



Boris Vakanjac
Vesna Ristić Vakanjac
Tanita Đumić

GEODIVERZITET

OSNOVI GEOLOGIJE U ŽIVOTNOJ SREDINI

UNIVERZITET SINGIDUNUM

FAKULTET ZA ŽIVOTNU SREDINU I ODRŽIVI RAZVOJ

Boris Vakanjac
Vesna Ristić Vakanjac
Tanita Đumić

GEODIVERZITET
- OSNOVI GEOLOGIJE U ŽIVOTNOJ SREDINI -

Prvo izdanje

Beograd, 2020.

GEODIVERZITET

- OSNOVI GEOLOGIJE U ŽIVOTNOJ SREDINI -

Autori:

Prof. dr Boris Vakanjac

Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac

Tanita Đumić, master

Recenzenti:

Prof. dr Zoran Nikić, Šumarski fakultet, Beograd

Prof. dr Zorica Lazarević, Rudarsko - geološki fakultet, Beograd

Izdavač:

UNIVERZITET SINGIDUNUM

Beograd, Danijelova 32

www.singidunum.ac.rs

Za izdavača:

dr Milovan Stanišić

Priprema za štampu:

Miloš Višnjić

Dizajn korica:

Aleksandar Mihajlović

Godina izdanja:

2020.

Tiraž:

300 primeraka

Štampa:

Birograf, Beograd

ISBN: 978-86-7912-718-1

Copyright:

© 2020. Univerzitet Singidunum

Izdavač zadržava sva prava.

Reprodukcija pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

SADRŽAJ



1. Uvod u pojam geodiverziteta	2
1.1 Objekti geodiveziteta koji imaju ekonomsku vrednost	3
1.2 Objekti geodiverziteta koji imaju estetsku i kulturnu vrednost	4
1.3 Objekti geodiverziteta koji predstavljaju opasnost po život na planeti Zemlji	5
2. Geologija i geološke discipline	8
3. Osnovi geološke građe sveta, Balkana i Srbije	16
3.1 Osnovni pojmovi	16
3.2 Uprošćen prikaz geologije sveta	18
3.3 Osnovne geološke građe prostora Balkana i Srbije	24
4. Nastanak kosmosa, sunčevog sistema i planete Zemlje	28
4.1 Teorije o budućnosti svemira	32
4.2 Nastanak elemenata	32
4.3 Relativnost vremena observacije događaja u svemiru	33
4.4 Neke primedbe na teoriju "velikog praska"	34
4.5 Filozofsko-religijska objašnjenja stvaranja svemira	34
4.6 Konstituenti svemira	35
4.6.1 Galaksije i tamna materija	35
4.6.2 Zvezde, neutronske zvezde i crne rupe	36
4.6.3 Magline ili nebule	38
4.6.4 Planete i sateliti	38
4.6.5 Komete	39
4.6.6 Asteroidi	39
4.7 Nastanak sunčevog sistema i planete Zemlje	40
4.8 Osnovne karakteristike Sunčevog sistema	41
4.8.1 Sunce	41
4.8.2 Planete	43
5. Nastanak, struktura i osnovne karakteristike planete Zemlje	50
5.1 Razvoj i struktura planete Zemlje	52
5.2 Objekti blizu Zemlje	54

6. Osnove istorijske geologije	58
6.1 Principi istorijske geologije (stratigrafije)	58
6.2 Metode stratigrafskih istraživanja	59
6.3 Stratigrafska klasifikacija	60
6.4 Istorija planete Zemlje	62
6.4.1 Arhaik	62
6.4.2 Proterozoik	62
6.4.3 Fanerozoik	63
6.4.3.1 Paleozoik (Pz)	63
6.4.3.2 Mezozoik (Mz)	69
6.4.3.3 Kenozoik (Kz)	73
7. Tektonika ploča i osnove strukturne geologije	80
7.1 Opšte o tektonici ploča	80
7.2 Tipovi granica	82
7.3 Superkontinenti	84
7.4 Konvekcijska ćelija	84
7.5 Osnovne informacije o strukturnoj geologiji	86
8. Zemljotresi	90
8.1 Opšti pojmovi o zemljotresima	90
8.2 Podela zemljotresa	91
8.3 Objašnjenje nastanka zemljotresa	93
8.4 Seizmički talasi	93
8.4.1 Tipovi seizmičkih talasa	94
8.4.2 Lociranje zemljotresa	95
8.5 Instrumenti za merenje jačine zemljotresa	95
8.5.1 Intenzitet i magnituda zemljotresa	96
8.5.2 Seizmički momenat	98
8.6 Seizmički hazard	98
8.7 Predviđanja zemljotresa	99
9. Magmatizam i vulkanizam	104
9.1 Magmatske intruzije	105
9.2 Vulkanizam	107
9.3 Neki primeri i raspored vulkana na planeti Zemlji	109
9.4 Vulkanski hazard	112
9.5 Poznate vulkanske erupcije	113

10. Mineralogija	118
10.1 Istorija razvoja mineralogije (i petrologije)	118
10.2 Nastanak prvih minerala	118
10.3 Mineral i kristal	119
10.4 Simetrija kristala i kristalni sistemi	120
10.5 Fizičke osobine minerala	123
10.6 Klasifikacija minerala	124
10.7 Neki karakteristični minerali i njihove osobine od značaja za nauku o životnoj sredini	125
10.7.1 Elementi	125
10.7.2 Sulfidi	126
10.7.3 Halogenidi	127
10.7.4 Oksidi	127
10.7.5 Karbonati	127
10.7.6 Fosfati	128
10.7.7 Silikati	128
10.7.8 Primeri minerala privatne kolekcije B. Vakanjca i R. Kondžulovića	130
11. Petrologija	136
11.1 Opšte informacije i primarna magma	136
11.1.1 Očvršćavanje magme sa prikazom Bovenove šeme kristalizacije	137
11.1.2 Moguć sastav "prve-primordijalne" magme i stene na Zemlji	138
11.2 Metode ispitivanja stena	141
11.3 Podela stena	141
11.3.1 Magmatske stene	141
11.3.2 Sedimentne stene	144
11.3.3 Metamorfne stene	149
11.4 Fotoalbum	151
12. Geomorfološki procesi	158
12.1 Eluvijalni proces	159
12.2 Pluvijalni proces	161
12.3 Padinski procesi	161
12.3.1 Deluvijalni proces	161
12.3.2 Proluvijalni proces	162

12.3.3	Koluvijalni proces	164
12.4	Fluvijalni proces	168
12.5	Glacijalni proces	174
12.6	Marinski proces	178
12.7	Eolski proces	179
13.	Karstni proces	184
13.1	Pojam karsta i karstifikacije	184
13.1.1	Stene u okviru kojih se javlja proces karstifikacije	184
13.1.2	Uloga tektonike i poroznosti u procesu karstifikacije	186
13.1.3	Prisustvo rastvorljive stene i rastvarača	186
13.2	Površinski karstni oblici	188
13.2.1	Površinski mikro oblici	188
13.2.2	Vrtače	189
13.2.3	Uvale	191
13.2.4	Karstna polja	192
13.2.5	Suve rečne doline	194
13.2.6	Prerasti	195
13.2.7	Hidrološke pojave (objekti)	195
13.3	Podzemni karstni oblici	197
13.3.1	Jame	197
13.3.2	Pećine	198
14.	Podzemne vode	204
14.1	Uvod	204
14.2	Raspostranjenost voda na Zemlji	207
14.3	Kruženje vode u prirodi i vodni bilans	209
14.4	Poroznost	212
14.5	Izdan	217
14.5.1	Prihranivanje izdani (podzemnih voda)	223
14.5.2	Kretanje podzemnih voda	224
14.5.3	Dreniranje podzemnih voda	226
14.6	Hidrodinamička zonalnost	230
14.7	Hidrogeološke strukture	231
14.8	Uzajamni odnos površinskih i podzemnih voda	232
14.9	Značaj i održivost podzemnih voda	234
15.	Geološka karta	240
15.1	Timočki magmatski kompleks	244
15.2	Stara Planina	246

16. Geohemijska ispitivanja	250
16.1 Sastav Zemljine kore	251
16.2 Geohemija	252
16.3 Geohemijske sredine	253
16.4 Metode ispitivanja uzoraka	257
16.5 Analiza i prikaz rezultata	260
16.6 Primer geohemijskih ispitivanja na prostoru Arhangaja (zapadna Mongolija)	261
17. Ležišta mineralnih sirovina	268
17.1 Definicija ležišta mineralnih sirovina	269
17.2 Klasifikacija ležišta mineralnih sirovina	271
17.2.1 Genetaska klasifikacija	271
17.2.2 Klasifikacija ležišta mineralnih sirovina po materijalnom sastavu	277
17.2.3 Fosilna goriva	279
17.3 Primeri nekih ležišta mineralnih sirovina	281
17.3.1 Ležište bakra i zlata Majdanpek	281
17.3.2 Ležište urana Dornod (istočna Mongolija)	284
17.3.3 Ležište uglja Kolubarskog basena	287
18. Zemljišta	292
19. Geonasleđe	300
19.1 Nacionalni parkovi Srbije	301
19.1.1 Nacionalni park Fruška gora	301
19.1.2 Nacionalni park Đerdap	302
19.1.3 Nacionalni park Tara	303
19.1.4 Nacionalni park Kopaonik	303
19.1.5 Nacionalni park Šar planina	303
19.2 Geološka baština u Srbiji i svetu	304
19.2.1 Park prirode Stara planina	304
19.2.2 Lecanski andezitski kompleks - Đavolja varoš	306
19.2.3 Ha Long Bay arhipelag	307
19.2.4 Sudžin Tal lokalitet	309
19.2.5 Prirodni park El Torcal de Antequera	313
19.3 Geoparkovi u Evropi	316

1.

UVOD U POJAM GEODIVERZITET



1. UVOD U POJAM GEODIVERZITET

Geodiverzitet je reč poreklom iz engleskog jezika geo-diversity, što bi značilo geološka raznovrsnost. Proučavanje geodiverziteta je usko vezano za grupu geoloških nauka. Geologija je multidisciplinarna, ne samo nauka nego, moglo bi se reći naučna oblast. Nauke koje se po metodologiji i principima veoma razlikuju su uključene u geološka ispitivanja, na primer od elektronske mikroskopije ruda do rekonstrukcije starosti pomoću fosila ili fosilnih ostataka na nekom prostoru.

