala tradicionalna, kot so Aurisina Fiorito, Fior di mare, Granitello in Repen.

Nabrežinski apnenci so mogočno zaporedje apnenčastih kamnin iz zgornje krede, ki izvirajo iz sedimentov, odloženih v okolju karbonatne platforme, ko je bilo kraško območje v tropskih širinah in ga je zasedalo plitvo morje (do nekaj deset metrov). S paleontološkega vidika je za Nabrežinske apnence najbolj značilna prisotnost, včasih zelo množična, fosilov rudistov, velikih školjk z debelo lupino, ki so v obdobju krede uspevali v toplih morjih. Kopičenje lupin rudistov je bilo tako številčno, da so prevzele litogenetsko vlogo, kar pomeni, da obstajajo kamnine, ki so večinoma sestavljene iz delcev lupin

teh mehkužcev. V Nabrežinskih apnencih se rudisti pojavljajo predvsem v akumulacijah, v katerih so školjke razdrobljene in fragmentirane; včasih pa najdemo nepoškodovane primerke. Rudisti so še posebej številni in veliki v zgornjem delu zaporedja. Za spodnji del enote pa so značilni manjši primerki (Requieniidae) in hondrodonti, še en rod velikih školjk s ploščato, "pahljačasto" lupino, ki lahko doseže dolžino več centimetrov.

V Colu je na starih kamnolomnih stenah, del katerih je danes plezališče, videti nekaj subvertikalnih votlin (posledica anastomoz kraških brezen, nastalih vzdolž prej obstoječih razpok) in fosilov rudistov. Plastovitost kamninske gmote v subhorizontalni smeri je slabo prepoznavna, vidni pa sta dve skupini subvertikalnih razpok.

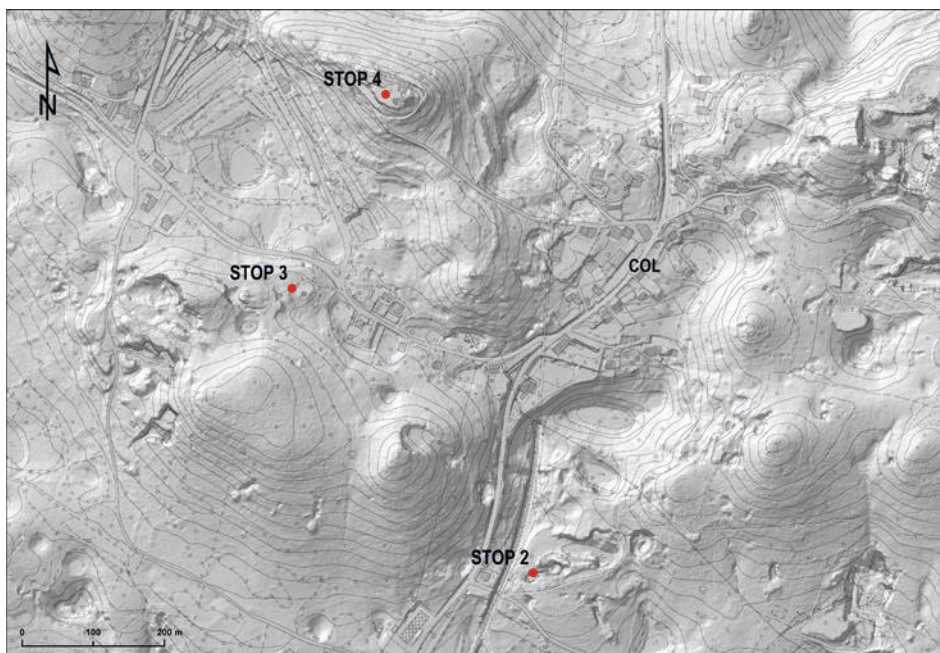
### Postanek 3 – Repentabsrke stene

Zopet sedemo v avto in se odpeljemo do spomenika padlim, vklesanega v tako imenovano Repentabsrsko steno, ki je ostanek *huma*. Po kratkem sprehodu skozi grmovje pridemo do več stebrov in nekaj sten opuščenih kamnolomov. Stebri so veliki kamniti bloki, zelo odporni proti propadanju, visoki več kot 10 metrov, iz brečastih apnencev, ki spadajo med Nabrežinske apnenice. Kot ostanki starodavnih kraških površin, ki so bile očitno veliko višje od današnjih,

predstavljajo resnično edinstveno pričevanje. Bloki stojijo kot izolirani stebri, saj je meteorska voda raztopila okoliške bolj topne kamnine.

V bližini teh naravnih spomenikov se razvija bujno kraško grmičevje, ki jih obdaja in včasih omejuje pogled nanje. V nekaterih primerih grmičevje raste tudi na samih stebrih, širi razpoke in prispeva k njihovem postopnemu razpadanju. Ko hodimo po poti in smo vseokrog obdani z grmičevjem, se zavemo prisotnosti teh struktur, ki tvorijo tako imeno-

*Slika 6.12 Zemljevid s POSTANKI na območju Repentabra. POSTANEK 2: kamnolom Col; POSTANEK 3: Repentabsrke stene; POSTANEK 4: Tabor v Repentabru (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu, na podlagi kataloga IRDAT – RAFVG)*



*Slika 6.13 a) detajl Nabrežinskega apnenca z rudistnimi školjkami in delci školjk; b) subvertikalne votline na prelomu. Rdečkasto patino dajejo kalcitne prevleke, bogate z oksidi Fe in Mg, parietalni stalaktiti pa so kapne oblike na steni, ki so jo odlomili kamnoseki. (Foto: Furio Finocchiaro)*



vano "skalnato mesto". Posamezne karbonatne strukture so dejansko videti kot izolirane hišice, ki skupaj dajejo videz mestne četrti. Apnenci, ki izdanjajo in tvorijo krepak podolgovat relief v smeri SZ-JV, so del bazalnega faciesa Nabrežinskih apnencev, v literaturi imenovanega "colski apnenci" (Calcarei di Zolla) ali preprosto "repen"; pogosto se uporabljajo kot gradbeni kamen in za razne druge namene, saj so zelo odporni na vremenske vplive. Rastlinje deloma zakriva sledove teh dejavnosti izkoriščanja kamna za lokalne potrebe, zakriva pa tudi ozko pot, ki vodi na vrh vzpetine, kjer so zanimive škraplje, prepredene z globokimi kraškimi razpokami.

#### **Postanek 4 – Tabor v Repentabru**

S parkirišča v bližini pokopališča se po kratkem sprehodu po makadamski cesti povzpemo do trga pred Taborom, ki je edini primer utrjenega tabora v tržaški pokrajini. Od tu se nam odpre razgled na kraško planoto. Proti Sloveniji lahko opazujemo kraško morfologijo podlage, ki je rahlo nagnjena v antiklinalo, v daljavi pa se nad eocenskim flišem dvigajo obronki krednih apnenčastih reliefov Trnovskega gozda in Nanosa. Na jugu in zahodu se razkriva Kraška planota z vrtačami in škrapljami. S širšega zornega kota kaže morfologija na obsežno, a šibko depresijo, ki jo v

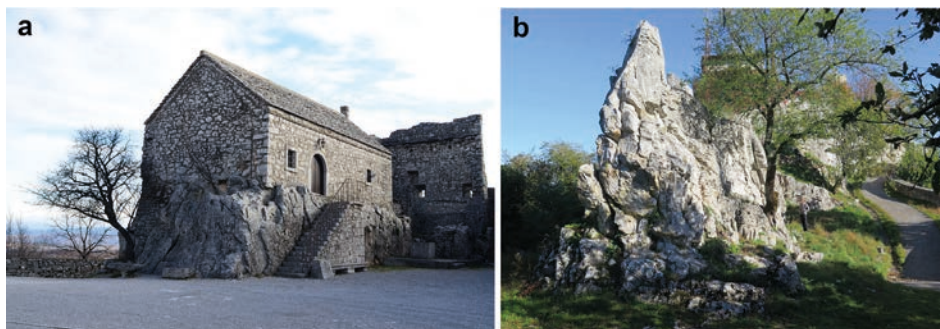
smeri proti notranjosti in proti Jadranu obdajajo zmerne reliefne oblike.

Ta osrednji pas italijanskega matičnega Krasa nekoliko spominja na široko rečno dolino, ki naj bi bila posledica vijuganja "paleo rek" na miocenskem izravnanim površju pred razvojem kraških pojavov. Takšnega mnenja so bili prvi raziskovalci, vendar je "nižina" skoraj zagotovo posledica diferencirane korozije karbonatnih kamnin z različnimi petrografskimi značilnostmi in geotektonskim razvojem. Severovzhodni

relief ob meji s Slovenijo sestavljajo dolomitni apnenci in dolomiti, ki so v povprečju manj primerni za zakrasedevanje, lega je subhorizontalna do rahlo nagnjena; proti morju so za terciarne apnence značilni bolj kristalinični apnenci s skromno topnostjo in izrazito nagnjeno lego. V srednjem, komajda usločenem delu, so litotipi zastopani z rudistnimi apnenci, ki so čistejši, bolj podvrženi koroziji, njihova lega je valovita in malo nagnjena. Tabor stoji na spodnjem delu Nabrežinskih apnencev, plasti so, na splošno, nagnjene proti jugo-zahodu.



Slika 6.15 a) Tabor v Repentabru; b) še nekaj humov ob obzidju Tabra in v bližini pokopališča. (Foto: Franco Cucchi)



Ob vznožju Tabora so na severni strani vidne akumulacije školjk hondrodonta, mehkužcev, za katere so značilne ploščate, pahljačaste lupine, dolge tudi več centimetrov, ki spadajo v čas cenomanija, eno od obdobji zgornje krede. Nedaleč od Tabora proti severovzhodu izdajajo kostenski apnenci iz srednje do zgornje krede, ki so najstarejša stratigrafska enota med tistimi, ki izdajajo na italijanskem delu Krasa. To so pretežno sivi do temnosivi apnenci, ponekod bogati z majhnimi miliolidnimi foraminiferami in z nivoji, v katerih so prisotne školjke Requieniidae. Za najmlajši, vrhnji del kostenskih apnencev na Krasu je značilna prisotnost velikega formacijskega nivoja, ki je v literaturi imenovan Repen-

tabska formacija (Formazione di Monrupino), v kateri so apnenci dolomitizirani. Nivo je imel in še vedno ima zelo pomembno vlogo pri razvoju površinske in podzemne kraške hidrografije, izdajanja pa nedaleč stran od Repentabskega tabora. Opaziti ga je mogoče ob cesti od kamnoloma Col do državne meje s Slovenijo. V dolomitnih apnencih in dolomitih so pogosto vidne paleokraške zapolitve (manjši izdanek je viden ob cesti proti Taboru).

Slika 6.14 Nekaj slik sten in škrapelj v Repentabru: a) "Repentabska stena", spomenik padlim; b) in c) nekaj "vil" skalnega mesta; d) škrapljišče. (Foto: Franco Cucchi)



Slika 6.16 *Chondrodonta joannae* ob vznožju Tabora v Repentabru.  
(Foto: Marco Franceschi)

### Postanek 5 – Škrapljišče pri Briščikih

Po izletu do Repentabsrke utrdbe in sten se z avtom odpeljemo proti Colu in Repnu (Rupinpiccolo), ob poti so vidni izdanki, nato prečkamo depresijski pas, kjer se pojavljajo Nabrežinski apnenci in se odpravimo do Briščikov, kjer se nahaja znamenita Briškova jama. Kamnine, ki izdanjajo v okolici jame, pripadajo srednjemu nivoju Nabrežinskih apnencev, za katerega je značilna včasih tudi zelo bogata vsebnost celih in zdrobljenih rudistnih lupin.

Briškova jama je največja turistična podzemna kraška dvorana na svetu: njena prostornina znaša 365.000 m<sup>3</sup>, dolga je 167,60 m, visoka 98,50 m in široka 76,30 m. Je bogata s sigastimi tvorbami in na ogled ponuja izjemno raznolikost kapnikov.

Dostop do nje je mogoč prek dveh velikih rogov po stopničastih poteh in hodnikih. Sedanji turistični izhod je rov, ki je bil poseljen od neolitika do železne dobe. Nastanek jame je povezan z anastomozo več velikih rogov s soteskami in brezni, ki jih je izdolbla voda, ter z impresivnimi gravitacijskimi procesi z velikimi podori znotraj prostorov, ki jih je razširila voda. V Briškovi jami potekajo meteorološko-podnebne študije in raziskave o raztapljanju apnenčastih kamnin z zakrasevanjem, o obnašanju podtalnice med visokimi vodostaji in o spremljanju potresov. Jama je ena najpomembnejših turističnih jam v Furlaniji-Juljski krajini z zanimivim jamarskim muzejem, ki je opremljen in odprt za javnost od leta 1908.

V bližini jame je eksperimentalna

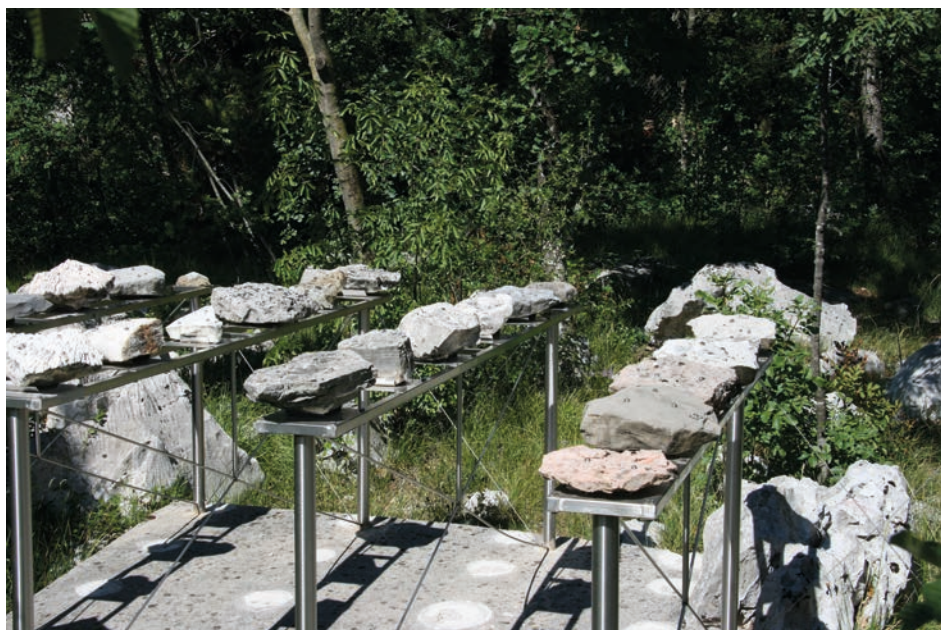
postaja za raziskovanje površinskega raztapljanja apnenčastih kamnin. Na stebrih je vremenskemu vplivu izpostavljenih približno petdeset vzorcev kamnin s Krasa in drugih italijanskih nahajališč. Vsako leto se s posebnimi, do stotinske milimetra natančnimi instrumenti, imenovanimi mikroerozijski merilniki, izmeri ugrezanje izpostavljenih površin zaradi raztapljanja

apnenca.