Geologija se ne uči u srednjim školama kao na primer biologija ili istorija. Generalno ljudi mnogo više znaju o medicini ili sportu nego o geologiji. Uzimajući to u obzir trebalo je prilagoditi pristup, prikaz informacija i gradiva studentima koji studiraju "Životnu sredinu i održivi razvoj" na Univerzitetu Singidunum, a koji su iz različitih srednjih škola, gde se u pojedinim školama učila možda fizika i hemija i/ili geografija u smanjenom obimu ili u samo prva dva razreda. Takođe, malo ko zna da je planina Zlatibor u stvari, tokom zatvaranja Tetisa, u procesu subdukcije iščupani deo okeanske kore koji je "bačen" na krečnjačke sedimente trijaskе i jurske starosti i koji je tokom tih procesa izmenjen, pa je od primarnih ultrabazičnih stena (magnetske stene sa prirodnom povišenom koncentracijom Fe, Mg, Cr i Ni) nastala stena koja se zove serpentinit, tamno zelene, nekad skoro crne ili ukoliko je atmosferski izmenjen, tada je braonkastih nijansi zbog nastanka hidroksida gvožđa - limonita. Ovde treba da dodamo da takođe drugi poznati turistički objekat u Republici Srbiji, Kopaonik je u stvari granitni intruziv, po nastanku, sastavu i izgledu je potpuno drugačija stena od serpentinita. Graniti nastaju kada se rastop sa najviše SiO_2 intruduje (injektuje) u strukturne sisteme u Zemljinoj kori. Prepoznaje se zrnasta građa stene. Pored velike količine Si i O_2 koje nosi kao jedinjenja u vidu minerala kvarca ili u ortoklasu i drugim, ima vrlo malo Fe, u principu ne sadrži Cr i Ni, ali svi graniti na planeti su manje ili više prirodno radioaktivni i donose U, Th, K, Zr i druge elemente koji pri raspadanju granita dospevaju u životnu sredinu, kao što se dešava i sa Fe, Mg, Cr i Ni pri raspadanju serpentinita.

Nekoliko uslova je trebalo ispuniti kod pisanja ove knjige. Dva bitna posebno. Prvi je da bude što manje korišćenja teksta drugih autora, a drugi je da se koriste vlastite slike. Što se prvog uslova tiče pisao sam iz "glave" ono što znam u ovom trenutku (april - juni 2019 godine). Iz tog razloga su dati okvirni datumi kada se pominje neko izdanje ili autor na koga se pozivam (B.V.). Uvek mi je bio veliki napor da zapamtim tačan datum (B.V.), ali sam uvek znao kad je to bilo otprilike - početak, sredina ili kraj, npr. XVI veka i ko je to pisao. Drugi uslov su autorizovane slike, karte i ilustracije. Imam više hiljada svojih fotografija i to nije bio problem. Takođe imam i priličan broj karata koje sam sam uradio ili sam bio koautor, pa sam ih i koristio. Problem su bile slike planete Zemlje, šeme, poznate ilustracije kod npr. "tektonike ploča", vizuelizacije raseda i ostalih poznatih i karakterističnih geoloških pojava koje je trebalo prikazati.

Što se tiče literature, konsultovali smo internet linkove da proverimo da nismo pogrešili u nekim detaljima i oni se nalaze u tekstu i posebno kao "Internet linkovi" uz svako poglavlje. Kao literaturu naveli smo neke knjige iz geologije koje smo pročitali, pojedine od njih su bili naši udžbenici. Pozivanje na literaturu u tekstu u ovakvom štivu bi remetilo kontinuitet koji je studentima potreban, a i radi se o našem višedecenijskom čitanju tako da u ovom trenutku se ne bi ni setili gde smo šta pročitali i naučili iz literature na srpskom, engleskom i ruskom. Ta znanja su "pakovana", "obrađena i prerađena" i nalaze se u memoriji u "folderima" kao kompilacije na pojedine teme, tu su sada u asocijaci tereni, viđene stene, mikroskopija, kartiranja, bušenja, projekti i iz toga je ova knjiga nastala. Ono što dobro pamtim je gde smo i šta od geologije i geodiverziteta videli. Pomenuto je rezultiralo da pri proveru na plagijarizam, udžbenik je imao 1% preklapanja na antiplagijarizmu.

Predmet "geodiverziteta" su geološki i hidrogeološki objekti nastali prirodnim putem:

1. Koji imaju a. ekonomsku ili b. kulturnu/estetsku vrednost.
2. Koji predstavljaju opasnost po život na planeti Zemlji.

1.1 OBJEKTI GEODIVERZITETA KOJI IMAJU EKONOMSKU VREDNOST

Svima su poznati objekti eksploatacije mineralnih sirovina koji se mogu videti pored puta, najčešće kamenolomi, šljunkare uz Drinu i Veliku Moravu i eksploatacije lignita kada se krene prema jugu Ibarskom magistralom posle Stepojevca ili kod Kostolca uz Viminacijum. O drugim ležištima se može saznati iz sredstava javnog informisanja, npr. o bakru i zlatu iz Bora i Majdanpeka. Današnja civilizacija je nezamisliva bez eksploatacije mineralnih sirovina. Pored ostalog to je jedna od najstarijih ljudskih delatnosti, primer je izrada kamenog oruđa. Smatra se da je korišćenje kamenog oruđa počelo čak pre 3,3 miliona godina, objekti su nađeni kod jezera Turkana u Keniji. Pećine su korišćene za život, a nastale su u krečnjacima delovanjem vode, ugljen dioksida – nastankom ugljene kiseline, ali detaljnije o tome kasnije. U pećinama su rađeni pećinski crteži, čuvena je oblast Lasko (Lascaux) u Francuskoj, crteži su starosti kasnog paleolita (period od pre 50000 do 10000, konkretno za Lasko smatra se da je starost oko 17000 godina tzv. rani magdalenijen). Pigment kojima su rađeni pećinski crteži su uglavnom hidroksidi gvožđa tamno mrkih, crvenkasto mrkih, žućkastih nijansi, koji su mleveni, mešani sa vodom, pljuvačnim i biljnim sokovima i zatim različitim načinima nanošeni na zid od krečnjaka.

Danas eksploatacija mineralnih sirovina i korišćenje fosilnih goriva u proizvodnji energije stvara ogromne probleme po živi svet na planeti Zemlji. Mineralne sirovine

su neobnovljivi resursi, mnoga ležišta pored korisnih komponenti nose i otrovne komponente – polutante koji su sada izloženi atmosferskim uslovima ili kao nusprodukt ulaze u hidrosferu, atmosferu i geohemijske cikluse gde su uslovi potpuno drugačiji (reakcije sa kiseonikom, vodom, promenama temperature, nošenje sprašenog materijala vetrom - deposoli itd.) nego kad su mirovali u Zemljinoj kori. Gradnja hidroelektrana, tačnije brana dovodi do pojave – uspora – kada vodotok usporava zbog brane i na tim prostorima se odlaže materijal koji vodotok nosi, a tu mogu biti produkti eksploatacije odnešeni ocednim vodama sa jalovišta koji imaju povišene koncentracije npr. As, Cd, S, Ni, Cr i drugih koji se onda deponuju u akumulacionim jezerima ili usporima. Dobro je poznat problem gasova staklene bašte, za koje se smatra da doprinose povišenju temperature atmosfere na celoj planeti što može dovesti do nesagledivih posledica. Kao fertilizator se široko koriste superfosfati koji uvek nose neku količinu urana 70-200 izuzetno 800 g/t, dakle tone urana su rasute po poljoprivrednim prostorima širom sveta, sada se taj uran raspada po zakonima poluraspada, raguje sa slabo kiselim ili slabo alkalnim vodama (kiše nikad nisu idealno pH neutralne) stvaraju se jedinjenja koja ocednim vodama, podzemnim vodama i deposolima se distribuiraju u životnu sredinu. U istoriji planete Zemlje bile su drastične promene klime iz raznih razloga od udarca meteorita, emanacija vulkanskog materijala, promene ugla ose rotacije planete ... Svaki put velike promene klime su imale drastične posledice po živi svet – nekada i do masovnih izumiranja – kojih je bilo pet velikih i brojna manja. Homo sapiens, je, smatra se evoluirao, posle brojnih ispitivanja, u Africi u periodu od pre 200.000 do 100.000 godina, a krenuo je iz Afrike pre oko 60.000 godina. Ovo napominjemo zato što je to jako kratak period u geološkoj istoriji i mi kao vrsta u stvari nemamo jasnu sliku u kom pravcu mogu da krenu klimatske promene i kakve to može da ima posledice.

1.2 OBJEKTI GEODIVERZITETA KOJI IMAJU ESTETSKU I KULTURINU VREDNOST

Ljudi su oduvek bili zainteresovani za drago kamenje. Čuven je skelet žene iz Herkulanuma gde je na kosti kažiprsta njene leve ruke nađeno zlatno prstenje sa crvenim i zelenim kamenom. Poznate su priče o dijamantima iz kruna kraljeva. Pored dragog kamenja postoji poludrago i ukrasno kamenje. Od mermera se prave skulpture još iz antičkog vremena. Od poludragog kamenja navešćemo samo: kalcedon, čaroit, amazonit i drugi. Mnoge zgrade su spolja i iznutra pokrivene obrađenim kamenom (stenama – granitima, peščarima, krečnjakom...), ulica kneza Mihajla u Beogradu je popločana “jablaničkim gabrom”.

Pejzaži su objekti koji se posećuju i u kojima se ljudi odmaraju i uživaju. Oveko-većeni su na mnogim umetničkim slikama između ostalih Vinsenta van Goga, Kloda

Monea, Sidnija Persija, Isaka Leviatana i drugih. Često su mnoge fotografije sa putovanja u stvari pejzaži.

Od objekata geodiverziteta koji su takođe često posećeni, na ovom mestu bi pomenuli pećine, koje će se detaljno objasniti kasnije. Radi se o geomorfološkim tvorevima nastalim u krečnjacima. U Srbiji je napoznatija Resavska pećina, tu su Rajkova, Lazareva i druge.

Ovde treba pomenuti i geoparkove, kao jedinstvene oblasti koje unapređuju zaštitu i korišćenje geološkog nasleđa na održiv način i promoviše ekonomsku dobit ljudi koji žive u okruženju. U mnogim geoparkovima se pomoviše svest o geološkim opasnostima (vulkani, zemljotresi, cunami), daju informacije o klimatskim promenama tokom istorije planete Zemlje kao indikatora trenutnih promena čiji smo svedoci, zalaže se za održivi turizam koji uključuje na prvom mestu geoturizam, integrisani ruralni turizam, ekoturizam i turizam kulturne baštine.

1.3 OBJEKTI GEODIVERZITETA KOJI PREDSTAVLJAJU OPASNOST PO ŽIVOT NA PLANETI ZEMLJI

Na prvom mestu ovde treba spomenuti vulkane. Pre 250-251 milion godina dogodilo se najveće masovno izumiranje u istoriji planete Zemlje. Na prostoru današnjeg Sibira su emanacije bazaltne lave trajale oko 1 milion godina. Lava je zapalila i slojeve uglja. Ovim događajem se završava period paleozoik počinje mezozoik i evolucija kreće drugačijim tokom, u odnosu na period pre ovog događaja. Jedna od opasnosti po današnji svet je vulkan Jelouston (Yellowstone). Ovo je ogromna vulkanska struktura koja se na površini planete vidi kao kaldera dimenzija 55 x 72km. Ispod nje se nalazi velika magmatska komora ispunjena magmom i vrelim gasovima. Smatra se da vulkan eruptira (supererupcije) periodično u razmacima od 600.000 do 700.000 godina. Manje erupcije su se dešavale pre 150.000, 70.000 i pre 13.800 godina. Piroklastični materijal od supererupcije, koja se dogodila pre između 630.000 – 640.000 godina je prekrrio površinu od approx. 2300x2500km, smatra se da je tada izbačeno 1000 kubnih kilometara piroklastičnog materijala. Relativna nepoznanica je koliko bi materijala moglo biti izbačeno u novoj supererupciji uključujući i gasove sumpor dioksid, sumporvodonik i druge. Sitne čestice vulkanskog pepela i sumporna jedinjenja kao aerosoli bi bili raspršeni u atmosferi cele planete. Kao posledica došlo bi do smanjenja temperature na globalnom nivou i ne može tačno da se predvidi koliko bi to dugo trajalo. Danas se razmatraju opcije da su “ekstremni vremenski uslovi” i gladi 535-536 i 1315-1317 godine naše ere izazvane vulkanskim erupcijama, kao uzročnici se razmatraju vulkani Ilapongo - El Salvador, Tarawera – Novi Zeland i Krakatoa – Indonezija kao i neki drugi, do sada nije apsolutno dokazano koji je vulkan u pitanju. Postoji i tzv. teorija katastrofe izazvane supererupcijom vulkana Toba (Sumatra, Indonezija).