Meritve od leta 1979 kažejo, da je v zmernem podnebju s padavinami približno 1200 mm/leto in povprečno temperaturo 12°C zmanjšanje v povprečju 0,025 mm/leto (0,008 do 0,038 mm/leto).

Vendar Postanek 5 ni v Briškovski jami, temveč nekaj sto metrov stran

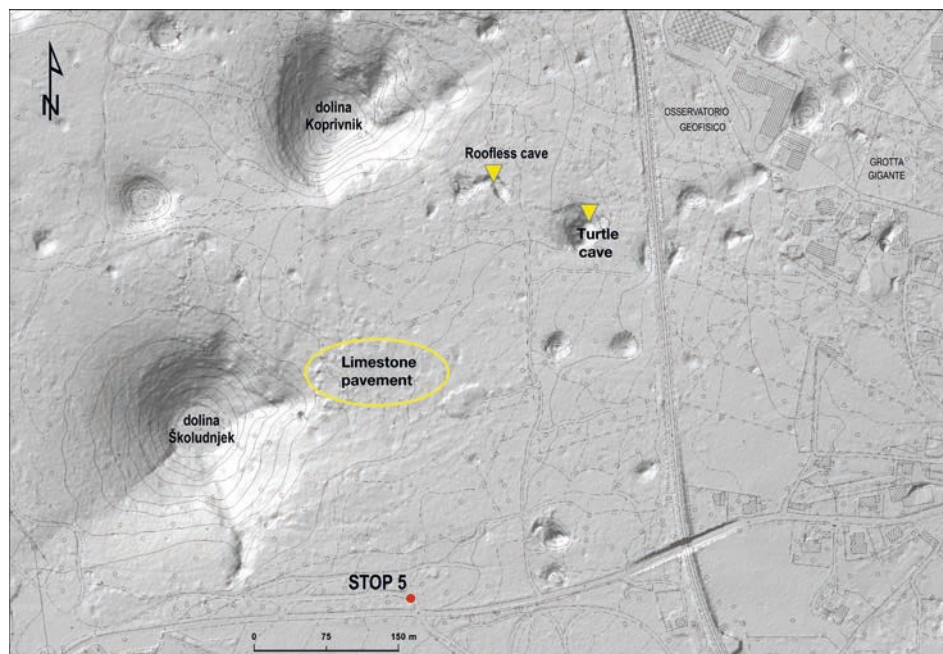
*Slika 6.17 Eksperimentalna postaja za raziskovanje površinskega raztapljanja apnenčastih kamnin. (Foto: Franco Cucchi)*



od nje, na območju, ki ga domačini imenujejo "gadna griža", kjer se raztezajo škrapljišča, ki so po velikosti, vrsti in pogostosti eden najpopolnejših primerov, kako kraško raztapljanje učinkuje na subhorizontalne, slabo razčlenjene apnenčaste površine. Na površini približno pol kvadratnega kilometra je skoraj 200 škavnice (*kamenitze*) in na tisoče malih kraških oblik: žlebiči vseh vrst

(otočni, grebenski, meandrasti), velike in obsežne škraplje, poklinaste škraplje, ki oblikujejo majhne skalne mostove, podpovršinske oblike raztapljanja, kraške gobe.

Predvsem *škavnice* so tako velike, da so ta škrapljišča vzorčna mesta za tovrstne površinske kraške pojave: nekatere so globoke 70-80 cm in pokrivajo površino nekaj kvadratnih metrov.



Slika 6.18 Zemljevid postankov v območju Briščikov. Rumeni trikotniki označujejo vhod v jamo Grotta della Tartaruga in brezstopno jamo. Na severu in zahodu zemljevida sta dve veliki dolini italijanskega matičnega Krasa. (Vir: Oddelek za matematiko, informatiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu; lidar iz kataloga IRDAT – RAFVG)

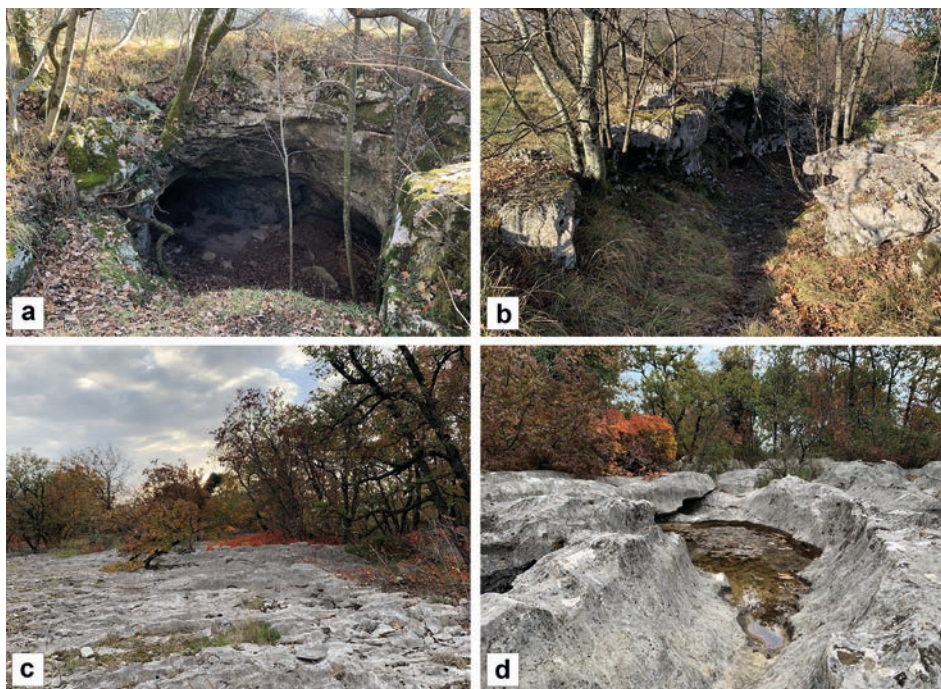
Da bi bolje spoznali čisto kraško pokrajino, ki se razodeva skozi vse opisane kraške oblike, parkiramo na športnem letališču zahodno od kraja Briščikov, nadaljujemo proti vzhodu, nato pa na križišču proti severu po makadamski cesti skozi grmovje, kjer zapazimo zakrasele kamnite sklade in robove majhnih vrtač. Po približno 300 m se desno odcepi steza, ki nato zavije na levo in vodi naravnost do **jame Grotta della tartaruga** (katastrska številka 1688; 4530VG), ki se nahaja na robu slikovite vrtače.

Vhod v votlino je bil sprva zasut skoraj do stropa, leta 1962 jo je odkril Bruno Redivo. Izkopavanja so trajala približno deset let, med najdbami je bil tudi želvi oklep (od tod tudi ime). V smeri proti vzhodu se je z izkopi odprlo nekaj manjših prostorov, v katerih so na stropu majhne konkrecije ter nekaj večjih stebrov in majhna škavnica s premerom približno 20 cm. Z odkritjem teh predelov se je dolžina povečala na 38 metrov, globina pa na 8,5 metra. Z izkopavanji so bile ugotovljene sledi človekove uporabe jame srednje kamene do bronzne dobe. Posebej pomemben je nivo D z ostanki iz mlajše kamene dobe, kot so ostanki keramičnih posod in kremenastih artefaktov, dve rezili sekire in dve sekiri iz brušenega kamna. Za dodatno zanimivost območja so v neposredni bližini vidna številna manjša škrapljišča, nekaj vhodov v votline, nekaj brezstropnih jam ter tri izmed najširših in najglobljih dolin na

tržaškem Krasu: Murnjak (globoka 40 metrov), Koprivnik (globoka 35 metrov) in Školudnjek (še 40 metrov).

Izraz "*brezstropna jama*" se uporablja za starodavne subhorizontalne jame, ki so ostale brez stropa zaradi zniževanja kraškega površja z raztapljanjem.

Pot nadaljujemo skozi brezstropno jamo, pridemo do škrapljišč na vzhodnem pobočju Školudnjekove vrtače, kjer se odpirajo velike škavnice.



## Postanek 6 – Stene Napoleonove ceste

Z avtomobilom prispemo do vasi Prosek na naši desni in se usmerimo proti razgledišču. Avto pustimo na velikem parkirišču in se odpravimo po Napoleonovi cesti vzporedno z obalo, kjer lahko občudujemo niz subvertikalnih sten iz alveolinsko-numulitnih apnencev. To so površine apnenčastih plasti, ki so tu skoraj navpične. Dejansko se na tem območju nahajamo ob zunanjem robu velike Kraške antiklinale, kjer so plasti najbolj nagnjene in so lahko

*Slika 6.19 Na sliki je detajl nekaterih najbolj značilnih kraških morfologij na območju Briščikov: a) vhod v jamo Grotta della Tartaruga; b) vhod v brezstropno jamo; c) škrapljišča; d) škavnica. (Foto: Chiara Calligaris)*

celo obrnjene. Posebej fascinanten je nepravilen videz površin zaradi pojavov preoblikovanja (diageneze) sedimentov, kot so cementacija, raztapljanje na površinah (lezikah) zaradi kompaktiranja in diferencialno kompaktiranje, ki se pojavita kmalu po

*Slika 6.20 Navpični alveolinsko-numulitni apnenci ob Napoleonovi cesti.  
(Foto: Marco Franceschi)*



usedanju (zgodnja diageneza). Druge zanimive geološke strukture so nekatere prelomne ploskve ali razpoke, ki so včasih jasno vidne v obliki črke X. Strukture so nastale v kompresijski fazi, ki je povzročila nastanek antiklinale, zaradi stiskanja kamnin. Njihova prisotnost vpliva tudi na morfologijo vrhnjega dela sten, ki so dejansko videti kot zvoniki pravih oblik. Posebej fascinanten je širok pogled na Tržaški zaliv, od mesta do Istre in ustja reke Soče.



---

## BIBLIOGRAFIJA IN DRUGA REFERENČNA BESEDILA

CANNARELLA D. (1979) *Catalogo delle cavità e dei ripari di interesse paleontologico e paleontologico sul Carso Triestino*. Atti delle Sc Atti della Società per la Preistoria e la Protostoria del Friuli Venezia Giulia. 3:47-124.

CUCCHI F., FORTI F., STEFANINI S., ULCIGRAI F. (1985) *Mésures de dégradation de roches carbonates et d'accroissement de stalagmites*. In: Collin G., Drouin P. (eds.) *Spelunca Mémoires, Actes XVIe Congrès National de Spéléologie, Nancy-Metz*. Université Metz-Nancy, pp.87-90.

CUCCHI F., FORTI F., MARINETTI E. (1996) *Surface degradation of carbonate rocks in the karst of Trieste (Classical Karst, Italy)*. In: *Karren landforms: Proceedings of the International Symposium on Karren Landforms: Sóller on 19-24th of September 1995/Juan José Fornós Astó (ed. lit.), Angel Ginés Gracia (ed. lit.)*, 1996, ISBN 84-7632-297-6, 41-52.

CUCCHI F., FINOCCHIARO F., MUSCIO G., LIZZI G., RAVALICO M., PIANO C. (2010) *Geositi del Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Trieste, pp.383.

CUCCHI F., ZINI L., CALLIGARIS C. (2015) *Il Progetto Hydrokarst: Le Acque del Carso Classico*. Ed. E.U.T. Trieste, ISBN:978-88-8303-621-7. <http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/10676>, pp.181.

FURLANI S., CUCCHI F., FORTI F., ROSSI A. (2009) *Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia)*. *Geomorphology*, 104, 73-81.

MONTAGNARI KOKELJ M., BERNARDINI F. (2015) *"Pietra verde, Neolitico e post-Neolitico, Carso... lo stato della questione" 15 anni dopo*. *Gortania*, vol.37, 85-97.

## 7. GEOPRODUKTI GEOPARKA

### Predgovor

V tem poglavju govorimo o tem, kar je za vsakega geološkega in naravoslovnega vodnika najbolj zanimivo: kaj lahko deli z obiskovalci, turisti ali na splošno s pohodniki.

Opisani so razni proizvodi, vendar jih mora vodnik sam povezati z izletni in doživetji, tudi na podlagi preteklih izkušenj in spoznanj, ali na podlagi tega, kar je bilo zasnovano in načrtovano v sklopu bodočega geoparka Krasa.

Za lažje branje bomo "geoprodukte" razvrstili v tematska področja, opredeljena v strateškem načrtu deželne agencije za turistično promocijo PromoturismoFVG.

Najprej se bomo posvetili nekaj **temeljnim konceptom, ki** nam bodo pomagali bolje opredeliti značilnosti in možne ciljne skupine geoturistične ponudbe v geoparku Kras.

### 7.1 Opredelitve pojmov

#### 7.1.1 Kaj je geoprodukt?

Prvi pomemben pojem je geoprodukt. Kako ga lahko opredelimo?

Geoprodukt je turistični proizvod s posebno geološkim podpomenom; je ključni element, na katerem slo ni geoturistična ponudba geoparka Kras: geoprodukt je dejansko zasnovan, organiziran in tržen, da bi območju prinašal dodano vrednost in razvoj.