Smatra se da se erupcija dogodila pre 75.000 ± 900 godina i tada je došlo do efekta “uskog grla” po populaciju homo sapiensa, dakle na osnovu nekih genetičkih ispitivanja, ljudski genom je toliko unificiran da je nastao od 3000 do 10000 individua, pa se pretpostavlja da je erupcija vulkana Toba dovela do skoro ekstincije ljudske populacije.

Preporučena literatura:

1. *Ambrose 1998; Rampino & Ambrose 2000, pp. 71, 80.*
2. *"Science & Nature – Horizon – Supervolcanoes". BBC.co.uk. Retrieved 2015-03-28.*
3. *Turkana u Keniji* <https://www.bbc.com/news/science-environment-32804177>

Zahvalnost:

Veliku zahvalnost dugujemo recenzentima prof. dr Zorici Lazarević i prof. dr Zoranu Nikiću koji su svojim sugestijama, predlozima i znanjem doprineli kvalitetu ove knjige.

2.

GEOLOGIJA I GEOLOŠKE DISCIPLINE



2. GEOLOGIJA I GEOLOŠKE DISCIPLINE

Geologija podrazumeva grupu naučnih disciplina koje se bave proučavanjem planete Zemlje, a na osnovu podataka dobijenih ispitivanjem neorganskog materijala (stena, minerala, lave...), ostataka živog sveta (fosila, uglja, nafte...) i sila (magnetnog polja, gravitacije...).

Metode geoloških nauka se danas (2019. godina) primenjuju i na druga "dostupna" kosmička tela, proučavaju se Zemljin satelit Mesec i planeta Mars. Sa Meseca su donešeni uzorci stena, dok na Marsu postoje pokretne laboratorije - roveri, koji pored snimljenog materijala ispituju stenski, mineralni i hemijski sastav "*in situ*".

Ne može se reći koja bi geološka disciplina bila najvažnija, a po objektu ispitivanja i metodologiji se mogu veoma razlikovati. Redosled opisa, koji sledi ide od metoda koje se "generalno ili globalno" bave planetom Zemljom do onih koje ispituju specifičnosti manjih prostora ili čak poziciju jedne bušotine. Ovde postoji i problem klasifikacije zato što se pojedine metode u objektu ispitivanja ili primeni instrumenata preklapaju. Neki autori prikazuju metode i oblasti geologije po abecednom ili azbučnom redu. Biću slobodan da posle 30 godina rada kao geolog i nastavnik dam svoje viđenje, koje se suštinski neće mnogo razlikovati od literature (štampane i sa interneta).

Kada pogledamo fotografije i filmove planete Zemlje iz Kosmosa, u suštini vidimo 2-dimenzionalni krug - sferu. Planeta Zemlja nije apsolutno pravilna sfera, prečnik Ekvatora je za 42,769 kilometra duži od prečnika koji povezuje polove - po dimenzijama elipsoida WGS84, ali na slikama i snimcima se to naravno ne uočava (duži prečnik - između tačaka na ekvatoru je 12756,274km - kraći prečnik - između tačaka na polovima je 12713,505km), po dimenzijama elipsoida WGS84 gde duža poluosa (od centra planete Zemlje do ekvatora) i kraća poluosa (od centra planete Zemlje do nekog od polova) iznose: duža poluosa 6378,137km i kraća poluosa 6356,752 km^[2.1].

Sa aspekta proučavanja oblika i dimenzija planete Zemlje, dve naučne discipline bi ovde pomenuo: tektoniku ili geotektoniku i geofiziku, tu je i geodezija, ali se ona ne smatra primarno kao geološka disciplina iako su pomenute dimenzije sračunate metodama geodezije (što će se delom učiti na predmetu "Osnove metoda kartiranja").

Tektonika ili geotektonika izučava pokrete u Zemljinoj kori, koji su u stvari, uglavnom generisani procesima u unutrašnjosti planete Zemlje. Jedan od glavnih mehanizama koji generiše ove pokrete je "konvekcijska ćelija". To je u suštini proces stvaranja termalnog fluksa iz centralnih delova planete, njegov put ka površini kroz vrele i žitke delove ka hladnijim delovima planete - litosferi tj. očvrstloj stenskoj kori, njegov

uticaj na litosferu, kada uzrokuje tektoniku - kretanje ploča. Ovim procesima nastaju zemljotresi i vulkanizam uzrokovani kontinualnim pomeranjima litosfernih ploča. Kada u ovom procesu pomeranja litosfernih ploča dođe do situacije da se jedna ploča podvlači pod drugu, dolazi do topljenja čvrstih stenskih masa i mešanja sa žitkim i vrelin materijalom koji je odmah ispod litosfere - gornjeg omotača^{[2.2][2.3]}. Ovo će biti detaljno objašnjeno kroz poglavlje 7 "*Osnovi tektonike, litosferne ploče i njihovo kretanje*". Proces kretanja tektonskih ploča direktno uzrokuje zemljotrese i vulkanizam.

Geofizika izučava fizičke karakteristike planete Zemlje. Silu zemljine teže proučava gravimetrija^[2.4]. Ubrzanje zemljine teže nije na celoj planeti istog intenziteta. Većina je učila iz fizike i radila zadatke sa vrednosti ubrzanja sile Zemljine teže koja iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$, u stvari krajem XIX veka u blizini Pariza izmerena i dogovorena tačna vrednost koja iznosi $9,80665 \text{ m/s}^2$. Geomagnetizam je takođe oblast geofizike. Posebno je važno postojanje magnetosfere. Ova pojava štiti živi svet na planeti od razarajućeg Sunčevog i drugog - kosmičkog zračenja. Suština funkcionisanja kompasa je namagnetisana igla koja se okreće prema magnetnim polovima planete. Takođe poznato je, da se polaritet magnetnih polova tokom istorije planete menjao. Koliko znamo, nije, tokom naše - ljudske istorije, u zadnjih 120 000 godina. Ovo će biti detaljnije objašnjeno u poglavlju 5 "*Nastanak i struktura planete Zemlje*". Seizmika je grupa metoda kojom se ispituju prirodni i izazvani pokreti u Zemljinoj kori i unutrašnjosti planete. Mere se intenziteti vibracija. Prirodni pokreti su zemljotresi. Izazvani pokreti bi se mogli nazvati mikro-zemljotresima, ovde se radi uglavnom o malim kontrolisanim eksplozijama (na primer eksplozija patrone za lovačku pušku u posebnom uređaju) i merenjem izazvanih vibracija. Kroz materijal različite gustine, prirodne ili izazvane vibracije prolaze različitom brzinom i intenzitetom, na osnovu ove pojave se određuju svojstva ispitivanog prostora. Seizmičkim metodama je proučena građa planete Zemlje. Jedna od oblasti gde se seizmika primenjuje, pored ispitivanja zemljotresa i građe Zemlje je na primer istraživanje nafte. Geoelektrične metode u osnovi mere prirodno i izazvano električno polje. Zemlja ima svoj prirodni električni potencijal, pored toga kroz različite vrste stena izazvano električno polje se prostire različitim intenzitetom. U istraživanju ležišta mineralnih sirovina, posebno ležišta sulfida obojenih metala, danas se obavezno koristi metoda indukovane polarizacije. Radioaktivnost je prirodna pojava na površini planete Zemlje. Sa razvojem nuklearnog oružja i nuklearnih generatora sve više je aktuelno merenje radioaktivnosti područja od interesa. Od 1945. do 2019. godine izazvano je preko 2000 nuklearnih proba (osim bombi bačenih na Hirošimu i Nagasaki u avgustu 1945.). Korišćena je municija sa osiromašenim uranom na više lokacija u svetu. Takođe, dogodilo se nekoliko incidenata sa nuklearnim elektranama od kojih su najveće u Černobilu u aprilu 1986. i Fukušimi u martu 2011. Osim toga kao fertilizator je bačena ogromna količina superfosfata na poljoprivredne površine širom sveta, a zna se da fosfatno đubrivo redovno nosi radionukleide. Uzimajući pomenuto u obzir može se konstatovati da je generalno antropogenim delovanjem povećana radioaktivnost

na površini planete, ovo će sigurno dovesti do povećanog rizika po sav živi svet. Dakle, merenje radioaktivnosti kao jedna od oblasti geofizike dobija sve više na značaju. Postoji još geofizičkih oblasti i metoda, ali bi njihovo opisivanje prevazišlo potrebe ove knjige.

Ponovo posmatrano iz Kosmosa, na primer iz programa Google Earth, vidimo generalno plave okeane, a na kontinentima zelene i braonkaste nijanse i na kraju bele polarne oblasti. Zelene nijanse su područija sa intenzivnom vegetacijom. Ako uveličamo prostor pustinje Sahare ili Gobi videće se različite nijanse mrke boje kao i različite teksture, radi se o raznim stenama oblikovanim geomorfološkim procesima. Svakako da za ove potrebe koristimo metode daljinske detekcije a imamo i sledeće tri oblasti geoloških nauka: petrologiju, mineralogiju i geomorfologiju.

Petrologija je nauka o stenama. Petrografija se bavi metodama proučavanja stena. Stene se dele na magmatske, sedimentne i metamorfne. Magma stene nastaju očvršćavanjem magme u unutrašnjosti zemljine kore kada se nazivaju intruzivima i kao emanacije vulkana na površini Zemlje ili ispod okeana i mora i tada su to lava i/ili piroklastični materijal^[2.5]. Sve stene se raspadaju na površini planete. Kada raspadnuti i manje ili više transportovani stenski materijal očvrstne nastaju alevroliti, glinci, peščari i drugo. Sedimentne stene nastaju i izumiranjem milijardi sitnih mikroorganizama u okeanima koji se talože na dnu. Pri zatvaranju okeana i gubljenju vode uz delovanje tektonskih pritisaka ovi sedimenti dolaze na površinu i tako nastaju planinski sistemi ili venci (na primer Dinaridi). Sedimentne stene mogu biti različitog sastava. Silikatnog - peščari, karbonatnog - krečnjaci i drugog. Takođe sve stene mogu biti probijene vrelim intruzijama i tada nastaje kontaktni metamorfizam, kao što je to mermer na Venčacu gde je granit Bukulje izmenio starije krečnjačke slojeve. Takođe, sve stene mogu biti globalnim tektonskim pokretima spuštene u zone sa povećanom temperaturom i pritiskom i tada dolazi do regionalnog metamorfizma i formiranja stena, na primer škrljaca. Tako nastaju metamorfne stene. Rude metala su stene ali se ne nazivaju stenama. Sve stene su izgrađene od minerala, tačnije od asocijacija minerala. Uglavnom su poli-mineralnog sastava, retko mogu biti i monomineralnog sastava. Magma stene su uvek "silikatnog" sastava, što znači da su izgrađene od uglavnom minerala silikata (u svom sastavu redovno sadrže silicijum i kiseonik u nekoj hemijskoj vezi). Stene imaju široku komercijalnu upotrebu, a i deo istorije ljudskog roda se deli na stariji i mlađi paleolit - starije i mlađe kameno doba.

Kao što je navedeno sve stene su izgrađene od minerala. Minerali su hemijska jedinjenja u čvrstom stanju i imaju kristalnu rešetku. Postoje neorganski minerali, zastupljeniji su u prirodi i njima ćemo se baviti, a postoje i organski minerali. Minerali u prirodi se nalaze u vidu kristala. Kristal je čvrsto trodimenzionalno geometrijsko telo koje ima ivice, rogljeve i pljosni, kada rotira oko zamišljene ose određeni obrasci (paterni) se pri rotaciji ponavljaju, tako se vrši klasifikacija sistema kojem neki mineral

pripada. Ima sedam sistema^[2.6]. Minerali su uglavnom izgrađeni od različitih elemenata. Neki u svom sastavu imaju iste elemente na primer Fe, Cu i S kao što su to hakopirit i bornit, halkopirit ima manje Cu i žute je boje sa metaličnim sjajem, dok bornit ima više Cu i mrko-ružičaste je boje takođe sa metaličnim sjajem, ali iako su izgrađeni od istih elemenata radi se o različitim mineralima. Važna pojava je da se minerali u površinskim uslovima pod uticajem vode, ugljen dioksida, kiseonika, promene temperature i drugo raspadaju. Na primer feldspati prelaze u minerale glina (hidratisane alumosilikate). Novonastali materijal se transportuje, taloži i nastaju druge stene. Ovaj proces je od velikog značaja pri proučavanju regolita. Klasifikacija minerala ima mnogo i to će se detaljnije razmatrati u poglavlju "Mineralogija".

Kada dalje posmatramo ortofoto snimak planete Zemlje mogu da se prepoznaju planine, doline, rečni tokovi, raspadanje čitavih planinskih masiva i transport raspadnutog materijala, ove procese proučava geomorfologija. Bavi se proučavanjem procesa kojima se oblikuje prostor na površini planete Zemlje, drugim rečima nastajanjem reljefa. Obično se ovi procesi definišu kao generisani unutrašnjim - endogenim silama i spoljašnjim - egzogenim silama. Endogene sile su generisane procesima koji se dešavaju unutar planete Zemlje (globalnom tektonikom i sl.) dok se za egzogene sile uglavnom vezuju procesi pri izloženosti stenskog materijala atmosferi, radu vode i promeni temperature^[2.7].

Promene planete Zemlje, kao i sve druge se dešavaju tokom vremena. Minerali i stene su nastali tokom, za nas ljude, duge geološke istorije. Smatra se da je planeta Zemlja stara oko 4,54 milijardi godina. Generalno, starost planete se ispituje na sledeće načine: radiometrijskim datiranjem kao što je K - Ar metoda za materijale starije od više hiljada godina i drugim - ove metode spadaju u oblast koja se zove geohronologija; ispitivanjem fosila - nauka se zove paleontologija; ispitivanjem pozicije sedimenata - stratigrafija; odnosom sedimenata i intruzivnih stena, ... Metode i nauke koje ispitiuju starost i evoluciju planete Zemlje se uopšteno zovu Istorijska geologija. Generalno istorija planete Zemlje je podeljena na eone, ere, periode i epohe.

Geološko kartiranje. Od rane istorije su ljudi crtali karte (Katal Hudžuk - sadašnja Turska, Turin - sadašnji Egipat). Tokom dugog niza vekova, do pojave Gerharda Merkatora (Gerardus Mercator, XVI vek), karte su crtane sa različitim, često religioznim principima, sa puno estimacija kao i prikazima nepostojećih stvari. Merkator uvodi kartografsku mrežu i projekciju koje su i danas u upotrebi. Sa razvojem nauke i metoda kartiranja dolazi i do crtanja geoloških karata. U knjizi De Re Metallica od Georga Agrikole (Georgius Agricola, polovina XVI veka), dato je puno opisa stenskih formacija i nacrtani su profili sa kvarcnim žicama. Prvom geološkom kartom neke celine, u ovom slučaju države, smatra se geološka karta Velike Britanije, autora Vilijama Smita (William Smith) sa početka XIX veka. Suština je da se kod geološkog kartiranja stene

iste starosti i sastava boje istom bojom i da eventualno imaju specifične šrafure, granice su predstavljene tankom crnom punom ili isprekidanom linijom, a pored mnogih drugih detalja važno je na ovom mestu pomenuti strukture koje su prikazane crvenim linijama i legendu kartiranih jedinica predstavljenoj malim pravougaonima sa pratećim tekstom. Postoje i varijeteti geološke karte: hidrogeološka, geotektonska, geomorfološka i druge.

Geohemija je nauka koja proučava hemijski sastav stena i ruda na površini i na dostupnim dubinama (bušotine i/ili rudnički objekti)^[2.8]. Ispituje se sadržaj pojedinih elemenata i jedinjenja na prostoru od interesa. Klark i Vašington (Clarke F. i Washington H.) su 1924. godine izdali knjigu *Sastav Zemljine kore* (The Composition of Earth Crust). U ovom kapitalnom delu su dali prikaz distribucije jedinjenja i elemenata u karakterističnim stenama na prostoru skoro cele planete. Danas postoji više sistematski urađenih analiza distribucije elemenata, a "po Klarku i Vašingtonu" se i danas mogu naći citiranja u mnogim radovima. Sledeći koga na ovom mestu treba pomenuti je Viktor Goldšmit (Victor Goldshmit) koji je uspostavio klasifikaciju po karakterističnim asocijacijama elemenata u prirodi (tokom prve polovine XX veka) i dao njihovo objašnjenje. Što se tiče geohemijskih metoda, radi se o ispitivanju prostora da bi se konstatovala "anomalija". To je povišena koncentracija nekog elementa ili jedinjenja u odnosu "fon" tj., prirodnu očekivanu koncentraciju na tom prostoru. Rade se različite vrste uzorkovanja i instrumentalne metode. Po istim principima se u naukama o životnoj sredini traže pozicije i koncentracije zagađivača na prostoru od interesa.

Istrživanje ležišta mineralnih sirovina je jedna od najstarijih ljudskih aktivnosti počevši od izrade kamenog oruđa i pečenje posuda od gline. Ovo je direktno vezano za korišćenje geoloških resursa. Danas su upotreba prirodnog kamena i porcelanska industrija poznate privredne delatnosti. Sa druge strane većina neobnovljivih resursa su mineralne sirovine. Eksploatacija sulfida obojenih metala je dovela do nepopravljivih devastacija pojedinih prostora gde god da se u svetu odvijala. Prženje sulfidnih ruda i topionice su veliki zagađivači. U sulfidnim rudama pored npr. bakra, olova i cinka uvek su prisutni i polutanti kao što je to npr. arsen. Eksploatacija uglja i nafte i koncept korišćenja koji se u suštini svodi na njihovo sagorevanje je doveo do ogromnih emanacija prvenstveno ugljen dioksida i verovatno do klimatskih promena. Pri preradi mineralnih sirovina dolazi do intenzivnog zagađenja vazduha, vode i zemljišta.

Pored pomenutih neobnovljivih resursa kao što su mineralne sirovine, potrebno je pomenuti obnovljivi resurs - podzemne vode. Hidrogeologija je naučna disciplina koja se bavi izučavanjem nastanka podzemnih voda, prihranjivanjem ovih resursa, pravcima kretanja, oblastima dreniranja, bilansom, rezervama, režimom kako kvantitativnih tako i kvalitativnih parametara. Ovaj resurs je od velikog značaja za trenutnu ljudsku populaciju jer veliki deo zadovoljava svoje minimalne potrebe na račun podzemnih voda. Iz tog razloga, hidrogeologija se pored vodosnabdevanja bavi i zaštitom ovog resursa kao i kartama hazarda. Ova naučna disciplina izučava i mineralne, termalne i termomineralne vode, kao i hidrogeohemiju.

U knjizi će kasnije biti kao poglavlja pored ostalog, biti prikazani detaljnije: istorijska geologija, geomorfologija, hidrogeologija, geohemija, ležišta mineralnih sirovina i drugi.

Preporučena literatura:

1. <https://www.space.com/17638-how-big-is-earth.html>
2. <https://www.space.com/24854-how-old-is-earth.html>

Reference:

- [2.1] Simon, J. L., Bretagnon, P., Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Franco, G., Laskar, J., 1994: *Numerical expressions for precession formula and mean elements for the Moon and planets. Astronomy and Astrophysics, Vol. 282*
- [2.2] Marović, M., 2005: *Geotektonika, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*
- [2.3] Ćirić, M. B., 1996: *Geologija Srbije, Zavod za kartografiju Geokarta, Beograd*
- [2.4] Starčević, M., Đorđević, A., 1998: *Osnove geofizike II, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*
- [2.5] Đorđević, V., Đorđević, D., Milovanović, D., 1991: *Osnovi petrologije, Nauka, Beograd*
- [2.6] Kostov, I., 1971: *“Минералогия”, Mir, Moskva*
- [2.7] Marković, M., Pavlović, R., Čupković, T., 2003: *Geomorfologija, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*
- [2.8] Maksimović, Z., 1965: *Geohemija, autorizovana skripta, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*

3.

OSNOVI GEOLOŠKE GRAĐE SVETA, BALKANA I SRBIJE



3. OSNOVI GEOLOŠKE GRAĐE SVETA, BALKANA I SRBIJE

Kada pogledamo geografske karte ili ortofoto snimke planete Zemlje, iz različitih izvora, prvo što vidimo su kontinenti i oblasti prekrivene okeanskom/morskom vodom. Odnos kopnene i vodene površine je 29 : 71%, dakle veći prostor je prekriven okeanima/morima. Kopno se obično prikazuje na kartama nijansama zelene, mrke, žućkaste i oblasti sa snegom ili velike nadmorske visine - belom, površine pod okeanskom/ morskom vodom se prikazuju plavom bojom. Slično je i kada gledamo ortofoto snimke. Okeanska ili morska voda je rastvor koji sadrži u proseku 35‰ (promila) soli uglavnom natrijum hlorida - NaCl (u daljem tekstu morska voda). Razlika između mora i okeana je što su mora - područja sa morskom vodom na kontinentalnoj kori, a okeani su oblasti prekrivene morskom vodom na okeanskoj kori.

Na ovom mestu, a pre generalnog prikaza geologije sveta i Srbije daćemo neka osnovna objašnjenja.

3.1 OSNOVNI POJMOVI

Litosfera je čvrsti površinski sloj planete Zemlje, litos - stena, dakle sfera izgrađena od stena^[3.1]. Izgrađena je od dva tipa kore: kontinentalne i okeanske, koje se razlikuju u koncentracijama elementa, minerala i tipovima stena od kojih su izgrađene. Razlika između kontinentalne i okeanske kore je što kontinentalna kora sadrži stene sa više silicijum dioksida SiO_2 oko 60% i više kalijuma (K) i dr., od okeanske kore koja sadrži SiO_2 oko 50% (srednje okeanski bazalti) i koja sadrži više gvožđa (Fe) i hroma (Cr) i dr, a i specifično je nešto malo teža od kontinentalne. Kontinentalna kora je debljine od 25 do 70km, dok je okeanska kora debljine od 7 do 10km. Na površini kontinentalna kora zauzima 40% i zapreminski kontinentalne kore ima 70%, dakle ima je više od okeanske kore^{[3.1][3.2]}.