Kot vsak drug turistični proizvod je tudi geoprodukt skupek dobrin, doživetij in storitev, vendar ga odlikujejo številne posebnosti: prvič, tesno je povezan z geologijo, a tudi z lokalno skupnostjo, zgodovino in identiteto območja; drugič, je trajnosten, turistom, obiskovalcem in lokalni skupnosti sporoča vrednote, ki ga opredeljujejo in zaznamujejo; in nazadnje, zaradi njega se vsi bolj zavedamo pomena varstva in krepitve



*Slika 7.1 Logotip geoparka, avtor Paolo Prossen (barvna in črno-bela različica), ki bo označeval geoprodukte*

geodiverzitete območja, njegove naravne in kulturne dediščine.

### 7.1.2 Prijatelji geoparka (geopark friend)

Geoturizem ne živi samo od geoproductov!

Pravzaprav moramo upoštevati tudi tiste turistične proizvode, ki odražajo vrednote geoparka, vendar nimajo posebne geološke konotacije. Imenovali jih bomo izdelki "geopark friend" (prijatelj geoparka).

Skupaj z geoproducti spodbujajo geoturizem, tj. tisti segment turizma, pri katerem so najpomembnejši dejavniki geološka raznolikost, ohranjanje narave in skrb za geološko dediščino Krasa.

Slika 7.2 Logotip izdelka "prijatelj geoparka", avtor Paolo Prossen (barvna različica)



## 7.2 Profili obiskovalcev in ciljne skupine geoturizma

Preden se lotimo analize geoproductov in produktov "prijatelj geoparka", je morda koristno analizirati različne profile obiskovalcev ali ciljne skupine, s katerimi se bomo kot geološki in naravoslovni vodniki v geoparku Kras ukvarjali.

Ta naloga nam bo pomagala bolje razumeti želje in potrebe turistov, obiskovalcev in pohodnikov ter kako jih najboljše zadovoljiti.

Najprej lahko razločimo različne vzroke ali nagibe, zaradi katerih naši obiskovalci pridejo na to čudovito ozemlje. Če si predstavljamo lestvico, na kateri prvo mesto pripada obiskovalcu, ki geološki interes postavi na prvo mesto kot izključni razlog za obisk, sledijo pa mu drugi obiskovalci, ki jim je geološka vsebina le prevladujoči ali dopolnilni razlog za obisk, lahko določimo najmanj pet različnih profilov obiskovalcev:

**Geološki navdušenci:** znanstveni raziskovalci, univerzitetni profesorji, člani organiziranih znanstvenih ali izobraževalnih potovanj, ljudje, ki jih posebej zanimajo geološki vidiki Krasa.

**Ekoturisti:** ljudje z visoko stopnjo okoljske in družbene ozaveščenosti; na počitnicah jih še posebej privlačijo določene dejavnosti, kot je raziskovanje zaščitene območij ali zgodovinskih vasi; potujejo, da bi spoznali okolje, hrano in vino ter kulturo krajev.

**Turisti "kulturne pokrajine"** ali turisti določenega območja, ljudje, ki jih motivira kombinacija različnih zanimivosti, pri čemer sta potovanje in izbira nastanitve sestavna dela izkušnje; območni turizem je zaradi kompleksnosti proizvoda težko opredeliti in izmeriti, saj je v središču motivacije za potovanje kombinacija kulture in tradicije, ljudi in zgodb, okolja in narave, zgodovine in umetnosti, arhitekture, geologije in geomorfologije, hrane in vina ter tipičnih proizvodov.

**Aktivni turisti:** segment, ki je navašen iskati redke kraje in edinstvena doživetja ter pričakuje kakovost, ki ni omejena na hotel; med najbolj iskanimi doživetji so aktivna in dinamična doživetja, tudi ekstremna, sredi narave, ali pa obiski in izleti, katerih značilnosti so ekološka trajnost, prstnost in stik z naravo, ki jih išče tudi s samim načinom potovanja (kolesarjenje, hoja).

**Turisti ljubitelji narave** (občasni): v to kategorijo spadajo turisti, ki med počitnicami po naključju obišejo naravne znamenitosti; ljudje, ki svojih počitnic najverjetneje ne bodo načrtovali z mislijo na določeno dejavnost, kot so tiste, povezane z geoturizmom, ampak se bodo verjetno odločili obiskati določene, razpoložljive ali dostopne znamenitosti.

*Slika 7.3 Vinska trta na Krasu  
(foto: F. Vidoz)*

### 7.3 Geoprodukti

Po tem kratkem, a nujnem uvodu smo končno prišli do opisa geoproduktov. Razdelili jih bomo v dve glavni kategoriji, na geoprodukte, ki so že na voljo, in tiste, ki se še opredeljujejo in pripravljajo, pri čemer bomo kot dodatno klasifikacijsko merilo uporabili tematsko merilo, predlagano v strateškem načrtu PromoturismoFVG 2019-2022:

- enogastronomija (prednostna skupina)
- kolo (prednostna skupina)
- kulturne poti (skupine posebnega pomena).
- dejavnosti na prostem (skupine posebnega pomena)
- dogodki (skupine posebnega pomena)

#### 7.3.1 Enogastronomija in geoprodukti

V to kategorijo spadajo nekateri tipični lokalni proizvodi ter doživetja, povezana s hrano in vinom, ki so na voljo v sugestivnih geotočkah Briškovska jama in Dolina Glinščice.

#### Vino teran

Vino, ki izvira iz kraškega območja, avtohtono; je glavna sorta grozdja, ki se prideluje na rdeči zemlji, značilni zemlji kraških vrtač, neločljivo povezani s karbonatno podlago, in je nedvomno eden najbolj značilnih geoproduktov (*slika 7.3*). Teran je vino, zaščiteno z oznako priznanega tradicionalnega poimenovanja, in je pridobljeno iz rdeče sorte grozdja, ki pripada družini refoškov.



Vino odlikujejo živahna kislost, arome malin in robid ter značilna rubinasto rdeča barva z vijoličnimi odtenki (*slika 7.4*). in omejena vsebnost taninov. Prav zaradi promocije tega lokalnega vina je bila leta 1986 odprta "vinska pot terana" od Opčin do Vižovelj, ki jo je želela in sponzorirala nekdanja Tržaška pokrajina.

*Slika 7.4 Barva in odsevi vina teran (foto: F. Bieker)*



### **Teranov liker**

Aromatizirano vino "Teranov liker" z oznako priznanega tradicionalnega poimenovanja.

Tipičen kraški proizvod, temno rdeče barve, sladek, mehek, včasih bogat z začimbami, z vsebnostjo alkohola manj kot 17°. Nastal je v prejšnjem stoletju, ko so zaradi nezmožnosti pridobivanja likerjev proizvajali "liker črnega vina", pri čemer so poleg vina teran uporabljali vedno razpoložljive sestavine, kot so začimbe in žganje, kar je dejansko omogočilo čim daljše ohranjanje tega vina, ki se težko stara.

### **Čarobnost Jamarja, kraški jamski sir**

Jamar je eden najbolj izvirnih in ustvarjalnih simbolov Krasa. Gre za edinstven, zelo poseben izdelek, ki temelji na mleku krav, ki se pasejo s senom kraške gmajne. Zori v 70 metrov globoki kraški jami, kjer sta temperatura in vlažnost skozi vse leto konstantni. Rezultat je poltrd sir, drobljiv, včasih z modrimi plesnimi, z intenzivno in obstojno aromo, ki spominja na okolje, v katerem je zorel, tj. na jamo. Značilen okus Jamarja združuje dišave mleka in dobi močne pikantne odtenke. Postrežen je odličen v kombinaciji z lokalnim medom, v kuhinji pa se poda k različnim domislicam in daje jedem poseben, odločilen in edinstven okus.

### **Kraški med**

Cvetlični med na kraškem območju Furlanije-Juljske krajine izvira

predvsem iz nektarja številnih zelnatih rastlin, ki jih najdemo na kraških gmajnah, temu se pridruži nektar nekaterih grmovnic in dreves. Kras ima namreč zaradi svoje geografske lege in podnebnih razmer edinstveno rastlinsko sestavo trav, detelj, zelišč, gozda in grmovja, ki zagotavljajo pestro in bogato čebeljo pašo, kar se odraža v posebni, polni in živahni aromi medu ter intenzivni barvi.

V geoparku je dejavnih približno sto čebelarjev, večinoma majhnih ali srednje velikih, ki imajo na območju skupaj približno tisoč panjev. Značilen je rešeljikov med PAT (Prodotti Agroalimentari Tradizionali - Tradicionalni živilski izdelki), ki se pridobiva iz nektarja rešeljike (*Prunus mahaleb*), grma, ki raste na karbonatni podlagi tržaškega in obsoškega Krasa.

Na splošno je kraški mešani cvetlični med, če je pridelan v prvi polovici pomladi, tekoč, z grenko aromo rešeljike. Če je pridelan pozneje, daje nektar različnih zelnatih metuljnic medu nežno aromo; običajno ostane dolgo tekoč in je bolj ali manj temno jantarne barve. Včasih je lahko kristaliziran zaradi prisotnosti lipovega nektarja.

### **Zdravilna zelišča Krasa**

Kras je območje, bogato z naravnimi viri, vendar skalnato in apnenčasto, z malo obdelovalnimi površinami in podnebjem, na katerega vplivajo tako sredozemski kot alpski vplivi. Te značilnosti skupaj z morfologijo planote nekako spodbujajo

veliko biotsko raznovrstnost in prisotnost sredozemskih vrst, vključno s številnimi zdravilnimi rastlinami.

Iz njih lahko izdelujemo začimbe, zeliščne soli, poparke in zeliščne čaje, eterična olja, naravna mila in mazila z zeliščnimi izvlečki.

### **Dolina Glinščice: med geologijo in človekovimi proizvodi**

Neobičajna degustacija tipičnih izdelkov na bregovih reke Glinščice, ki jo spremljajo razlage geologa in čarobnosti kraške narave. Po kratkem sprehodu do Naravnega rezervata doline Glinščice boste prišli do kamnitih kril, ki jih je zgladila voda, na bregu reke v enem najbolj edinstvenih kanjonov na svetu. Tu boste odkrili čarobnost in zgodovino, legende o dolini Glinščice, geološke značilnosti območja ob avtohtonih kraških vinih DOC in ekstra deviških oljčnih oljih, pridelanih na tem območju. Naravni zvoki in topla svetloba sončnega zahoda spremljajo bosonogo vstopanje v vodo Glinščice, ki je hkrati preprosto in zelo drugačno doživetje.

#### *7.3.2 Kolo in kolesarske geopoti*

V drugi kategoriji produktov so kolesarske geopoti, ki jih je zasnovala Geološka služba Dežele FJK, in dolga kolesarska pot Bora, ki je še vedno v fazi opredelitve.

### **Kolesarske geopoti**

Gre za štiri poti, ki jih je zasnovala Geološka služba Dežele FJK in ki promovirajo raznolikost in posebnost

geoloških značilnosti geoparka Kras. Razlikujejo se po dolžini in težavnosti:

- prva teče okoli Doberdobskega jezera,
- druga vodi do Devinskega klifa, reke Timave, Devina-Nabrežine in njenih dinozavrov,
- tretja nam ponuja vožnjo med jamaми v bližini Devina-Nabrežine,
- četrta in zadnja poteka med dolino Glinščice in krajem Dolina.

Načrte poti je mogoče prenesti z institucionalne strani Avtonomne dežele Furlanije-Julijske krajine na strani, namenjeni geologiji in geodiverziteti (<https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVFG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA08/>), z bodoče spletne strani za promocijo ozemlja ter z institucionalne strani Geoparka Kras: na zemljevidih je mogoče videti okrepčevalnice, prenočišča in druge podporne storitve, ki so vzdolž poti.

### 7.3.3 Kulturne poti in geoprodukti

Geoprodukti s kulturno tematiko so številni; to so "delavnice", posvečene geodiverziteti, ki jih včasih organizirajo centri za obiskovalce (Gradina, Bazovica in dolina Glinščice) in najpomembnejše geotočke, enostavne izletniške poti s poudarkom na lepotah kraške pokrajine, rastlinstva in živalstva, ali doživetja, ki nas približajo najbolj značilni kraški kulturi in tradiciji.

Navedene so nekatere že predlagane povezave:

- Tabor v Repentabru, od gradišča do utrdbe iz 15. stoletja, z geotočko "Re-

pentabsrke stene".

- Izviri reke Timave, svetega kraja, ki ga zaznamujejo ostanki Diomedinega templja in prisotnost gotske cerkve, posvečene svetemu Ivanu, geotočka z enakim imenom.
- Rilkejeva pot: Rainer Maria Rilke, klif in površinski kraški pojavi.
- Kras v zgodovini, sledi, ki jih je pustil človek: od prazgodovine s pastirskim obiskovanjem jam, do gradišč (utrjenih mest) in sledovi bitk iz prve svetovne vojne.
- dolina Glinščice: geološke, naravoslovne in zgodovinske poti.
- Nabrežinski kamnolomi: zgodovina kamnoseštva od Rimljanov do danes, s prehodom v habsburško industrializacijo 19. stoletja.

### 7.3.4 Dejavnosti na prostem in geoprodukti

Skupna značilnost te skupine geoproduktov je aktivno in dinamično raziskovanje geotočk ter neštete možnosti, ki jih ponuja geopark Kras in so prilagojene tudi potrebam športnikov ali bolj aktivnih in dinamičnih obiskovalcev, kot so treading po geopoteh in speleološka izkušnja v Briškovski jami.

### 7.3.5 Dogodki in geoprodukti

Med geoprodukte lahko uvrstimo tudi nekaj uspešnih letnih dogodkov, pohodniških na eni strani in kulturnih na drugi, ki so izvorni zaradi geoloških značilnosti Krasa, kot sta Teden geoparka in Teden planeta Zemlja.

## 7.4 Produkti "prijatelji geoparka"

Produkti "prijatelji geoparka" dopolnjujejo že tako bogato in razvejano geoturistično ponudbo. Ne pozabimo, da izdelki "prijatelji geoparka" odražajo vrednote geoparka, vendar nimajo posebne geološke konotacije. Tudi tu uporabljamo dvojno klasifikacijo, ki jih razlikuje glede na uporabnost in obseg, ki v bistvu razvija dve temi: enogastronomsko in kulturno. Kot primer je opisano nekaj produktov:

### 7.4.1 Enogastronomija

#### **Druga vina iz avtohtonih sort grozdja: malvazija in vitovska**

Kamnite površine, težave tal pri zadrževanju vode, ki prodre v podtalje, in skromni sloj prsti tvorijo matični terroir, na katerem nastajajo vina s kompaktno in globoko barvo, intenzivnimi in raznolikimi aromami, mineralnimi okusi, dobro strukturo in izrazito dolgega obstoja.

Zdi se, da so malvazijo ali "istrsko malvazijo", ki se goji na območju DOC Carso - Kras, prinesli Benečani. To je suho, nearomatično belo vino. Je zelo vsestransko in se ga lahko neguje na razne načine: od svežega vina, ki gre samo skozi nerjaveče jeklo, do vina, ki je starano v lesenih sodih. Zelo je primerno za pridelavi penečih vin in je verjetno najboljše, če je macerirano. V ustih je elegantno, suho, zelo pikantno in s prijetnim mandljevim zaključkom. Če je vinificirano belo, lahko nosu ponuja elegantne

cvetlične in aromatične vonje. Če je macerirano, se sprostijo arome zrelega rumenega sadja, začimb, balzamičnih not in zelišč.

Vitovska je danes kraljica Krasa: prestižno vino, ki je na teh tleh prisotno že od nekdaj, skrito v stoletjih kmečke kulture. Je avtohtona bela sorta grozdja, ki je nastala s spontanim križanjem malvazije in druge avtohtone sorte grozdja, sorte glera. Z dolgim procesom prilagajanja in selekcije je vitovska dosegla svoje sedanje značilnosti in je sposobna prenašati sunke burje skozi mrzle zime in sušo v vročem obdobju. Okus je suh, z mandljevim priokusom, zelo mineralen in pikanten. Če je vinificirano belo, lahko nosu ponudi elegantne sadne vonjave in aromatične zeliščne okuse. Če je macerirano, se sprostijo arome zrelega rumenega sadja, divjega cvetja in sena.

#### **Ekstra deviško oljčno olje belice**

Belica je eden od številnih kultivarjev (različic) oljke. Njeni listi imajo spiralno obliko, ki naj bi se skozi zgodovino oblikovala s prilagajanjem podnebjju, kjer občasno piha burja. Olje, stisnjeno iz oljk belice, ima danes velik nacionalni in mednarodni ugled, pred nekaj leti pa je bilo zaščiteno z ZOP Tergeste. Edinstvenost tega oljčnega olja in njegove nedvomne organoleptične lastnosti ga uvrščajo med visokokakovostne proizvode z nekaterimi značilnostmi: visokim deležem oleinske kisline in visoko vsebnostjo polifenolov (antioksidan-

tov) ter izjemno nizko vsebnostjo kislin. Z organoleptičnega vidika je olje v nosu močno sadno, v okusu pa ima značilno noto grenkobe in pikantnosti.

### **Kraški pršut**

Gre za surovino, ki izhaja iz naravnih in podnebnih značilnosti Krasa, tradicije in prenosa znanja. Po tradicionalnem receptu se suši najmanj devet mesecev, dokler zaradi posebnega kraškega podnebja z burjo ne dozori in pridobi značilno konsistenco, barvo, vonj in okus. Kraško podnebje se odraža tudi v drugih značilnih lokalnih suhomesnatih izdelkih: svinjski vrat, panceta, salama itd.

### **Sir istrsko-kraških ovc**

Sir iz mleka avtohtonih istrsko-kraških ovc, ki jih pastir vsak dan pelje na pašo na kraško gmajno. Skrb za žival in njena zdrava prehrana dajejeta mleku in posledično ovčjemu siru, posebne in visoko cenjene lastnosti. Dišave v siru izvirajo iz trav, ki jih pasejo ovce, tj. pašniku z veliko raznolikostjo rastlinstva, za katerega so značilni naravni elementi okolja: pokrajina, izpostavljenost soncu in vetru ter morski vetrič.

Mleko dajejo ovce istrsko-kraške pasme, ki verjetno izvira iz avtohtone

*Slika 7.5 Vinska klet na Krasu  
(foto: F. Vidoz)*



Slika 7.6 Kraške mesnine (foto: D. Balbi)



populacije na Krasu v severovzhodni Italiji. V 17. stoletju so jo križali z ovčami z Balkana, ki so na območje istrskega Krasa prišle skupaj s prebivalci Morlakije. Razširjena je na kraških planotah v Julijski krajini, Sloveniji in na Hrvaškem.

### **Osmice**

Osmiza je neposredna prodaja lokalnih vin (teran, vitovska, malvazija) in tipičnih izdelkov (jajca, klobase, salame in sir) v prostorih in kletah proizvajalcev (slika 7.7).

Gre za tradicijo, ki zagotovo sega v čas Marije Terezije, čeprav se zdi, da nekateri dokumenti pričajo o njenem obstoju že v srednjem veku, vendar je bila takšna prodaja kmetom prvič

odobrena leta 1784 s posebnim cesarskim odlokom, ki ga je izdal Jožef II Habsburški. Dovoljenje za prodajo je trajalo osem zaporednih dni ali večkratnik osmih dni skozi vse leto, od tod tudi etimologija besede osmica.

Ta odlok je kmetom omogočal, da so sami določili časovni okvir in cene, potem ko so na vidnem mestu ob cesti in na hiši namestili vejico bršljana (slika 7.8), sicer so bili kaznovani. Šopek bršljana se uporablja še danes.

### 7.4.2 Kulturne poti

#### **Pot žajblja**

Sprehod po slikoviti poti od Križa do Nabrežine, do začetka spusta po Ribiški poti, popolna kombinacija narave in aromaterapije. Pot poteka s pogledom na morje, po kraškem robu, in je zaščitena pred mrzlo burjo, svoje ime pa dolguje domačemu žajblju (*Salvia officinalis*), sredozemski zelnati rastlini, ki v Deželi Furlaniji-Julijski krajini najde ugodne mikroklimatske pogoje za svoj razvoj le na tržaški obali.

Slika 7.7 Tipična osmica (foto: F. Bieker)



---

## 8. PREGLED ZAKONOV

Definicija pojma geoparka na spletni strani Nacionalnega seznama geoloških najdišč pri Višjem inštitutu za varstvo okolja in okoljske raziskave (ISPRA):

Mednarodno priznan geopark je prostor s posebno geološko dediščino in strategijo trajnostnega razvoja. Njegove meje morajo biti natančno opredeljene in pokrivati mora dovolj obsežno območje, da je omogočen učinkovit gospodarski razvoj takšnega predela.

Geopark mora vključevati določeno število geoloških najdišč posebnega pomena glede znanstvene kakovosti, redkosti, estetskega pomena in izobraževalne vrednosti. Večina najdišč na območju posameznega geoparka mora spadati v geološko dediščino, vendar morajo biti tudi arheološkega, prirodoslovnega, zgodovinskega in kulturnega pomena.

Najdišča na območju geoparka morajo biti povezana v mrežo, zanje morajo biti zagotovljeni tudi zaščitni ukrepi ter vodenje. Za geološke najdbe iz geoparka ni sprejemljiva nikakršna oblika uničevanja ali njihove prodaje. Območje, opredeljeno kot geopark, morajo voditi natančno opredeljene službe, sposobne zagotavljati zaščito, valorizacijo in udejanjanje politik trajnostnega razvoja v lastnem prostoru.

Geopark ima aktivno vlogo pri gospodarskem razvoju v svojem prostoru, zagotavljati mora tudi pozitivne vplive na življenjske razmere tamkajšnjih prebivalcev in okolje.

Referenčni deželni predpisi v Furlaniji-Juljski krajini, ki urejajo delovanje vodnikov po naravi ter geološko in speleološko dediščino:

V skladu z **Deželnim zakonom št. 2 z dne 16. januarja 2002:**

»Ureditev turističnih poklicev in poklicev s področja kongresnega turizma«, 3. odstavek 112. člena: je vodnik po naravi oziroma izletniško-okoljski vodnik, kdor se poklicno, vendar ne nujno izključno oziroma trajno, ukvarja z vodenjem posameznikov oziroma skupin po zaščiteneh območjih oziroma drugih okoljih naravne vrednosti, vključno z urejenimi najdišči oziroma muzejskimi objekti oziroma razstavnimi prostori, povezanimi z navedenimi okolji in opisuje vidike, povezane z naravno vrednostjo, krajinske, okoljske in etnografske vidike, ki se nanašajo na določen prostor.

113. člen določa, da: je za opravljanje dejavnosti turističnega spremljevalca in vodnika po naravi oziroma izletniško-okoljskega vodnika v Deželi Furlaniji – Julijski krajini potreben vpis v poklicne sezname turističnih vodnikov, turističnih spremljevalcev, vodnikov po naravi oziroma izletniško-okoljskih vodnikov pri Deželni direkciji za trgovino, turizem in terciarni sektor, ki so v nadaljevanju imenovani poklicni sezname.

2. Vpis v poklicne sezname lahko zahteva oseba, ki ima dokazilo o opravljenem preskusu znanja iz 114. člena oziroma izpolnjuje pogoje po 3. odstavku 115. člena.  
3. Vpisanim v poklicno združenje se izda identifikacijska izkaznica in ustrezeni razpoznavni znak z značilnostmi in na načine, kot so opredeljeni s sklepom Deželnega odbora, objavljenim v Uradnem listu Dežele.

### **Deželni zakon Avtonomne Dežele Furlanije-Julijske krajine 15/2016 s področja varstva in valorizacije deželne geološke in speleološke dediščine**

Konec leta 2016 je Deželni odbor sprejel Deželni zakon 15/2016 s področja »varstva in valorizacije deželne geološke in speleološke dediščine«.

Z navedenim zakonom je bil spremenjen predhodno veljavni predpis (Deželni zakon 27/1966), zlasti na področju raziskav, zaščite in ohranjanja geoloških najdišč, jam, kraških sistemov in jamskega živalskega sveta ter kakovosti kraške površinske krajine, ki je značilna za območje Dežele.

Zakon zlasti upošteva Priporočilo Rec(2004)3, ki ga je sprejel Odbor ministrov Sveta Evrope 5. maja 2004 o ohranjanju geološke dediščine in območij posebnega geološkega pomena. Poleg tega zakon priznava vlogo naravnih oziroma umetnih jam na področju znanja in ohranjanja speleološke dediščine ter razvoja turizma v prostoru.

### **Deželni zakon št. 15 z dne 14. oktobra 2016:**

Določila za varovanje in valorizacijo geološke raznolikosti, geološke in speleološke dediščine ter kraških območij najprej navajajo splošna določila, nato pa v II. razdelku določila za zaščito in valorizacijo geološke dediščine:

## I. RAZDELEK SPLOŠNE DOLOČBE

### 1. člen (Cilji)

1. Dežela Furlanija – Julijska krajina v okviru svojih pristojnosti zagotavlja ohranjanje in valorizacijo deželne geološke in speleološke dediščine, brezen, kraških območij in tamkajšnjih vodonosnikov, ob upoštevanju področnih državnih načel in določil ter načel in določil Evropske unije, zlasti Priporočila Rec(2004)3, ki ga je sprejel Odbor ministrov Sveta Evrope 5. maja 2004 o ohranjanju geološke dediščine in območij posebnega geološkega pomena.

2. Za namene po 1. odstavku Dežela:

- a) priznava obstoj javnega interesa za varstvo in valorizacijo deželne geološke in speleološke dediščine za poudarjanje okoljskih, znanstvenih, kulturnih, gospodarskih in krajinskih vrednot, ki jih vključuje,
- b) priznava specifičnost kraških območij in obstoj strateške vrednosti ter javnega interesa za zaščito kraških vodonosnikov,
- c) ustanovi in posodablja deželni kataster deželnih geoloških najdišč in geoparkov ter deželni kataster jam,
- d) spodbuja preučevanje, raziskave in spremljanje geološke ter speleološke dediščine, tudi za preučevanje človekovega vpliva na naravno okolje,
- e) spodbuja seznanjanje javnosti in javno koriščenje ob hkratni zaščiti dediščine ter učni in turistični rabi geološko in speleološko zanimivih krajev,
- f) spodbuja strokovno in kulturno izobraževanje jamarjev na področju neprofesionalnih organizacij.