Kontinenti su kopnene litosferne mase. Ima ih 6, to su Euroazija, Afrika, Severna Amerika, Južna Amerika, Antarktik i Australija sa Okeanijom. Neki autori smatraju da su Azija i Evropa dva kontinenta, trenutno su čvrsto spojeni u jedan i ne može se naći prekid u kopnu. Postoje klasifikacije gde se određuje četiri do osam kontinenata. Jedan od razloga za naše opredeljenje za šest kontinenata je bio i observacija litosfernih ploča, o čemu će više biti reči u poglavlju o globalnoj tektonici. Postoje (pored ostalih) Euroazijska ploča, Afrička ploča, Severno Američka ploča, Južno Američka ploča, Antartička ploča i Australijska ploča.

Okeani su povezane kontinuirane vodene mase na okeanskoj litosfernoj kori. Ima ih pet: Tihi okean (Pacifik), Atlantski okean (Atlantik), Indijski okean, Južni i Arktički (Severno ledeni okean). Salinitet u vodama okeana varira od 31 do 39‰.

Litosfera je izgrađena od fragmenata. Ti fragmenti se zovu **tektonske ploče** i stalno se kreću po gornjem omotaču - žitkoj polutečnoj rastopljenoj masi. Ima ih sedam velikih, deset manjih (dimenzija od 1 do 20 miliona kvadratnih kilometara) i 60 malih (manjih od jednog miliona kvadratnih kilometara). Uzroci kretanja tektonskih ploča su složeni procesi izmene temperature koja je generisana u Zemljinom jezgru. Pri kretanju, ploče se mogu razdvajati, podvlačiti jedan ispod druge i mimoilaziti. Jedna od posledica procesa subdukcije - podvlačenja tektonskih ploča jedne ispod druge je orogeneza^[3,3].

Okeanska dna nisu stabilna. Duž centralnih delova Pacifika i Atlantika mogu se videti strukture koje se zovu **okeanski rift**-ovi ili rovovi. To su mesta gde izbija vreli žitki materijal iz gornjeg omotača i time se generišu na površini planete Zemlje pokreti tektonskih ploča. Najstarije stene sadašnjih okeana su 200 miliona godina, znatno su mlađe od najstarijih stena na kontinentima. Sastav stena okeanske kore je sličan sastavu gornjeg omotača.

Osnovna podela starosti – perioda razvoja planete Zemlje je sledeća: haden od 4,6 milijardi godina (Mlrg) do 4 Mlrg, arhaik od 4 Mlrg do 2,5 Mlrg, proterozoik od 2,5 Mlrg do 635/542 miliona godina (Mg), paleozoik (stari život) od 542 do 252Mg – podeljen je na periode: kambrijum, ordovicijum, silur, devon, karbon i perm, krajem perma dolazi do izlivanja bazalta na sadašnjoj sibirskoj platformi u trajanju od 1 do 2 miliona godina kada su zapaljeni i ugljonošni slojevi. Ovaj događaj je doveo do najvećeg masovnog izumiranja na kopnu i u okeanima. Sledi mezozoik (srednji život) period kada su se razvili dinosaurusi, trajao je od pre 251/252Mg do pre 65Mg podeljen je na trijas, juru i kredu. Krajem krede, pre oko 65mg dolazi do udarca meteorita dimenzija oko 11km u Jukatansko poluostrvo koji je doveo do masovnog izumiranja ali manjeg intenziteta nego što se to dogodilo krajem perma, ovaj put su izumrli dinosaurusi (pored ostalog), tačnije po nekim autorima životinje teže od 20, a po drugim teže od 40kg. Nastaje kenozoik koji je podeljen na paleogen (paleocen, eocen, oligocen), neogen (miocen i pliocen) i kvartar (pleistocen i holocen) period u kome mi živimo^[3,4].

Orogenezom se naziva nastanak planinskih venaca, koje nazivamo još i orogenima. Tokom procesa orogeneze dolazi pored izdizanja planinskih venaca i do širenja ili zatvaranja okeana. U istoriji planete Zemlje bilo ih je više. Do danas je rekonstruisano pet. Najstarija je **Bajkalska** orogeneza, počela je pre 542 miliona godina, krajem prekambrijuma i nastavila se tokom paleozoika. Kambrijum je prvi period u okviru paleozoika, pa se nekad stariji periodi/ere nazivaju prekambrijum. **Kaledonska** orogeneza se događala tokom paleozoika (u siluru i devonu) pre 444 do 416 milion godina, nazvana je po latinskom nazivu za Škotsku - Kaledonija.

Sledi **Hercinska** (naziva se i Variscanska) orogeneza i trajala je od pre 390 do 310 miliona godina. **Cimerijska ili Kimerijska** (u ruskoj literaturi mezozoidi), orogeneza je počela pre 200 miliona godina i smatra se da traje i danas, dovela je do zatvaranja Paleo-Tetisa, neki autori smatraju da je trajala od donjeg trijasa do donje krede. **Alpska** orogeneza je takođe počela pre oko 200 miliona godina i traje do danas, uzrokovala je nastanak Alpa, Pirineja, Dinarida i drugih. U literaturi se mogu naći termini vezani za pomenute orogeneze kao što su hercinidi (planine u Nemačkoj), kaledonidi, apalačke planine u SAD su nastale tokom Hercinske/Variscanske orogeneze. Ovi procesi rezultuju pored izdizanja planinskih venaca i procese izmena ranije stvorenih stena, ovo se naziva **metamorfizmom**. Planinski venci posle nabiranja se tokom vremena eroduju, na kontinentima posle erozije ostaju stabilni nepravilni delovi Zemljine kore koji se zovu **platforme**^{[3.3][3.5]}.

Štitovi su jezgra kontinenta starosti preko 570 miliona godina izgrađeni od magmatskih i jako metamorfisanih stena. Mogu da budu stariji od 3,5 milijardi godina. Štit je deo kontinentalne kore gde su stene prekambrijske starosti izbile na površinu. Metamorfne stene u štitovima se zovu i kristalin^[3.3].

Vulkanizam je prisutan u kontinuitetu istorije planete Zemlje, suštinski zbog rada tektonike ploča.

Procesi raspadanja i deponovanja - **sedimentacija** - materijala se mogu dešavati i u okeanskim/morskim i u kontinentalnim sredinama.

3.2 UPROŠĆEN PRIKAZ GEOLOGIJE SVETA

Generalno, u osnovi svih kontinenata su štitovi i platforme, pa će se navesti njihova imena. Preko njih su razvijeni vulkaniti i sedimenti.

Vulkanizam se događa u aktivnim zonama. Neke oblasti na planeti Zemlji su bile aktivne ranije, a neke su aktivne danas. Jedan od glavnih razloga je širenje okeanske kore, koja se duž riftova događa stalno, i u trenutku dok ovo čitate. Tako se formira nova okeanska kora i ovo je generator pomeranja litosfernih/tektonskih ploča. Sledeći uzrok vulkanizma su procesi subdukcije, kao i kod orogeneza. Jedna ploča se podvlači pod drugu, subdukovana ploča se pretapa, formiraju se mešane magme, od fragmenata kontinentalne kore i gornjeg omotača koji je sličnog sastava kao okeanska kora. Rastopljeni materijal strukturama, duž zona subdukcije se penje prema površini, primer je zapadna strana Južne Amerike, gde se Naska ploča podvlači pod Južnu Ameriku i na tom prostoru kontakta su razvijeni brojni vulkani. U okviru ovih oblasti pored vulkanizma prisutni su često i zemljotresi. Na kraju vulkanizam se dešava zbog vrućih tačaka, što će biti objašnjeno kasnije.

Platforme: istočno evropska - Poljska, Češka i Slovačka, arabijska, sibirski, tarimski - Kina, tibetanski, indijski, kinesko-korejski, Jangce u Kini, Mekong (jug Vijetnama).

Napomena: arabijski štit i platforma "**arabijska tektonska ploča**", također, na prostoru Indije istočno gatski i dekanški štit sa indijskom platformom "**indijska tektonska ploča**", su zasebne tektonske ploče, iako pripadaju evroazijskom kontinentu. Arabijska tektonska ploča ima složena kretanja, na sever prema Turskoj i Crnom moru i na severoistok prema Iranu zbog subdukcije (podvlačenja) afričke ploče pod evroazijsku, a indijska tektonska ploča se i dalje kreće prema severu, podvlači se (subdukuje) pod evroazijski kontinent čime dovode do orogenih pokreta - daljeg stvaranja tibetskog planinskog lanca.

Bajkalska orogeneza je razvijena: na severu istočno evropske platforme i Sibira prema arktičkom okeanu; u kontaktu sa južnim delom sibirski platforme do kaledonida i hercinida Uralo-mongolskog pojasa.

Kaledonska orogeneza je razvijena na severnom delu Skandinavije - veći deo Norveške, Škotska i Irska; u okviru Uralo-mongolskog pojasa severozapadno od Alma-Ata sa prekidom izdanka tarimski platforme se nastavlja u Kataziju (srednjevekovni naziv za Kinu, Koreju i jugoistočnu Aziju).

Hercinska orogeneza je razvijena: u pojasevima Alšanj, Kunlun i Cinlin severni delovi Kine i jugoistočne Azije.

Epihercinske ploče, uprošćeno - erodovani ostaci produkata nabiranja tokom hercinske orogeneze, epi - slabije metamorfisani: zapadno evropska, Skifski - jug Ruske federacije prema Azovskom i Crnom moru, zapadno sibirski, Turanski - jug Kazahstana i sever Uzbekistana oko Aralskog do Kaspijskog mora.

Kimerijska orogeneza (mezozoidi) je razvijena: jugozapadni delovi Kine, Laos, Tajland, Kambodža i Vijetnam; Čukotka i istočni delovi Habarovske oblasti u Ruskoj federaciji.

Alpska orogeneza: Sredozemlje (sredozemno morski pojas), jug Španije i sever Maroka, Kamčatka, Sahalin, Japan, Južna Koreja, Hainan, Taivan, Sumatra, Java, Celebes i Filipini.

Vulkanizam: Mladi - mezozojski - kenozojski vulkaniti su razvijeni na jugu Španije, Severu Maroka, Alpima, zapadu i jugozapadu Italije, Siciliji, prate Karpatobalkanski luk - nastavljaju kroz Bugarsku i Tursku, zasebna grana ide kroz centralni deo balkanskog poluostrva - razvijeni su pravcem sever-severozapad - jug-jugoistok do Santorinija,

duž arabijskog poluostrva sa njegove zapadne strane prema Crvenom moru, oblast Dekan u Indiji. Stariji - paleozojski vulkanizam (u vezi sa riftovima na kontinentima) je razvijen u centralnom Sibiru starosti 250 miliona godina (Mg), Tianšan u Kini - 325 Mg, himalajsko-panjalski pojas - 280 Mg, Emiašan - na jugozapadu Kine – 260 Mg.