### 2. člen (Pojmi)

1. Za namene po tem zakonu imajo spodaj navedeni pojmi naslednji pomen:

a) geološka raznovrstnost: raznolikost oziroma specifičnost geoloških značilnosti prostora, vključno s kamninami in usedlinami, oblikami in procesi v geološkem, geomorfološkem, hidrogeološkem, paleontološkem, mineraloškem in pedološkem smislu,

b) geološka dediščina: kraji, geološka najdišča oziroma geološke posebnosti, če predstavljajo pomembno pričevanje o zgodovini in razvoju Zemlje ter njene

geološke raznovrstnosti,

c) geološko najdišče, imenovano tudi geološki pojav oziroma odličnost oziroma geološka, geomorfološka, hidrogeološka, paleontološka, mineraloška in pedološka posebnost: nahajališče, območje ali prostor v podzemlju ali na površini z geološkimi, geomorfološkiimi, hidrogeološkimi, paleontološkimi, mineraloškiimi in pedološkimi značilnostmi, ki so v posebnem interesu in so pomembne za razumevanje zgodovine in razvoja Zemlje,

d) geopark: območje z natančno opredeljenimi mejami, kjer sta prisotni posebna geološka dediščina in strategija trajnostnega razvoja,

e) speleološka dediščina: skupek jam, ki opredeljujejo kraške sisteme in samo za izvajanje tega zakona tudi umetne jame,

f) kraško območje: predel, ki ga sestavljajo topne kamnine, izpostavljene pojavu zakrasovanja, v katerih je površinska hidrografija omejena, v podzemlju pa se nahajajo značilni kraški sistemi; za kraška območja so na površju tipične oblike, kot so na primer kotanje, doline, škraplje, vrtače, ponori in požiralniki ter kraški izviri,

g) kraški pojav: jamska in površinska morfologija, nastala z zakrasovanjem,

h) kraški sistem: kompleks jamskih in površinskih kraških oblik, ki so organsko in funkcionalno medsebojno povezane ter so deloma ali v celoti zapolnjene z vodo,

i) jama: deloma ali v celoti zaprta kraška podzemna vdolbina naravnega izvora takšne velikosti, da je za človeka dostopna, z linearnim potekom nad 5 metrov,

j) kraški vodonosnik: podzemeljsko vodno zajetje, ki poteka skozi prepustne kamnite masive in je nastalo z razpokami, drobljenjem oziroma zakrasovanjem, za katerega je značilno območje vertikalnega prenosa, ki ni zapolnjeno z vodo, in območje vodoravnega prenosa, ki je zapolnjeno ali delno zapolnjeno,

k) umetna votlina: podzemno okolje, ki ga je ustvaril človek in ima posebno zgodovinsko, arheološko, geomineraloško oziroma naravno vrednost,

l) turistična jama ali turistična votlina: naravna ali umetna votlina, s katero se upravlja v turistične namene in ima nadzorovan dostop, znotraj katere potekajo naravne ali umetne poti z vso potrebno opremo in fiksnimi tehničnimi napra-

vami, potrebnimi za zagotavljanje varnosti obiskovalcev v skladu z veljavnimi področnimi predpisi,

m) ponor: ozko globoko grlo, vklesano v kamnino s subvertikalnimi ali pokončnimi stenami, ki ga je izdelal hudournik in je rezultat erozivno-korozivnega delovanja, za katerega obstaja interes za njegovo raziskovanje in za turistično-rekreativno dejavnost,

n) speleologija (jamarstvo) in z njim povezane dejavnosti: skupek dejavnosti, namenjenih ugotavljanju, raziskovanju, preučevanju, dokumentiranju in učnemu seznanjanju z naravnimi in kulturnimi pojavi, ki jih je mogoče opazovati v jamah na kraških območjih, kjer obstajajo, in za namene po tem zakonu tudi v umetnih jamah.

(1)

Opombe:

1 Besede, dodane pod črko c) 1. odstavka iz črke a) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

## II. RAZDELEK

### DOLOČILA ZA VARSTVO IN VALORIZACIJO GEOLOŠKE DEDIŠČINE

#### 3. člen

*(Deželni kataster geoloških najdišč in regionalnih geoparkov)*

- 1.** Ustanovljen je Deželni kataster deželnih geoloških najdišč in geoparkov (CaR-Geo) pri deželni službi, pristojni za področje geologije, ki vodi navedeni kataster.
- 2.** CaRGeo je razdeljen, kot sledi:
  - a) elektronski kataster geoloških najdišč,
  - b) elektronski kataster deželnih geoparkov,
  - c) poseben seznam geoloških najdišč posebnega pomena.
- 3.** V vsakem od sestavnih delov CaRGeo so navedeni identifikacijski podatki, obseg deželnih geoloških najdišč in geoparkov ter vsi drugi podatki, navedeni v pravilniku iz 6. člena.
- 4.** Deželna služba, pristojna za področje geologije, potrjuje skladnost pogojev, predvidenih s pravilnikom iz 6. člena:
  - a) identifikacijske podatke, vključno s starimi ledinskimi imeni in obsegom deželnih geoloških najdišč in geoparkov,
  - b) dokumentacijo, potrebno za valorizacijo in upravljanje z deželnimi geološkimi najdišči in geoparki.
- 5.** Raziskava lokacije in predhodna opredelitev območja deželnih geoloških najdišč in geoparkov potekata na podlagi tehnično-znanstvenega preučevanja območij geološkega, geomorfološkega, hidrogeomorfološkega, paleontološkega, mineraloškega in pedološkega pomena.
- 6.** V posebnem seznamu geoloških najdišč posebnega pomena iz črke c) 2. odstavka so opredeljena geološka najdišča, ki imajo specifično vrednost in pomen za razumevanje zgodovine in razvoja Zemlje za zagotavljanje varstva in valorizacije takšnih najdišč.
- 7.** Območne službe, službe parkov, raziskovalni instituti, pristojna poklicna združenja in društva, aktivna na okoljskem področju, lahko Deželi predlagajo, katera deželna geološka najdišča in geoparki naj se vstavijo v CaRGeo.
- 8.** Sezname deželnih geoloških najdišč in geoparkov, vključenih v razdelke iz 2. odstavka ter njihove posodobitve, potrjuje deželna služba, pristojna za področje geologije. Ustrezna odločba se objavi v uradnem listu Dežele in na njeni uradni spletni strani ter posreduje zainteresiranim občinam, ki poskrbijo za ustrezno objavo takšnih seznamov.
- 9.** Podatki predstavljajo informacijski sloj Prostorskega geološkega informa-

cijskega sistema (SITGeo).

#### 4. člen

*(Določila za varstvo geoloških najdišč)*

**1.** Dostop do geoloških najdišč je prost, ob nespremenjeni veljavi pravic lastnikov in tretjih oseb ter ob upoštevanju morebitnih prepovedi in omejitev, predvidenih z bolj restriktivnimi določili.

**2.** Za namene po tem zakonu je prepovedano:

- a) uničevati, poškodovati, pokvariti oziroma kaziti geološka najdišča,
- b) spreminjati vodni režim z izvajanjem izkopov, odkopov in zapolnjevanjem z zemljino na geoloških najdiščih posebnega pomena iz črke c) 2. odstavka 3. člena,
- c) spreminjati morfologijo terena na geoloških najdiščih iz črke c) 2. odstavka 3. člena,
- d) odstranjevati in spreminjati elemente, ki so značilni za geološko najdišče.

**3.** Na geoloških najdiščih ni dovoljeno:

- a) odpirati novih kamnolomov,
- b) postavljati linij za predelavo in odstranjevanje odpadkov oziroma izvajati bistvenih variant obstoječih linij,
- c) uporabljati blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu na podlagi Zakonske uredbe št. 99 z dne 27. januarja 1992 (izvedbeni predpis za Direktivo 86/278/EGS o varstvu okolja, zlasti tal, kadar se blato iz čistilnih naprav uporablja v kmetijstvu).

**4.** Pristojni organ lahko na podlagi predhodnega mnenja deželne službe, pristojne za geologijo, dovoli izjeme glede na določila črk b), c) in d) 2. odstavka in 3. odstavka za izvedbo del v kolektivnem interesu. V ta namen predlagatelj deželni službi, pristojni za področje geologije, predloži projekt za izvedbo del z geološkim poročilom, ki opisuje vplive takšnih del na geološko najdišče.

(1)

**5.** Deželna služba, pristojna za področje geologije, izdaja odločbe, namenjene preprečevanju, uničevanju, poškodovanju, predruženju in kazenju geoloških najdišč, ter dodatne specifične predpise s področja varstva geoloških najdišč na podlagi črke c) 2. odstavka 3. člena in odločbe v primeru posebne potrebe po zaščiti.

**Opombe:**

1Besede, črtane v 4. odstavku iz črke b) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

## 5. člen

*(Določila za upravljanje deželnih geoloških najdišč in geoparkov)*

1. Dežela skrbi za spremljanje stanja na področju ohranjanja geoloških najdišč.
2. Če se geološka najdišča nahajajo znotraj zaščitenih naravnih območij, so upravljavci takšnih območij zadolženi za valorizacijo in upravljanje skladno z načeli valorizacije deželnih geoloških najdišč in geoparkov, navedenimi v pravniku iz 6. člena.
3. Deželna služba, pristojna za področje geologije, odobri projekt valorizacije in upravljanja deželnih geoloških najdišč in geoparkov, ki ga na podlagi dokumentacije iz 4. odstavka 3. člena predložijo ustanove iz 2. odstavka in drugi upravljavci.
4. Pri upravljanju vsakega deželnega geoparka sodeluje diplomiran univerzitetni geolog.
5. Če območje geoparka spada v naravna zaščitena območja v skladu z Deželnim zakonom št. 42 z dne 30. septembra 1996 (Predpisi s področja deželnih parkov in naravnih rezervatov) oziroma v območja znotraj mreže Natura 2000, mora na sejah strokovno-znanstvenega odbora za zaščitena območja iz 8. člena Deželnega zakona 42/1996 v posvetovalni vlogi sodelovati tudi univerzitetni diplomiran geolog.

## Člen 5 bis

*(Mreža v službi geološke raznovrstnosti)*

(1)

1. Pri deželni službi iz 1. odstavka 3. člena se ustanovi Mreža za ohranjanje geološke raznovrstnosti, za vrednotenje geološke dediščine in geološke raznovrstnosti geomorfološko homogenih območij.
2. Mrežo za geološko raznovrstnost tvorijo javni subjekti, ki promovirajo dejavnosti iz 1. odstavka in zastopajo lokalne ustanove na podlagi sporazumov, sklenjenih med posameznimi strankami.

**3.** Javni subjekti, ki promovirajo dejavnosti iz 1. odstavka, tvorno sodelujejo z deželno službo, pristojno za področje geologije za namene promocije deželne geološke dediščine, kot je predvideno v 18. členu.

**4.** Sezname geomorfološko homogenih območij in z njimi povezanih subjektov, ki skrbijo za promocijo, se odobrijo z odlokom direktorja deželne službe, pristojne za področje geologije, in se objavijo v uradnem listu Dežele ter na njeni uradni spletni strani in pošljejo zainteresiranim občinam, ki poskrbijo za ustrezno objavo.

**Opombe:**

1Člen, dodan iz črke c) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

**6. člen**

*(Pravilnik za varstvo in zaščito geološke dediščine)*

**1.** Z Deželnim pravilnikom, odobrenim na podlagi predhodnega mnenja pristojne komisije Deželnega sveta, ob upoštevanju tega razdelka in skladno s pogoji Nacionalnega seznama geoloških najdišč pri Višjem inštitutu za varstvo okolja in okoljske raziskave (ISPRA) in UNESCO Global Geoparks (UGG), so urejeni pogoji, povezani z:

- a) vsebino in načini upravljanja CaRGeo skladno s 3. členom,
- b) opredeljevanjem deželnih geoloških najdišč in geoparkov skladno s 3. in 4. odstavkom 3. člena,
- c) vnosom geoloških najdišč v poseben seznam geoloških najdišč posebnega pomena v skladu s črko c) 2. odstavka 3. člena,
- d) valorizacijo in upravljanjem deželnih geoloških najdišč in geoparkov ter merili, s katerimi mora biti usklajena z njimi povezana dokumentacija iz 4. odstavka 3. člena.

(1)

**Opombe:**

1Besede, nadomeščene v 1. odstavku iz črke d) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

V **RAZDELKU III** zakon vsebuje: DOLOČILA S PODROČJA KRAŠKIH OBMOČIJ IN KRAŠKIH VODONOSNIKOV

**7. člen**

*(Raziskava lokacij in opredelitev kraških območij ter kraških vodonosnikov)*

**1.** Deželna služba, pristojna za področje geologije, sprejema merila za določanje kraških območij, tamkajšnjih kraških vodonosnikov, kraških izvirov, območij polnjenja kraškega vodonosnika in določa njihovo kasnejše opredeljevanje z ustreznim odlokom, objavljenim v uradnem listu Dežele in na njeni uradni spletni strani, ki se posreduje zainteresiranim občinam, katere poskrbijo za objavo na ustrezne načine.

**2.** Za namene iz 1. odstavka Dežela v okviru kraških območij opredeli naslednja območja:

a) območja, kjer prihaja do razširjenega utoka oziroma dele ozemlja, kjer je na površju prisotna kamnina, na kateri poteka zakrasovanje, ki je lahko pokrita z drobirskimi usedlinami, prekritimi z rastlinjem,

b) območja skoncentriranega pronicanja oziroma dele teritorija, za katere je značilna prisotnost gole kamnine, na kateri poteka zakrasovanje na površju oziroma prisotnost površinskih kraških morfoloških oblik, ki pogojujejo način pronicanja vode v podzemni svet, kot so doline, ponori, polja, vrtače oziroma suhe doline,

c) kraške izvire oziroma območja, kjer se nahajajo izviri v kraškem sistemu, iz katerih prihaja del vodnega vira; izvire lahko predstavljajo tudi jame, napolnjene z vodo.

**3.** Za namene po 1. in 2. odstavku Dežela pridobiva informacije geološkega, geomorfološkega, hidrogeološkega, okoljskega in krajinskega značaja, ki vključujejo tudi potek kraških vodonosnikov v območju, če so ti raziskani, stopnjo njihove ranljivosti in sosednja območja ponovnega polnjenja, ki niso kraška območja.

**4.** Podatki predstavljajo informacijski sloj Prostorskega geološkega informacijskega sistema (SITGeo).

## **8. člen**

*(Določila za varstvo kraških območij in kraških vodonosnikov)*

**1.** Dežela opredeli ukrepe, namenjene zagotavljanju varstva kraških območij in tamkajšnjih vodonosnikov, območij, iz katerih se polni podtalnica, njihovih naravnih in umetnih pojavov ter območij hidrogeoloških zalog, tudi v okviru

Načrta za varstvo voda (PRTA) iz 121. člena Zakonske uredbe št. 152 z dne 3. aprila 2006 (Predpisi z okoljskega področja) oziroma v okviru načrtov za upravljanje porečij (hidrografskih bazenov) iz člena 13 Direktive 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike.

**2.** Dežela lahko spodbuja sklepanje nadnacionalnih in nadregionalnih dogovorov ter sodelovanj za preučevanje in optimalno upravljanje z obsežnejšimi kraškimi območji.

**3.** Za varstvo kraških območij in tamkajšnjih vodonosnikov ni dovoljeno postavljati:

a) linij za predelavo in odstranjevanje odpadkov v kraških območjih s koncentriranim pronicanjem in v območju kraških izvirov,

**b) odlagališč nevarnih in nenevarnih odpadkov iz 4. člena Zakonske uredbe št. 36 z dne 13. januarja 2003 (Izvedbeni predpis za Direktivo 1999/31/ES s področja odlagališč odpadkov) na kraških območjih z razširjenim pronicanjem vode.**

IV. RAZDELEK vsebuje določila o varstvu in valorizaciji speleološke dediščine in brezen ter vsebuje tudi »prepovedi«, ki morajo biti upoštevane:

## 9. člen

*(Deželni speleološki kataster)*

1. Pri pristojni deželni službi, določeni na podlagi Pravilnika o organizaciji deželne uprave iz 3. člena Deželnega zakona št. 18 z dne 27. marca 1996 (Reforma za zaposlene v deželni upravi pri izvajanju temeljnih načel gospodarsko-socialne reforme na podlagi Zakona št. 421 z dne 23. oktobra 1992), se uvede deželni speleološki kataster (CSR). Navedena služba skrbi za vodenje katastra.

2. CSR sestavljajo naslednji posamezni deli:

a) seznam jam,

b) seznam umetnih votlin,

c) seznam turističnih jam in turističnih votlin.

3. Za namene po tem zakonu se ustanovi ločen del CSR, v katerega se vpisujejo brezna.

4. Pri vsakem delu CSR se navedejo identifikacijski katastrski, topografski, krajevnoimenski in metrični podatki za posamezne elemente dediščine v skladu z 2. odstavkom. Poleg tega se v njem navedejo morebitni razpoložljivi

podatki geološkega, speleološkega, morfološkega, favnističnega, rastlinskega in arheološkega tipa ter tisti, povezani s koriščenjem in varstvom ter vsi drugi koristni podatki, navedeni v deželnem pravilniku. Podatki, vsebovani v deželnem katastru jam iz 3. člena Deželnega zakona št. 27 z dne 1. septembra 1966 (Predpisi v dopolnitev Državnega zakona št. 1497 z dne 29. junija 1939, za varstvo speleološke dediščine Dežele Furlanije-Julijske krajine), so vneseni v del iz črke a) 2. odstavka.

5. Seznam jam iz črke a) 2. odstavka predstavljajo pododdelki, ki opisujejo geološki, hidrogeološki, paleontološki, biološki, arheološki, etnografski, zgodovinsko-kulturni in krajinski pomen v zvezi z navedenimi jamami.

6. Sezname iz 2. in 3. odstavka in z njimi povezane posodobitve sprejema deželna služba iz 1. odstavka z odločbo, ki se objavi v uradnem listu Dežele in na njeni uradni spletni strani, ki se pošlje tudi zainteresiranim občinam, katere poskrbijo za objavo na ustrezne načine.

## 10. člen

*(Določila s področja varstva speleološke dediščine in brezen)*

1. Dostop do speleološke dediščine je prost, pri čemer lastniki in tretje osebe ohranjajo svoje pravice. Hkrati veljajo morebitne prepovedi ter omejitve, predvidene z restriktivnejšimi določili.

2. Za namene po tem zakonu je v jamah prepovedano:

- a) uničevati, mašiti in poškodovati kraške pojave oziroma trajno spremeniti njihovo morfologijo,
- b) puščati odpadke in izlirati odpadne tekočine vseh vrst v skladu z Zakonsko uredbo 152/2006,
- c) povzročati trajne okoljske spremembe in zlasti spreminjati vodni režim oziroma ogroziti funkcionalnost ekosistema,
- d) spuščati sledilne snovi v vode, razen v primerih študijskih dejavnosti na podlagi predhodnega obvestila deželni službi iz 1. odstavka 9. člena, pri čemer je treba izpolnjevati morebitne dodatne obveznosti,
- e) odnašati kapnike, pri čemer je možno zbiranje iz dokazano študijskih razlogov na podlagi predhodnega obvestila deželni službi iz 1. odstavka 9. člena,
- f) odnašati paleontološke oziroma arheološke najdbe v skladu z II. razdelkom četrtega dela Zakonskega odloka št. 42 z dne 22. januarja 2004 (Zakonik s področja kulturne in krajinske dediščine v skladu z 10. členom Zakona št. 137 z dne 6. julija 2002).

3. Za namene po tem zakonu za brezna veljajo prepovedi iz črk a), b) in c) 2. odstavka.
4. Prepovedi iz 2. odstavka ne veljajo za spremembe, potrebne za namene reševanja. Prepovedi iz črke a) 2. odstavka ne veljajo za nujno potrebne spremembe za izvajanje raziskav in ustreznega vzorčenja v študijske namene.
5. Za namene posodabljanja CSR mora biti v primeru, da se pri izvajanju kakršnihkoli del odkrije jama ali umetna votlina, o najdbi v desetih dneh obveščena deželna služba iz 1. odstavka 9. člena.
6. Deželna služba iz 1. odstavka 9. člena izdaja odločbe, s katerimi se prepreči uničenje, zapiranje, poškodovanje, predruženje in kazenje jam.

## **11. člen**

*(Določila s področja upravljanja s speleološko dediščino)*

1. Dežela skrbi za spremljanje stanja ohranjanja speleološke dediščine.
2. S sklepom Deželnega odbora se lahko opredelijo jame v pomembnejšem javnem interesu za izvajanje ukrepov iz tretjega dela Zakonske uredbe št. 42/2004.
3. Za zagotavljanje ustreznega varstva jam iz 2. odstavka je za vsako uporabo, razen jamarske dejavnosti, potrebna predhodna odobritev pristojne deželne službe iz 1. odstavka 9. člena oziroma upravljavec parkov na območju v njihovi pristojnosti, pri čemer je treba predložiti projekt za koriščenje, opremljen z ustreznim poročilom, v katerem je opisan vpliv predvidenih dejavnosti.
4. Iz razlogov v javnem interesu lahko Dežela za zagotavljanje dostopa do jam uvede služnostno pravico prostega prehoda.
5. V deželnih parkih in na sosednjih območjih lahko upravljavec zaščitene območja dovoli dostop, izvajanje raziskav, raziskovanje jam in morebitno odstranitev zapor v raziskovalne ali znanstvene namene, če so takšne dejavnosti predhodno urejene v pravilniku posameznega zaščitene območja oziroma v načrtu za njegovo ohranjanje in razvoj.
6. O zaprtju vhodov v jamo se poda predhodno obvestilo deželni službi iz 1.

odstavka 9. člena, skupaj s poročilom, v katerem je opisan takšen poseg. Navedena služba lahko v tridesetih dneh predpiše ustrezna določila, potrebna za zaščito podzemnega okolja. Zaprtje vhodov v jamo iz utemeljenih varnostnih razlogov se lahko sporoči deželni službi iz 1. odstavka 9. člena tudi po izvedbi takšnih del, v vsakem primeru pa najkasneje v tridesetih dneh od izvedbe.

7. Odprtje novih turističnih jam iz črke l) 1. odstavka 2. člena in njihovo uporabo v gospodarske, turistične in zdravstvene namene predhodno odobrijo deželna služba iz 1. odstavka 9. člena oziroma upravljavci parkov na območju v svoji pristojnosti, pri čemer je treba predložiti projekt koriščenja in mu priložiti poročilo z opisom vpliva predvidenih dejavnosti. Ob nespremenjeni veljavi arheoloških, naravovarstvenih, krajinskih oziroma drugih omejitev je za pridobitev dovoljenja in izvedbo del treba spoštovati druge področne predpise.

8. Vsaka dejavnost v zvezi s turističnimi jamami iz črke l) 1. odstavka 2. člena se lahko izvaja ob upoštevanju načela trajnostnega razvoja iz člena 3 quater Zakonske uredbe 152/2006. Postavitev stalnih poti, kot so podzemne zavarovane plezalne poti in stalne lestve v jamah, ki niso vključene v opredelitev črke l) 1. odstavka 2. člena, je urejena na podlagi izvedbenega pravilnika iz 15. člena.

## **11. člen**

*(Določila s področja upravljanja s speleološko dediščino)*

1. Dežela skrbi za spremljanje stanja ohranjanja speleološke dediščine.
2. S sklepom Deželnega odbora se lahko opredelijo jame v pomembnejšem javnem interesu za izvajanje ukrepov iz tretjega dela Zakonske uredbe št. 42/2004.
3. Za zagotavljanje ustreznega varstva jam iz 2. odstavka je za vsako uporabo, razen jamarske dejavnosti, potrebna predhodna odobritev pristojne deželne službe iz 1. odstavka 9. člena oziroma predhodno mnenje upravljavcev parkov na območju v njihovi pristojnosti, pri čemer je treba predložiti projekt za koriščenje, opremljen z ustreznim poročilom, v katerem je opisan vpliv predvidenih dejavnosti.  
(1)
4. Iz razlogov v javnem interesu lahko Dežela za zagotavljanje dostopa do jam uvede služnostno pravico prostega prehoda.

**5.** V deželnih parkih in na sosednjih območjih lahko upravljavec zaščitene območja uredi dostop, raziskave, raziskovanje jam in morebitne odstranitve zapora za namene raziskav oziroma v znanstvene namene.

(2)

**6.** O zaprtju vhodov v jamo se poda predhodno obvestilo deželni službi iz 1. odstavka 9. člena, skupaj s poročilom, v katerem je opisan takšen poseg. Navedena služba lahko v tridesetih dneh predpiše ustrezna določila, potrebna za zaščito podzemnega okolja. Zaprtje vhodov v jamo iz utemeljenih varnostnih razlogov se lahko sporoči deželni službi iz 1. odstavka 9. člena tudi po izvedbi takšnih del, v vsakem primeru pa najkasneje v tridesetih dneh od izvedbe.

**7.** Odprtje novih turističnih jam iz črke l) 1. odstavka 2. člena in njihovo uporabo v gospodarske, turistične in zdravstvene namene je možno s predhodno odobritvijo deželne službe iz 1. odstavka 9. člena oziroma s predhodnim mnenjem upravljavcev parkov na območju v svoji pristojnosti, pri čemer je treba predložiti projekt koriščenja in mu priložiti poročilo z opisom vpliva predvidenih dejavnosti. Ob nespremenjeni veljavi arheoloških, naravovarstvenih, krajinskih oziroma drugih omejitev je za pridobitev dovoljenja in izvedbo del treba spoštovati druge področne predpise.

(3)

**8.** Vsaka dejavnost v zvezi s turističnimi jamami iz črke l) 1. odstavka 2. člena se lahko izvaja ob upoštevanju načela trajnostnega razvoja iz člena 3 quater Zakonske uredbe 152/2006 .

**9.** Postavitev stalnih poti, kot so podzemne zavarovane plezalne poti in stalne lestve v jamah, ki niso vključene v opredelitev črke l) 1. odstavka 2. člena, je urejena na podlagi izvedbenega pravilnika iz 15. člena.

### **Opombe:**

1Besede, nadomeščene v 3. odstavku iz številke 1) črke e) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

25. odstavek nadomeščen s številko 2) črko e) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

37. odstavek nadomeščen s številko 3) črko e) 1. odstavka 17. člena Deželnega zakona 9/2019

### 15. člen

*(Pravilnik za varstvo in valorizacijo speleološke dediščine in brezen)*

1. Z Deželnim pravilnikom, sprejetim na podlagi predhodnega mnenja pristojne komisije Deželnega sveta, so na podlagi izvajanja določila tega razdelka urejeni:

- a) organizacija, vsebina, načini upravljanja in posodabljanja CSR iz 9. člena,
- b) nadaljnji identifikacijski podatki za dediščino, vneseno v CSR na podlagi izvajanja 4. odstavka 9. člena,
- c) dodatni poddeli jam na podlagi izvajanja 5. odstavka 9. člena,
- d) merila in načini za uporabo snovi za sledenje voda v jamah v študijske namene na podlagi izvajanja črke d) 2. odstavka 10. člena in za ustrezno vzorčenje v študijske namene na podlagi izvajanja 4. odstavka 10. člena,
- e) merila in načini za zaprtje vhodov v jame in za dostop do zaprtih jam na podlagi izvajanja 6. odstavka 11. člena,
- f) odprtje novih turističnih jam ter merila in parametri za izdelavo projektov za koriščenje turističnih jam, združljivih z načelom trajnostnega razvoja na podlagi izvajanja 7. in 8. odstavka 11. člena,
- g) merila in načini za postavitve stalnih poti v neturističnih jamah na podlagi izvajanja 9. odstavka 11. člena.

### 18. člen

*(Dejavnosti za promocijo geološke dediščine)*

1. Dežela skrbi za ohranjanje geološke dediščine, spodbuja ustanavljanje in vzdrževanje deželnih geoparkov z vidika trajnostnega razvoja območja, promovira sestavo projektov za poznavanje in odgovorno koriščenje ter učno uporabo deželnih geoloških najdišč in geoparkov ter za trajnostni razvoj deželnih geoparkov.

2. Za namene po 1. odstavku je Deželna uprava, tudi na podlagi dodelitve prispevkov oziroma na podlagi upravnega pooblastila za sodelovanje med več subjekti v skladu s členom 51 bis Deželnega zakona št. 14 z dne 31. maja 2002 (Ureditev javnih del), pooblaščen za:

- a) podpiranje študijske in raziskovalne dejavnosti oziroma dejavnosti, namenjene seznanjanju z znanjem za ugotavljanje, določanje značilnosti in promocijo deželnih geoloških najdišč ter geoparkov,
- b) promocijo turističnega koriščenja deželnih geoloških najdišč in geoparkov,
- c) postavitve izletniških poti na območjih z visoko vrednostjo glede geološke raznovrstnosti oziroma tam, kjer so prisotna geološka najdišča,
- d) pripravo in tiskanje materiala za seznanjanje s tem področjem, tudi v

elektronski obliki in objav, namenjenih turističnemu koriščenju geoloških najdišč in izletniških poti na območja večje vrednosti glede geološke raznovrstnosti oziroma tam, kjer so prisotna geološka najdišča,

e) izvedbo promocijskih dogodkov za dejavnosti iz črk a), b), c) in d),

f) spodbujanje izvajanja pobud, povezanih z geološko dediščino,

g) podporo pri izvedbi ukrepov za valorizacijo in vzdrževanje deželnih geoloških najdišč in geoparkov.