Sedimentne formacije i depresije, gde god su razvijeni krečnjaci bili su mirni sedimentni sistemi. U Evropi ih ima na jugu Velike Britanije u Irskoj, jugu Španije, Francuskoj, Alpima, zapadnom Balkanu duž Jadranskog mora, Belorusiji, zapadu i jugu Ukrajine, zapadu Rusije. Velike depresije ispunjene sedimentima paleogene i neogene strosti (mlađi od 65 miliona godina) su u panonskoj niziji, na prostoru od karskog do arabijskog mora (od severa prema jugu dužine 5000km), centralnoj Aziji, na zapadu Kine prema korejskom poluostrvu ^[3.6, 3.7].

Afrika

Štitovi: centralno afrički, regibatski i ebornejski na severozapadu, arhagaraski, nubijski i arabijski na istoku, kasajski na jugozapadu, na jugu – togarski, bangeulu, zimbabve-anski, mozambički, rodezijsko-trasvalski i madagaskarski.

Platforma: afričko – arabijska.

Orogeneze: Produkata bajkalske, kaledonske i hercinske orogeneze nema. Na jugu Afrike ima produkata kimerijske orogeneze – kapska oblast. Na severu Maroka i Alžira kao i na istoku arabijskog poluostrva je razvijena alpska orogeneza.

Na prostoru zapadne Afrike je “veliki afrički rift” - planetarni divergentni sistem na kontinentu. Dimenzije:

- varijanta a: dugačak je 9500km, širok 40 do 60km i dubok je nekoliko kilometara, na severu počinje od jezera Galileja, a na jugu se završava u donjem toku reke Zambezi ili
- varijanta b: dugačak je 6000km, počinje u Bekua dolini u Libanu, a završava se u Mozambiku u jugoistočnoj Africi.

Na kartama i ortofoto snimcima se ovaj rift može ispratiti po jezerima i izraženom vulkanizmu. Orijentaciono ide od adenskog zaliva, do jezera Viktorija i dalje na jug do jezera Malavi. Ovaj deo Afrike će se u jednom trenutku odvojiti, a na tom mestu će razviti nova okeanska kora.

Vulkanizam prikazaćemo velike sisteme: **Mlađi** – u vezi je sa velikim afričkim riftom, predstavljen je nizom vulkana (planine Kilimandžaro, Kenija i dr.) i kratera. Pruža se pravcem sever-severoistok – jug – jugozapad od Džibutija, Etiopije, Kenije do i kroz Tanzaniju, starosti je od 45 miliona godina i zona je aktivna danas. Stariji – na jugu Afrike Karoo oblast starosti 190 ili 184 do 175 ili 141mg. Na zapadu Afrike su razvijeni delovi CAMP - Centralno Magmatska Atlantska Provincija starosti od 202 do 189mg, za koju se smatra da je uzrok masovnog izumiranja krajem trijasa i početkom jure ^[3.7].

Sedimentni baseni i depresije: Sahara, Taudeni, Lulemeden, Čad, Senegal-Mauritanija, Tanesrouft, Murzuk, Đado, delta Nigera, Benue, Kongo, ova klasifikacija jedna od više i uvek je potrebno konsultovati karte.

Australija

Štitovi: na severu Kimberli-Darvin, Centralno australijski i na zapadu Kalgurli-Jork.

Platforme: australijska.

Orogeneze: alpska – istočnoaustralijski pojas i Novi Zeland.

Vulkanizam: razvijen je uglavnom na istočnoj obali Australije i po nekim novijim podacima između Melburna i Portlanda “Nova Vulkanska Provincija jugo-istočne Australije” ^{[3.6][3.7]}.

Sedimentni baseni i depresije: od severozapada prema jugoistoku – Kaning basen, veliki Artesian basen i uslovno bi Gibsonovu pustinju i veliku Viktorijinu pustinju mogli da uvrstimo u depresije.

Antartik

Platforma – antartička.

Vulkanizam – na zapadnim obodnim delovima su razvijeni izlivi bazalta ^{[3.6] [3.7]}.

Severna Amerika

Štitovi: kanadski i Beringov.

Platforme: severno američka i hipeborejska.

Kaledonska orogeneza je razvijena u inuitskom i atlantskom pojasu.

Hercinska orogeneza – na jugu severno američke platforme zapadno od atlantskog pojasa.

U okviru kordiljerskog pojasa su razvijeni produkti **kimerijske i alpske** orogeneze. **Kimerijska** orogeneza je razvijena još i na južnom delu SAD.

Vulkanizam - Vulkaniti su konstatovani od Aljaske do južne Amerike. Najvećim delom je razvijen na zapadnom delu severne Amerike u zoni subdukcije pacifičke i Huan de Fus ploča pod severno američki kontinent, kao i duž raseda st. Andreas. Produžava se ka jugu i nastavlja u južnu Ameriku. Na jugoistoku SAD vulkanske planine su razvijene orijentaciono od nacionalnog parka (zaštićenog šumskog područja) Džordž Vašington i Džeferson preko nacionalnog parka Čerokei do n.p. Čatahoči. U centralnom delu SAD oko velikih jezera. Na severo-istoku, lokalno od Velikog medvedovog jezera do Hadsonovog zaliva ^[3.6] ^[3.7].

Sedimentni baseni i depresije: U centralnom delu severno američkog kontinenta je razvijen prostor ispunjen krednim, paleogenim i neogenim tvorevinama. Depresije su: na severu, na prostoru Kanade oko hadsonovog zaliva, Manitobe, na prostoru SAD jezera Superior, prate granice Ilinoisa i Indiane, Arkanzasa i Misisipija do Luizijane. U zapadnim delovima na prostorima Merilenda i Nju Džersija, Virdžinije, severne i južne Karoline, Džordžije do Floride.

Južna Amerika

Štitovi: gvajanski, amazonski i brazilski.

Platforma: južno američka.

Epihercinska ploča je razvijena na prostoru Patagonije.

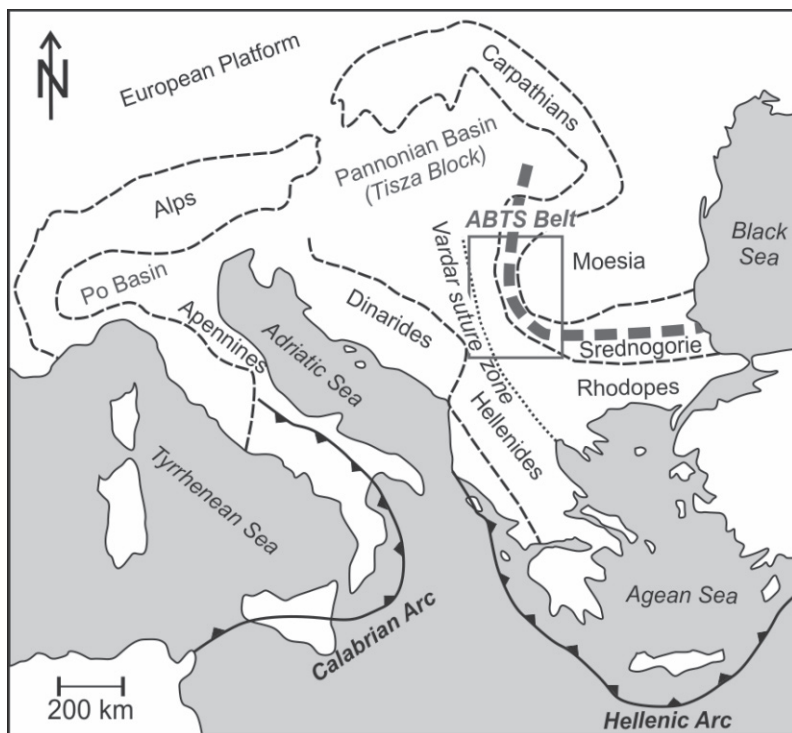
Alpska orogeneza zauzima celu zapadnu obalu južne Amerike.

Vulkanizam: vulkanizam je razvijen na zapadu celom dužinom kontakta južno američkog kontinenta sa Pacifikom, gde se Naska ploča i Antartička ploča subdukuju pod južnu Ameriku. U geografiji je ovo poznato kao planinski venac Andi. Na ovom prostoru je puno aktivnih vulkana koji su podeljeni u četiri zone i gde su deponovana ležišta sulfida, između ostalih srebra – argentus, po čemu je Argentina dobila ime.

Sedimentacioni baseni i depresije: pet velikih basena su razvijena na prostoru južne Amerike – Amazonski basen, Solimonski (južno na kontaktu sa Amazonskim), Parnaiba na istoku, Parana basen u centralnim delovima i Čako basen koji se nastavlja na Parana basen. Baseni su ispunjeni uglavnom kvartarnim i tercijarnim materijalom.

3.3 OSNOVNE GEOLOŠKE GRAĐE PROSTORA BALKANA I SRBIJE

Pre objašnjenja geologije treba da pogledamo reljefnu kartu Balkanskog i Apeninskog poluostrva.



Slika 3.2: Šematski prikaz planinski venaca i tektonskih lukova na Balkanu ^[3.8]

Planinski venci - Prepoznaju se Alpi i Karpatsko-Balkanski luk kao najmarkantnije pojave. U Italiji Apenini, a na Balkanu, uz Jadransko more su razvijeni Dinaridi, prema jugu se nastavljaju u Helenide. Delovi Karpato-balkanskog luka u zavisnosti od autora imaju različite nazive, kroz Srbiju i Bugarsku prolazi njegov južni deo (Banat-Timok-Srednjogorje pojas, ili Banat-Srednjogorje pojas). Obuhvata, pored ostalog, Timočki magmatski kompleks gde su poznata ležišta bakra – Majdanpek, Veliki Krivelj, Bor i asemblaž Stare planine koji je izgrađen od različitih jedinica paleozojske i mezozojske starosti i gde se nalaze pojave prirodne radioaktivnosti. Grana gde je razvijen Timočki magmatski kompleks se produžava u Srednjogorje Bugarske, a grana sa asemblažom Stare planine ide do Crnog mora (u anglosaksonskoj literaturi se naziva Balkan Mountain Range). Na jugu ovaj pravac prati Rodopski luk.

Nizije – Najmarkantnija je Panonska nizija, prostor gde je do pre 600 000 godina bilo more. Fruška gora je bila ostrvo, a u Beogradu se na prostoru Tašmajdana, Kalemegdana i Čukarice nalaze izdanci morskog spruda. Između Alpa i Apenina se nalazi nizija reke Po.

Mora – Od zapada prema istoku su: Tirensko more, Jadransko more, na jugu Egejsko more i dalje na istoku Crno more.



Slika 3.3: Pregledna orografska karta Balkanskog i Apeninskog poluostrva
(SASPlanet Relief-maps-for-free)

Jedna od vrlo dobrih jasnih karata koja lepo i jednostavno prikazuje suštinu geologije centralnog Balkana i Srbije je od Branislava Ćirića iz 1996 godine iz knjige „Geologija Srbije“. Bitan momenat na prostoru Balkana i Srbije je zatvaranje okeana Tetisa. To se dogodilo krajem jure pre 156 miliona godina (datume ne uzimamo kao apsolutne u smislu da li se radi o 155 ili 156Mg). Da razjasnimo, evolucija Tetisa je složena problematika, prati se od proto, paleo, neo do para Tetisa. Od prekambrijuma do pliocena. Sa druge strane prostor Evrope je izgrađen od „kontinentalnih mikro ploča“ malih fragmenata nastalih po raspadanju kontinenta Pangea. Pri zatvaranju okeana došlo je do kidanja fragmentata okeanske kore, ovo se naziva ofiolitskim pojasom koji je predstavljen nizom, sada serpentinskih (pored drugih stena) masiva kao što su to npr. Zlatibor i Maljen i prostiru se kroz Bosnu, Srbiju, Severnu Makedoniju, Grčku, Tursku, Iran i dalje. Dakle na našim prostorima ove stene su se nekad češće u literaturi zvale dijabaz rožnačka formacija, a danas ofiolitski melanž. Izgrađeni su od dijabaza, spilita, dolerita, gabra i sedimentnih stena.