(1)

**2 bis** Z deželnim pravilnikom so urejeni roki in načini za predložitev prošenj za dodelitev sredstev na podlagi 2. odstavka in merila ter načini za dodelitev prispevkov ter za poročanje o izdatkih ob upoštevanju Deželnega zakona 7/2000 .

(2)

### **Opombe:**

1Besede, dodane v 2. odstavku od črke a) 15. odstavka 4. člena Deželnega zakona 13/2019

2Odstavek 2 bis, dodan od črke b) 15. odstavka 4. člena Deželnega zakona 13/2019

## **19. člen**

*(Ukrepi za promocijo speleološke dediščine in razvoj jamarstva)*

**1.** Dežela spodbuja poznavanje, odgovorno koriščenje in uporabo speleološke dediščine v učne namene ter speleološke raziskave.

**2.** Za namene iz 1. odstavka je Deželna uprava, tudi na podlagi odobritve sredstev jamarskim društvom in skupinam, vpisanim na seznam iz 14. člena, ki zasledujejo cilje, povezane z nameni po tem zakonu, pooblaščen, da:

a) finančno spodbuja raziskave, tudi tako, da podpira nakup jamarskih instrumentov in opreme, spodbuja znanstvene raziskave, študije in objave v zvezi z jamami na podlagi tega zakona,

b) podpira raziskave, izdelavo dokumentacije in popis jam za posodabljanje dela a) v CSR,

c) promovira organizacijo posvetov in pobud za seznanjanje s tem področjem za napredek in varnost jamarskih dejavnosti ter spodbuja delovanje služb, ki podpirajo jamarsko dejavnost.

(1) (5)

**3.** Z deželnim pravilnikom so urejeni pogoji in načini za pridobivanje sredstev iz

2. odstavka. Upravičeni so tudi izdatki, kriti pred predložitvijo vloge za odobritev sredstev, če so kriti v istem koledarskem letu.

(2)

**3 bis** Za namene po 1. odstavku in za izvedbo pobud za vrednotenje in promocijo speleološke dediščine in kraških območij, tudi čezmejnih, Deželni odbor objavlja razpise za dodelitev sredstev osebam javnega ali zasebnega prava v skladu s 3. odstavkom 36. člena Deželnega zakona 7/2000 .

(3)

**3 ter** Z razpisi iz odstavka 3 bis so urejeni roki in načini za predložitev vlog za prispevek ter pogoji in načini za odobritev sredstev ter za poročanje o izdatkih ob upoštevanju Deželnega zakona 7/2000 .

(4)

**Opombe:**

1Besede, dodane pod črko c) 2. odstavka iz črke a) 5. odstavka 4. člena Deželnega zakona 24/2016

2Besede, dodane v 3. odstavku od črke a) 5. odstavka 4. člena Deželnega zakona 24/2016

3Odstavek 3 bis, dodan od črke c) 15. odstavka 4. člena Deželnega zakona 13/2019

4Odstavek 3 ter, dodan od črke c) 15. odstavka 4. člena Deželnega zakona 13/2019

5Besede, dodane v 2. odstavku od črke b) 3. odstavka 4. člena Deželnega zakona 25/2020

Za podrobnejše informacije:

<http://www.regione.fvg.it>

## 9. KARTA IN SEZNAM GEOLOŠKIH TOČK

ID Geol. Točke	Geološka Točka	Tip <sup>1</sup>	Pomen <sup>2</sup>	Opis
1	Paleontološko najdišče blizu Polazza	GP	REG	Zelenkasto-sivi ploščati apnenci, za katere je značilna prisotnost številnih fosilov grebenskih rib in v manjši meri fosilov kopenskih rastlin in plazilcev.
2	Jama Kraljica Krasa-Regina del Carso (CSR2328/4760VG)	GM	REG	Je največja jama v severozahodnem delu Krasa. Bogata je s sigami ter se razteza v smeri J-S s skoraj konstantnim naklonom.
3	Doberdobsko jezero	H	INT	Doberdobsko jezero je eno redkih kraških jezer v Italiji. Pokriva dno polja in se nahaja v izjemnem kraškem okolju, za katerega so značilne številne estavele. Skupaj z bližnjim Prelosnim jezerom (Pietrarossa) predstavlja pokrajino, ki se spreminja z višino vodne gladine.
4	Termalni vrelec Monfalcone-Tržič: terme	H	REG	Vroča voda (danes okoli 40°C) iz apnenčastega vodonosnika, ki se se nahaja globoko pod površjem, pride na dan ob prelomnici in skozi kraške kanale. Kot termalna kopališča so jo občasno uporabljali že Rimljani in so od leta 2014 znova v uporabi.
	Termalni vrelec Monfalcone-Tržič: jama Pozzo del Lisert (CSR4808/5608VG) /5608VG)	H	REG	Nedostopna jama ob termah, na dnu katere je topla voda.

5	Timavo - Izviri Timave	H	INT	Izviri Timave so del obsežnega izvirskega območja Krasa. Voda po 30-40 km dolgi podzemni poti, ki ponikne v Škocjanske jame, pride na dan v štirih izvirih le dobra 2 km od Jadranskega morja, in ustvari fascinantno okolje, poznano že od antičnih časov.
	Timavo - Jama Timave (CSR1844/4583VG)	GM, H	REG	Je del tako imenovanega sklopa izvirov Timave - sistema pretežno poplavljenih jam, ki so jih raziskali jamski potapljači.
	Timavo - Jama Pozzo dei colombi di Duino (CSR215/VG227)	GM, H	REG	Okno v kompleksu izvirov Timave, ki omogoča dostop do potopljenih prehodov do globine 91 m pod morsko gladino.
	Timavo - Jama Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko (CSR2305/4737VG (LAJ))	GM, H	REG	Jama pripelje do gladine podzemne Reke/Timave.
	Timavo - Jama Labadnica-Grotta di Trebiciano (CSR3/17VG)	GM, H	NAT	Jama pripelje do gladine podzemne Reke/Timave.

<sup>1</sup> G – geološki, GM – geomorfološki, GP – geološki/paleontološki, GT – geološki/tektonski, H – hidrogeološki

<sup>2</sup> INT – mednarodni, NAT – nacionalni, REG – regionalni, LOC – lokalni

6	Dinozavri Ribiškega naselja (Villaggio del Pescatore)	GP	INT	V nekdanjem kamnolomu so našli izjemna popolna okostja hadrozavrov. To so ena od redkih popolnih okostij dinozavrov, najdenih v Italiji, in predstavljajo svetovni unikum zaradi izjemne narave njihove ohranjenosti in dejstva, da so bile najdbe anatomske povezane.
7	Obalni kraški izviri	H	REG	Manjši sladkovodni izviri ob morski gladini; nahajajo se blizu Ribiškega naselja (Villaggio del Pescatore), vzdolž Nabrežinske obale, pri Brojenci, slednji so nekoč delno služili za vodovod za Trst.
8	Podmorski kraški izviri	H	REG	Izviri sladke vode pod morsko gladino, na obalnem pasu do Ribiškega naselja (Villaggio del Pescatore) do Sesljana in na območju Nabrežinske obale.
9	Devinske stene	GM	INT	Klif doseže višino 90 m in se razteza od Seljanskega zaliva do devinskega pristanišča v dolžini približno 1500 metrov. Selektivna erozija in korozija sta oblikovali navpične apnenčaste plasti in stolpe ter ustvarili fascinantno pokrajino.
	Zajeda pri Devinskih stenah	GM	NAT	Med Devinom in Sesljanom leži potopljena biokorozijska zajeda na globini med -2,5 m in -1,3 m.
10	Dol (Dolina del Principe)	GM	LOC	Velika skoraj okrogla udornica na pobočju grebena med Piciganiščem in Grmado.

21	Kamnolom Slivenske breče	G	LOC	Opuščen kamnolom, v katerem najdemo večbarvno apnenčasto brečo.
22	Škraplišče pri Šempolaju (San Pelagio) in jami Lindner (CSR829/3988VG)	GM	REG	Izmenični pasovi kraških kamnitih tal (grize) in apnenčastih pobočij z drobnimi površinskimi korozijskimi oblikami, ki nastajajo na rahlo nagnjenih čistih apnencih.
23	Paleontološko najdišče v jami Pečina pod kalom-Caverna Pocala (CSR173/91VG)	GP	REG	Zaščitena jama, v kateri so našli številne ostanke pleistocenskih živali, vključno s številnimi kostmi jamskega medveda ( <i>Ursus speleus</i> ) ter nekaj artefaktov.
24	Rimski kamnolom Aurisina-Nabrežina	G	NAT	Površinski in podzemni kamnolomi za pridobivanje posebno trdnih in estetsko dragocenih naravnih kamnov, komercialno imenovanih "marmor", so delovali že v rimskih časih.
25	Udornica Pečina v Rubijah (Grotta Noè) (CSR23/90VG)	GM	REG	Velika okrogla odprtina v stropu pretežno subhorizontalne jame.
26	Udornica Baratro dei cavalli	GM	LOC	Območje več udornic, med katerimi Riselce in Baratro dei cavalli, slednja je asimetrična udornica s strmimi robovi in navpičnimi stenami.
27	Olistoliti Gradu Miramar	G	REG	Olistostroma, ki jo sestavljajo apnenčasti bloki (olistoliti), kaotično vdelani v peščenjake in glinavce fliša.

28	Kras pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante)	GM	INT	Tipično območje za površinsko in podzemno geomorfologijo italijanskega kraškega območja: jama zelo velike velikosti, več velikih in globokih vrtač, prostrano škrapljišče, brezstrobe jame in jame z ostanki iz prazgodovine.
	Kras pri Briščikih - Briškovska jama - Grotta Gigante - (CSR2/2VG)	GM	INT	Med vsemi turističnimi jamami na svetu ima Grotta Gigante - Briškovska jama najprostornejšo dvorano (600.000 m <sup>3</sup> , dolžino 130 m, višino 110 m in širino 65 m).
	Kras pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante) - Škrapljišče	GM	NAT	Obsežen apnenčast izdanek vzdolž vzhodnega in severnega roba vrtače Školudnjek, s številnimi drobnimi kraškimi površinskimi oblikami (škavnice, škraplje različnih oblik, zlebiči, kanali...).
	Kras pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante) - jama Grotta della Tartaruga (CSR1688/4530VG)	GM	LOC	Jama, v kateri so bili najdeni ostanki, ki jih je mogoče pripisati zgornjemu paleolitiku.
	Kras pri Briščikih (Borgo Grotta Gigante) - Brezstropa jama	GM	REG	Vijugasta subhorizontalna brezstropa jama, ki je bila izpostavljena površju s postopnim raztapljanjem in zniževanjem apnenčastega nadkritja jame (denudacija).
29	Potapljanje kenozojske karbonatne platforme: konglomerati	G	LOC	Več plasti karbonatnega konglomerata označuje vrh karbonatne platforme iz numulitno-alveolinskega apnenca. Sledijo laporovci in glinasti apneneci, ki pričajo o hitrem poglobljanju sedimentacijskega okolja in pogreznju karbonatne platforme.

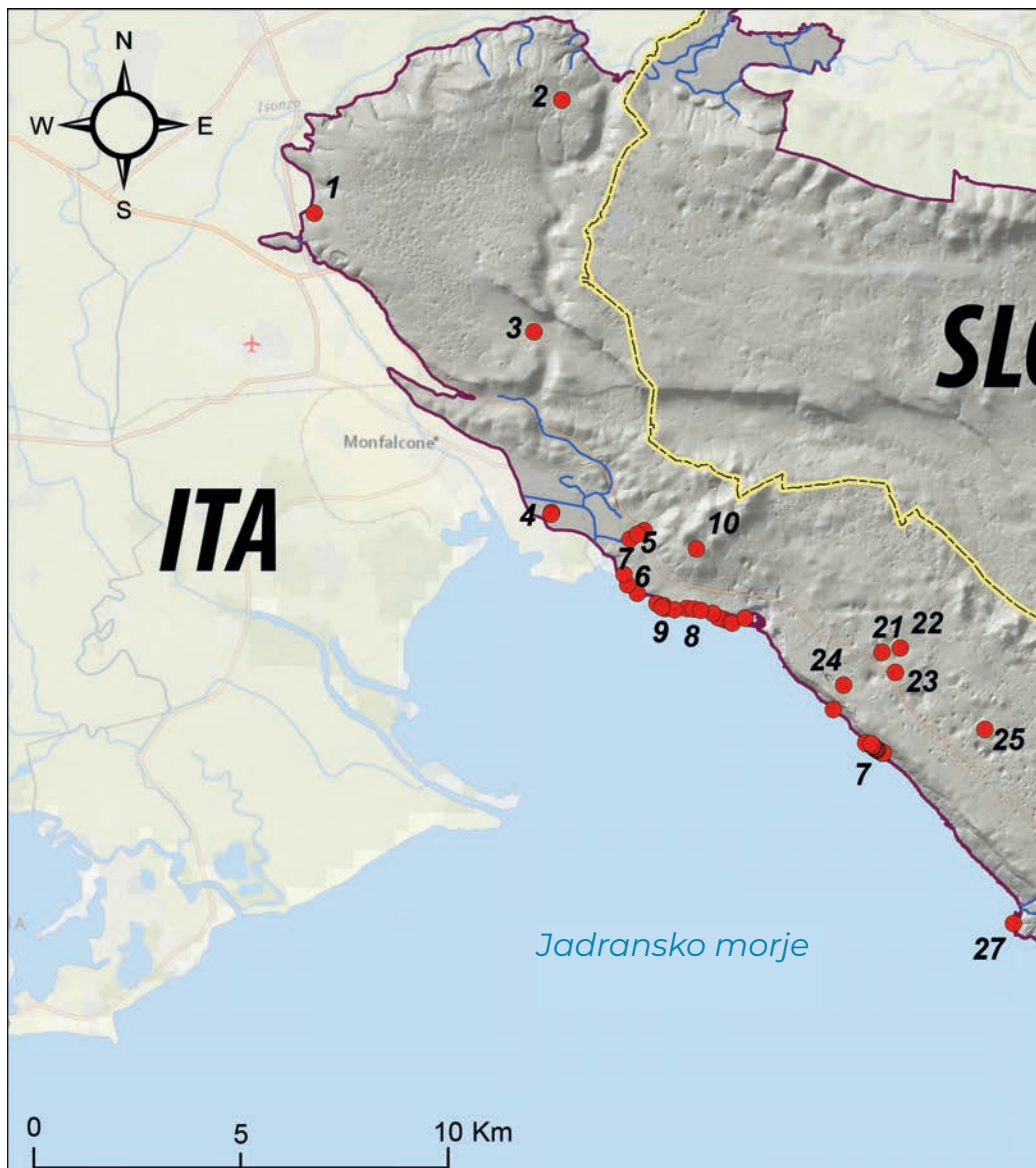
30	Rezidualni bloki (hum) pri Repentabru	GM	NAT	Posamični izolirani bloki, neme priče starodavnega kraškega površja.
40	Dihalniki v zaledju Timave: Jama Pozzo presso il Casello ferroviario di Ferneti (CSR104/87VG (CFF))	GM, H	LOC	Dihalniki kažejo na večje jamske prostore z nihajočo podzemno vodo.
	Dihalniki v zaledju Timave: Jama Luftloch (CSR7477/6442VG (LUF))	GM, H	LOC	Dihalniki kažejo na večje jamske prostore z nihajočo podzemno vodo.
	Dihalniki v zaledju Timave: Vrtača Dolina dei sette nani (DSN)	H	LOC	Dihalniki kažejo na večje jamske prostore z nihajočo podzemno vodo.
41	Škrapljišča in žlebiči pri Prčendolu	GM	LOC	Vzhodno od Prčendolske kotline se na subhorizontalnih plasteh apnenca pojavljajo številne kraške skalne oblike, kot so škvavnice, škraplje in žlebiči.
42	Brezno Abisso della volpe (CSR100/155VG)	GM	LOC	Deset metrov široko in 181 metrov globoko samostojno brezno.
48	Jama Claudio Skilan (CSR5070/5720VG)	GM	REG	Eden največjih, najglobljih ter kompleksnih jamskih sistemov na tržaškem Krasu.
56	Vrtača Črbenjak pri Jezeru (San Lorenzo)	GM	REG	Velika vrtača s položnimi pobočji nastala z raztapljanjem.
57	Slepa dolina pri Gročani (Grozana)	GM	REG	Med vasema Gročana in Pesek je slepa dolina z obdelanim dnom.

58	Dolina Glinščice (Val Rosandra)	GM	INT	Dolina Glinščice predstavlja kompleksno geološko točko z raznolikimi geološkimi in geomorfološkimi pojavi: kraška rečna dolina z globoko sotesko, katere morfologija pobočij se spreminja glede na tektonske in litološke danosti, pogoste so kompleksne jame v več nivojih. Predstavlja edinstven primer površinske hidrografije na kraškem ozemlju.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra)- Potopljenena kenozojska karbonatna platforma: laporovci	G	LOC	Številni izdanki apnenčastih laporovcev in laporastih apnencev, znani tudi kot „fukoidni laporji“, ki ležijo med flišem ter alveolinsko-numulitnim apnencem.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Fessura del Vento (CSR930/4139VG)	GM	NAT	Jama, dolga približno 2,6 km v pobočju Stene.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Grotta delle Gallerie (CSR290/420VG)	GM	NAT	Jama, ki se je razvila v apnenčastem pobočju Stene, na desni strani hudournika Glinščica. Je pomembno arheološko najdišče.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Grotta Gualtiero Savi (CSR5080/5730VG)	GM	NAT	Jama, dolga približno 4 km v pobočju Stene.

58	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Grotta dei Pipistrelli (CSR527/2686VG)	GM	NAT	Majhna jama v pobočju Stene.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Grotta Martina Cucchi (CSR4910/5640VG)	GM	NAT	Jama, dolga približno 1 km v pobočju Stene.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Jamski sistem Stene - Grotta Ferroviaria (CSR1435/4352VG)	GM	NAT	Majhna jama v pobočju Stene.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Hudourniški slap Glinščice	GM	REG	Približno 30 metrov visok slap preko subvertikalnega preloma, nizvodno od stika med flišem in apnencem.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - paleo plaz	GM	LOC	Plaz, ki vsebuje okoli 40 metrov debel, približno 200 metrov širok in 250 metrov visok apnenčast blok.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Hudourniška soteska Glinščice	GM	REG	Globoka dolina dolžine približno 1300 metrov s številnimi meandrirajočimi koriti in erozijskimi lonci.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Izvir Bukovec	H	REG	Majhen izvir, ki odvaja kondenzacijsko vodo iz nad njim ležečega grušča.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Prelom Crinale (Počivenca)	GT	LOC	Prelom, ki pogojuje morfologijo severne strani hriba Kras.

58	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - aluvialni sedimenti in pobočni grušči	G	LOC	Aluvialni sedimenti, prepleteni s pobočnim gruščem, dokazujejo zapleten razvoj doline in podnebne spremembe.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Izviri pri Boljucu, Jama - Antro di Bagnoli (CSR76/105VG)	H	REG	Kraški izvir na kontaktu subvertikalnih plasti Alveolinsko-numulitnih apnencev in fliša.
	Dolina Glinščice (Val Rosandra) - Medvedja jama - Caverna degli Orsi (CSR5075/5725VG)	GM	LOC	Zaščiten jama z najdiščem kosti jamskega medveda ( <i>Ursus spelaeus</i> ).

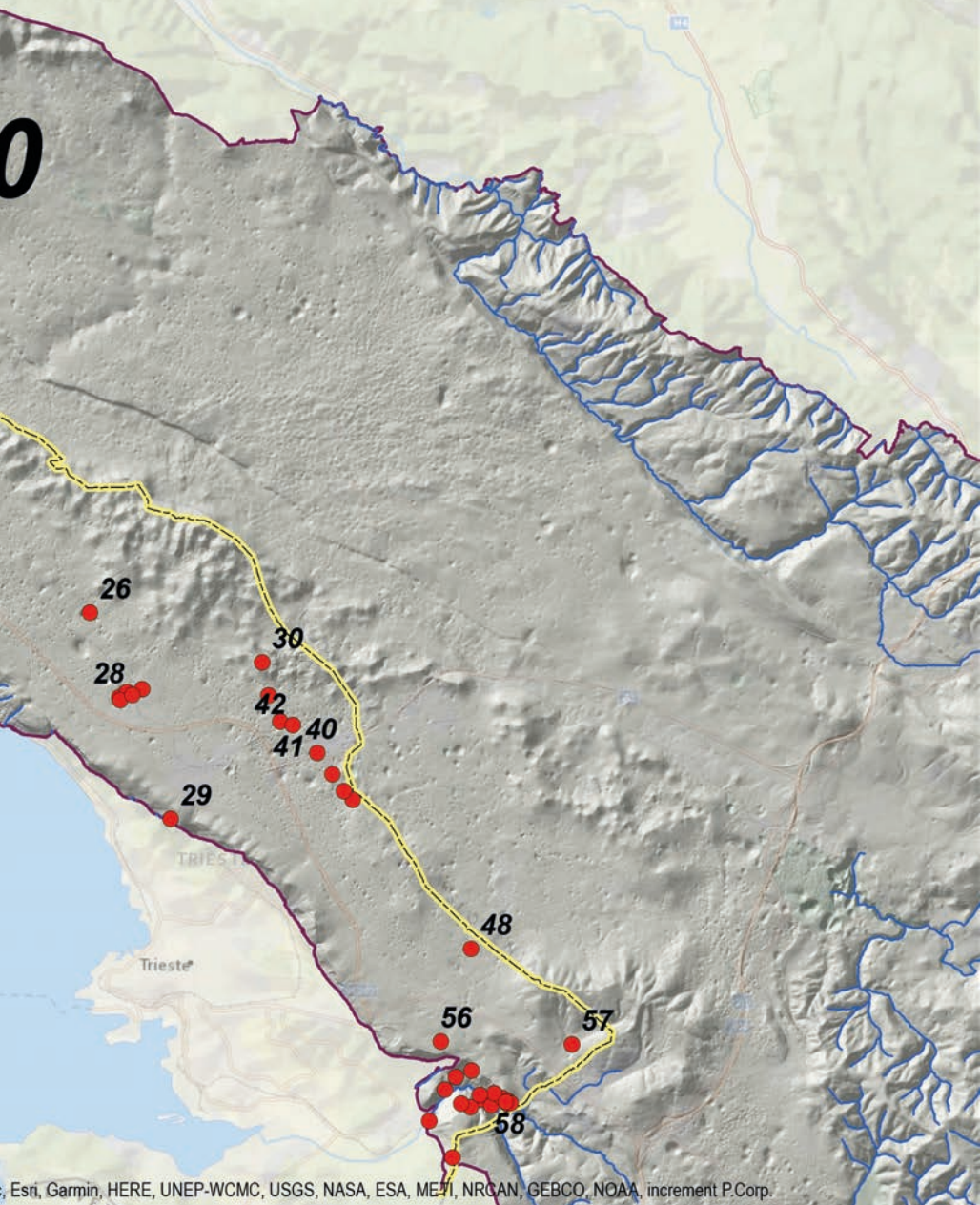




## Legenda

- Geološke točke
- Državna meja
- Površinski vodotoki
- Območje geoparka

# ZEMLJEVID GEOLOŠKIH TOČK NA ITALIJANSKEM MATIČNEM KRASU



---

# KAZALO

- 1 **UVOD** (Franco Cucchi)
  
- 2 **GEOLOGIJA** (Lorenzo Bonini, Marco Franceschi)
  - 2.1 **Geološki čas**
  - 2.2 **Tektonika plošč**
  - 2.3 **Orogenski ciklus in Wilsonov ciklus**
  - 2.4 **Prelomi in gube**
  - 2.5 **Razvoj orogena**
  - 2.6 **Sedimentne kamnine**
    - 2.6.1 Terigene in karbonatne kamnine
    - 2.6.2 Razlikovanje med apnenci in dolomiti
    - 2.6.3 Opazovanje sedimentnih kamnin na terenu in osnove za njihovo razvrščanje
  - 2.7 **Geologija Krasa**
    - 2.7.1 Stratigrafija
    - 2.7.2 Kaj nam pove stratigrafsko zaporedje Krasa
    - 2.7.3 Kraške stratigrafske enote
  - 2.8 **Strukturna razčlenitev Krasa**
    - 2.8.1 Konvergenca: dinarska orogeneza
    - 2.8.2 Kras v geološkem času: potovanje v preteklost
- Bibliografija in druga referenčna besedila**
  
- 3 **GEOMORFOLOGIJA** (Franco Cucchi)
  - 3.1 **Kras**
  - 3.2 **Geomorfologija Krasa**
    - 3.2.1 Geomorfologija površja
      - Geneza in razvoj površinskih kraških oblik
      - Italijanski matični Kras

- 
- 3.2.2 Podzemna geomorfologija  
Geneza in razvoj podzemnih kraških oblik
  - 3.2.3 Jamarske raziskave

**Bibliografija in druga referenčna besedila**

**4 HIDROGEOLOGIJA** (Luca Zini)

**4.1 Splošni hidrogeološki koncepti**

- 4.1.1 Poroznost in prepustnost
- 4.1.2 Coniranje vodonosnika
- 4.1.3 Vodonosniki
- 4.1.4 Podzemno kroženje vode  
Izviri
- 4.1.5 Hidrogeologija kraških vodonosnikov  
Prispevno zaledje in epikras  
Vadozna cona  
Zasičena cona
- 4.1.6 Klasifikacija kraških sistemov  
Sistemi z dominantnim odtokom  
Sistemi z medsebojno odvisnimi odtoki  
Disperzijski obtočni sistemi

**4.2 Vodonosnik matičnega Krasa**

- 4.2.1 Polnjenje vodonosnika
- 4.2.2 Notranjska Reka-Timava
- 4.2.3 Izviri  
Hidrodinamika vodonosnika

**Bibliografija in druga referenčna besedila**

- 
- 5        **GEOPESTROST** (Furio Finocchiaro, Chiara Calligaris,  
Chiara Piano)
- 5.1        Koncept**
- 5.2        Geodiverziteta italijanskega matičnega Krasa**
- 5.3        Geološka dediščina italijanskega Krasa**  
**Bibliografija in druga referenčna besedila**
- 6        GEOLOŠKE UČNE POTI V GEOPARKU** (Chiara Calligaris)
- 6.1        Učna pot 1: Dolina Glinščice**
- 6.2        Učna pot 2: Od Padrič do Briščikov**  
**Bibliografija in druga referenčna besedila**
- 7        GEOPRODUKTI GEOPARKA** (Fabiana Vídoz)
- 7.1        Opredelitve pojmov**
- 7.1.1      Kaj je geoprodukt?
- 7.1.2      Prijatelji geoparka
- 7.2        Profili obiskovalcev in ciljne skupine geoturizma**
- 7.3        Geoprodukti**
- 7.3.1      Enogastronomija in geoprodukti
- 7.3.2      Kolo in kolesarske geopoti
- 7.3.3      Kulturne poti in geoprodukti
- 7.3.4      Dejavnosti na prostem in geoprodukti
- 7.3.5      Dogodki in geoprodukti
- 7.4        Produkti "prijatelji geoparka"**
- 7.4.1      Enogastronomija
- 7.4.2      Kulturne poti

---

**8** **PREGLED ZAKONOV** (Sara Bensi, Chiara Piano)

**9** **PRILOGA GEOLOŠKE TOČKE: lokacija in opisni seznam geoloških točk v informativne in geoturistične namene**