Centralnim delom prostora Srbije i Makedonije dominantne su Srpsko-makedonska masa i Vardarska zona. Pružaju se pravcem sever-severozapad – jug-jugoistok. Srpsko makedonska masa je izgrađena od paleozojskih metamorfita i vulkanita dok je Vardarska zona tektonski složena sa brojnim vulkanitima oligocensko-miocenske starosti.

Poznati granitni intruzivi su Bukulja, Cer, Boranja, Kopaonik i dr.

Kod vulkanizma razlikujemo dva perioda, stariji gornje kredni, predstavljen Timočkim magmatskim kompleksom koji je deo luka koji se produžava u Bugarsku sa ležištima bakra i mladi oligo-miocenski koji prati pravac sever-severozapad – jug-jugoistok i koji se produžava u Grčku. Kod nas, vezano za mladi vulkanizam su poznata ležišta Rudnik na planini Rudnik, Lece, Kratovo-Zletovska metalogenetska oblast u Makedoniji i dr., sa uglavnom ležištima olova i cinka.

Sedimenti trijasa i jure su predstavljeni velikim naslagama krečnjaka. Kreda pored karbonata i peščarima. Dinaridi su izgrađeni uglavnom od krečnjaka. Kenozojske tvorevine glinama, peščarima, šljunkovima i lignitom.

Preporučena literatura:

1. <http://geography.su/atlas/item/f00/s00/z0000000/map008.shtml>

Reference:

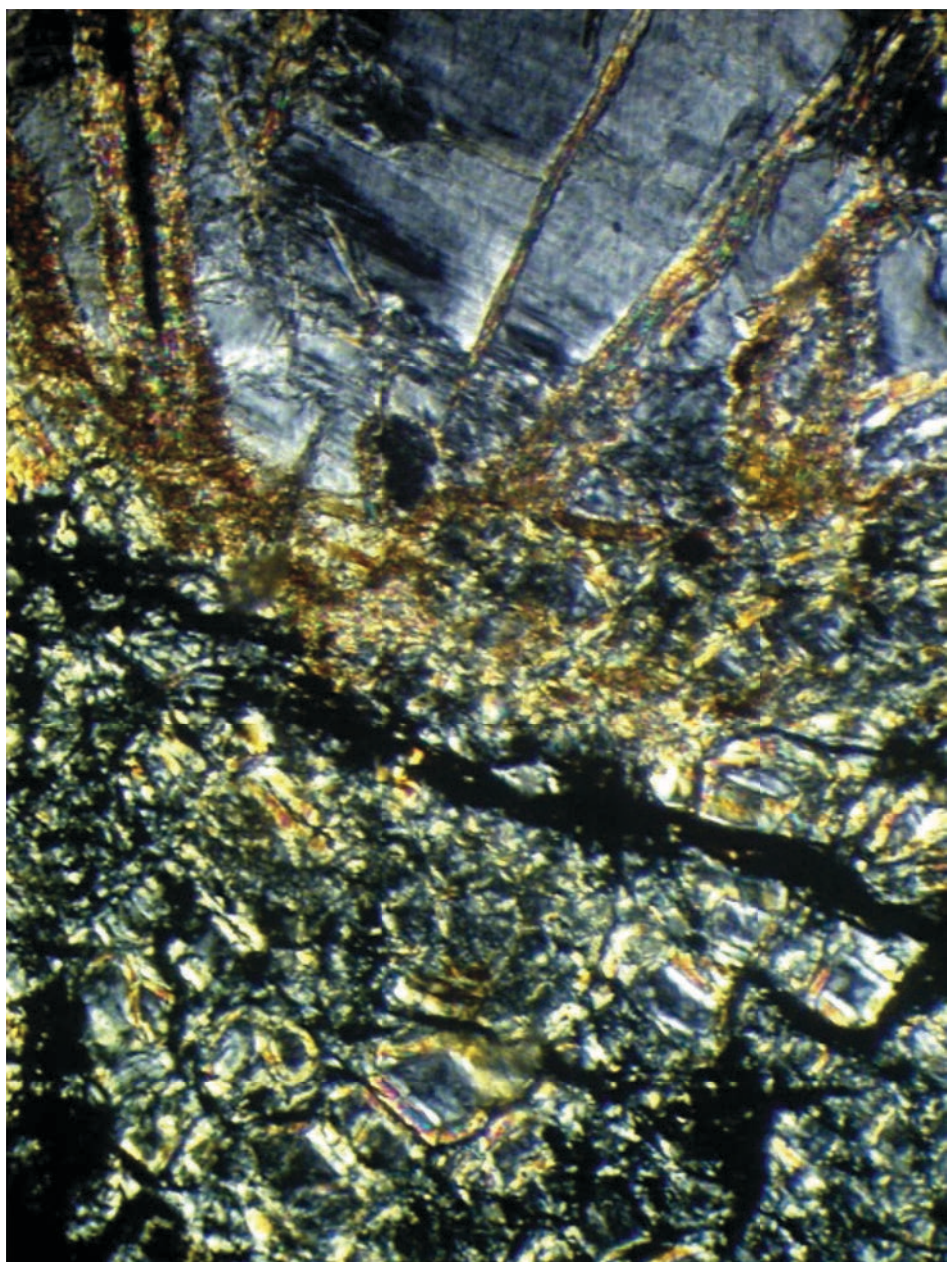
- [3.1] Skinner, B. J., Porter, S. C., 1987: *The dynamic Earth: An introduction to physical geology*, John Wiley & son, New York
- [3.2] Pešić, L., 2002: *Opšta geologija – Endodinamika*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [3.3] Marović, M., 2005: *Geotektonika, autorizovana skripta*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [3.4] *International Stratigraphic Chart*
- [3.5] Moores, E., Twiss, R., 1999: *Tectonics*, W. H. Freeman & Co.
- [3.6] adaykz@inbox.ru
- [3.7] Геологическая карта мупа, <http://geography.su/atlas/item/f00/s00/z0000000/map008.shtml>
- [3.8] Worsley, M. R., Rovillos, P. B. Jr., Morales, L. L., Vakanjac, V., 2005: *Gradiste - Dobro polje - Bukova glada licence report, Annual report*

Slike:

- 3.1 Modifikovao sa adaykz@inbox.ru
- 3.2 Preuzeto i modifikovano iz Worsley et al. 2005

4.

NASTANAK KOSMOSA, SUNČEVOG SISTEMA I PLANETE ZEMLJE



4. NASTANAK KOSMOSA, SUNČEVOG SISTEMA I PLANETE ZEMLJE

Da bi mogli da damo neka objašnjenja i teorije o nastanku Sunčevog sistema i planete Zemlje potrebno je da se upoznamo sa osnovnim konceptima nastanka svemira i njegovim konstituentima (objektima koji ga čine). Kako ovo nije astrofizika, objašnjenja će biti pojednostavljena za potrebe predmeta "Geodiverzitet".

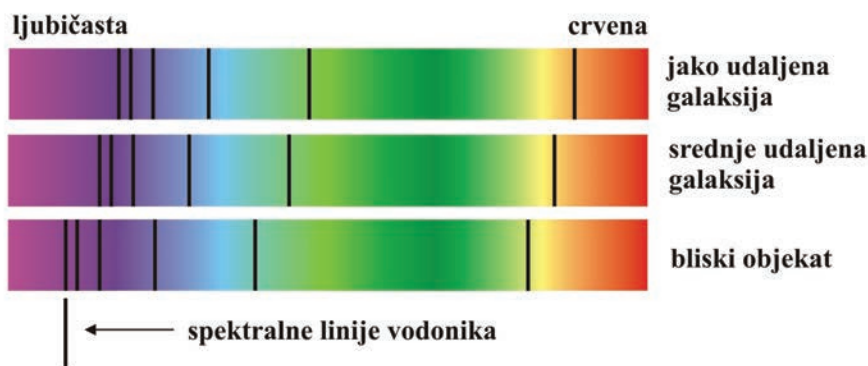
Prostor kroz koji se kreće sunčev sistem sa planetom Zemljom na kojoj živimo se naziva svemir, vasiona, univerzum ili kosmos. To je kako mnogi smatraju bezgranično prostranstvo, ovo je možda tačno, a možda i nije. U ovoj knjizi ćemo ga zvati svemirom. U svemiru postoje galaksije koje se sastoje od zvezda, neutronske zvezde, ugašenih zvezda (raznih vrsta zvezdanih patuljaka – belih, crvenih, braon...), crnih rupa, maglina izgrađenih od gasova, planeta, planetoida, satelita, meteora, kometa i po novim podacima astrofizike tamne materije i tamne energije od koje je izgrađen najveći deo svemira. Danas se smatra da je svemir nastao „velikim praskom“ pojavom gde je od bezgranično malog prostora - singulariteta (navodno nekoliko milimetara) u kome su bili bezgranično veliki pritisci i temperature, nastao u nekom vremenskom periodu (po poznatim podacima, do danas u periodu od 13,5 do 14 milijardi godina), nastaje i dalje se menja.

Sam početak je bio prilično "dramatičan" iz **singulariteta** se dogodilo širenje sa konstitucijom energije, a potom materije eksplozijom. Do ideje "velikog praska" se došlo preko crvenog pomaka – Hablovog zakona (Edvin Hابل) – konstatacije nastale posmatranjem spektara galaksija - uočavanjem da se galaksije udaljavaju jedna od druge^[4.1].

Crveni pomak znači povećanje talasne dužine, što je ekvivalentno smanjenju frekvencije talasa (i energije fotona, u skladu sa kvantnim teorijama svetlosti). Dakle kada se uporedi spektar Sunca i dalekih galaksija vidi se pomeranje ka većim talasnim dužinama. Kada se radi spektralna fotografija neke zvezde, koja je bele boje, dobija se pun spektar svetlosti, od ljubičaste do crvene, nešto kao duga na nebu. Na takvom snimku postoje crne linije jer elementi zvezde – npr. našeg Sunca apsorbiraju svoje frekvencije svetlosti (posebno H i He) i to se na spektralnom snimku vidi kao crne linije – spektralne linije. Tako se došlo do zaključka od čega je izgrađeno Sunce iako nisu mogli da se urade uzorci (pored H i He, još i O, C, jako malo Fe...). Na ovaj način su urađene fotografije spektara i dalekih galaksija. Kada bi se galaksije približavale Zemlji spektralne linije bi išle u pravcu plavog dela spektra, ako se galaksije udaljavaju spektralne linije idu prema crvenom delu spektra. Što su spektralne linije udaljenije prema crvenom delu spektra, galaksija se brže udaljava od Zemlje (posmatrača).

Tako se došlo do zaključka da što su galaksije udaljenije, brže se udaljavaju. Kada se posmatra obrnuto (reverzibilno) došlo se do zaključka da je sve u svemiru moralo biti na jednom mestu, to jedno mesto može biti samo jedna tačka^[4.1].

Postoji nekoliko pristupa fizici, tačnije različiti su fizički zakoni na različitim nivoima observacije. Jedno su zakoni koji važe pri malim brzinama. Šta su to male brzine - pa uslovno do brzine zvuka i veličina – recimo jabuke – uprošćeno ove vrednosti bi bile okvir Njutnovih zakona fizike. Za razliku od njih, drugačiji su zakoni velikih brzina - brzina svetlosti i malih veličina npr. fotona ili elektrona – u ovim slučajevima su zakoni fizike drugačiji, ovde mora da se pomene kvantna mehanika gde je osnovni postulat da se energija iz bilo kog izvora emituje isključivo u diskretnim malim količinama. Mnogi naučnici su se bavili ovom problematikom, jedan od njih Džordž Gamov je pretpostavio da postoji pozadinsko kosmičko mikrotalasno zračenje uzrokovano velikim praskom, što je dokazano 60-tih godina XX veka. Agencija NASA je napravila WMAP sondu (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe – Vilkinsonova sonda mikrotalasne anizotropije) čime je dokazana teorija velikog praska.



Slika 4.1: Šematski prikaz crvenog pomaka^[4.1]

Naučnici čije ideje i rad su dovele do koncepta velikog praska, a čije biografije zainteresovani mogu da prouče su – na engleskom radi lakšeg snalaženja: Alexander Freidmann, Georges Lemaitre, Fritz Zwicky, Edwin Hubble, William de Sitter, George Gamow, Ralph Alpher, Robert Herman, David Todd Wilkinson, posredno Albert Einstein i Max Planck, sigurno ima i drugih, neki su sarađivali, neki nisu, slagali su se ili ne, rezultat je trenutno opšte prihvaćena teorija nastanka svemira.

Deo svemira koji se može opservirati se zove "vidljivi" svemir. Kada je svemirski teleskop „Habl“ usmeren ka tamnom delu svemira i vršeno dugotrajno snimanje, dobijeni snimci se nisu konceptualno razlikovali od svemira koji je moguće "normalno" videti teleskopom Habl.

Pa bi se uprostilo: prema ekspanziji koja teče još od velikog praska može se uslovno napraviti podela u smislu vidljivog i nevidljivog svemira na sledeći način: 1. sadašnji svemir starosti oko 13,7 - 14 milijardi godina sa „normalnim galaksijama“, 2. hablovo (teleskop) „duboko polje“ do starosti svemira od trenutka velikog praska do oko 1 milijarde godina gde egzistiraju galaksije i produkti velikog praska, 3. hablovo „ultra duboko polje“ gde egzistiraju galaksije gasne magline i primordijalne čestice starosti od 0,7 do 0,4 milijarde godina od velikog praska, 4. prve galaksije, 5. prve zvezde, 6. „tamni eoni“ i 7. radijaciona era^[4.3].

Treba znati da je iz pomenutog singulariteta nastala sva materija, energija, prostor i vreme. Dogodile su se dve glavne faze - Ere svemirske evolucije: 1. Era radijacije i 2. Era materije^[4.4].

Prva Era - radijacije je nastala odmah posle "velikog praska", a razvijena je kroz nekoliko epoha:

1. **Plankova epoha** - odmah posle velikog praska, temperatura je 10^{40} Kelvina, nema materije nego "super sila ili sjedinjena sila" iz koje kasnije proizilaze 4 glavne sile u prirodi (gravitacione, jake nuklearne, slabe i elektromagnetne sile i možda kao peta sila tamna energija), pri kraju Plankove epohe izdvaja se gravitaciona sila.

Maks Plank je nemački fizičar koji je postavio hipotezu da izvor energije može da zrači energiju samo u diskretnim količinama - kvantima;

2. **Epoha Velikog ujedinjavanja** - 10^{-43} sekunde od velikog praska, temperatura je 10^{36} Kelvina, ostaju tri preostale sile - jaka nuklearna, slaba i elektromagnetna sila, na kraju ove epohe izdvaja se jaka nuklearna sila;
3. **Epoha Razvlačenja** - 10^{-36} sekunde od velikog praska, temperatura je 10^{33} Kelvina, svemir se radikalno širi raste od veličine atoma do veličine pomorandže nastaju elektroni, kvarkovi i antikvarkovi.

Elektron je deo atoma negativnog naboja, okružuju jezgro atoma po predefinisanim energetske orbitalama. Kvark je čestica - konstituent protona i neutrona, imaju spin (unutrašnji momenat impulsa – figurativno liči na čigru koja se vrti) i naelektrisanje. Antikvark je čestica kao i kvark ali ima suprotno npr. naelektrisanje;

4. **Epoha Elektro-slabe sile**, 10^{-32} sekundi od velikog praska, temperatura je 10^{20} Kelvina, kada se elektomagnetna i slaba sila razdvajaju;

5. **Kvark-na epoha**, 10^{-12} sekundi od velikog praska, temperatura je 10^{16} Kelvina, svi budući konstituenti materije su tu ali je svemir još uvek suviše gust i temperatura još uvek suviše visoka da bi se subatomske čestice spajale;
6. **Hadron-ska epoha**, 10^{-6} sekundi od velikog praska, temperatura je 10^{10} Kelvina, svemir se dovoljno hladi da kvarkovi mogu da se vežu i da formiraju neutrone i protone.

Hadron je čestica izgrađena od dva ili više kvarkova vezanih jakim nuklearnom silom. Neutron je deo atoma – čestica bez naelektrisanja. Proton je deo atoma – čestica pozitivnog naelektrisanja. Jezgra od neutrona i protona se nazivaju nukleonima/nukleusi atoma i zajedno su jezgra svih elemenata osim vodonika čiji atom se sastoji od jednog protona i jednog elektrona;

7. **Lepton-ska epoha**, 1 sekund posle velikog praska, protoni i neutroni mogu da formiraju nukleuse atoma.

Leptoni su čestice od kojih ne nastaju druge čestice, reaguju na slabu silu, masu imaju manju od kvarka i za razliku od kvarkova mogu da postoje kao slobodni u svemiru. Spadaju u kategoriju fermiona – čestice gde u nekom sistemu ne postoje dva koja su u istom stanju (Paulijev princip isključenja...);

8. **Nuklearna epoha**, 100 sekundi posle velikog praska temperatura je 10^9 Kelvina, nastaje prvi element u svemiru - helijum.

Druga Era - materije ima tri epohe: atomsku, galaktičku i zvezdanu.

1. **Atomska epoha**, 50.000 godina posle velikog praska, temperatura je 3000 Kelvina. Svemir se dovoljno ohladio da elektroni mogu da se vežu za nukleuse atoma, proces nazvan rekombinacijom, omogućava da nastane vodonik. Zajedno sa helijumom vodonik formira atomske oblake.
2. **Galaktička epoha**, 200 miliona godina posle velikog praska, vodonik zajedno sa helijumom stvara oblake od atoma, u ovim oblacima u nekim dovoljno velikim koncentracijama gasa gravitacija dovodi do sakupljanja atoma, ovo su začeci budućih galaksija;
3. **Epoha Zvezda**, 3 milijarde godina od velikog praska, unutar gneзда-koncentracija gasa, u okviru budućih galaksija počinju fuzijom da se pale - formiraju zvezde, ova epoha traje do danas.

Ne postoji apsolutno identičan “timing” tj. redosled u svim literaturnim izvorima, ovde je prikazan okvir koji u manjoj meri varira od autora do autora.

4.1 TEORIJE O BUDUĆNOSTI SVEMIRA^[4.5]

Danas se svemir širi i to je dokazano, ako se širenje nastavi, neumitno će ovaj proces dovesti do "velikog hlađenja - big freeze" gde za 10^{34} godina prestati da postoje i protoni, na kraju i zbog zračenje crnih rupa (Hokingovo – Stephen Hawking - zračenje - smanjivanje crne rupe) će možda preostati po neka čestica tj. velika praznina.

Hokingovo zračenje proizilazi iz crne rupe zbog kvantnih pojava na "horizontu događaja". Horizont događaja je npr. foton - svetlo koje je generisano u crnoj rupi (uprosćeno objašnjenje) i ne može da stigne do posmatrača - ne može da pređe horizont događaja, iako ne stiže do posmatrača, ipak se događa (svetlo – fotoni - kvanti stvoreni u crnoj rupi ne dopiru do posmatrača ali crna rupa ipak gubi energiju i zato se smanjuje, pa će u nekom trenutku i nestati).

Postoji i teorija da će možda doći i do "velikog sažimanja - big crunch" i ponovo dovesti do singulariteta odakle će krenuti nov veliki prasak..., što je na nivou teorije jer se svemir ne samo širi nego se njegovo širenje i ubrzava.

Na kraju sa aspekta razmatranja tamne energije postoje dve varijante: 1. ako se tamna energija povećeva vremenom moguće je da će se svemir pokidati na atomskom nivou – "big rip" i 2. ako se tamna energija smanjuje - možda će doći do sažimanja. Trenutno kao što je rečeno svemir se širi i proces se ubrzava.

Ovo je ukratko koncept koga ćemo se pridržavati i za koji autori smatraju da je verovatno tačan, osim naravno špekulacija šta će sa svemirom biti ubuduće.

Postoje i teorije o multiverzumu, tj. da svemira ima više, takođe i sa aspekta kvantne mehanike da varijante svemira egzistiraju paralelno, ali ova razmatranja daleko prevazilaze potrebe ovog predmeta.

4.2 NASTANAK ELEMENATA

Velike super masivne zvezde umiru brzo, nekoliko milona godina po paljenju fuzije u njima - nestaće dramatično kao supernove. Njih je relativno malo u odnosu na manje koje će postati beli patuljci.

Postoje dve varijante nastanka belih patuljaka. Prva je da jako male zvezde - crveni patuljci će goreti trilionima godina dok ne postanu beli patuljci.

Druga je da zvezde kao što je naša (ili dimenzija od 0,4 do 10x našeg Sunca) će stvarati helijum od vodonika uz oslobađanje energije i tako održavati ravnotežu između fuzije-gravitacije-oslobodene energije. Kada se potroši vodonik zvezda će sagorevati helijum i stvarati teže elemente. Pri tome će izgubiti svoje spoljašnje delove i povećati zapreminu kao crveni džin - vodonik koji je u omotaču će se sabijati i na kraju razneti u svemir. Temperatura površine zvezde će se smanjivati i zato postati crvene boje. Više od pola sunčeve mase će tako otići u svemir, ovo će se/može dešavati u pulsacijama – višefazno, tako nastaju planetarne magline. Ono što preostane je sunčevo jezgro - beli patuljak. Beli patuljak će biti izgrađen uglavnom od ugljenika i kiseonika. Beli patuljci mogu da postoje do 100 milijardi godina i za to vreme da zrače temperaturu od nekoliko hiljada celzijusa.

U velikim zvezdama tokom procesa fuzije od vodonikovih atoma nastaje helijum pri čemu se naravno oslobađa ogromna količina energije, zatim slede ugljenik, magnezijum, kiseonik i svi drugi elementi Mendeljejevog periodnog sistema do gvožđa. Tokom ovih procesa energija se oslobađa - reakcije su egzotermne, više energije izlazi iz sistema nego što ulazi. Tako se centar zvezde puni energijom i održava se ravnoteža. Gvožđe je sa nuklearne tačke gledišta najstabilniji element. Kada zvezda pokuša da nastavi sa procesom fuzije ali sad sa gvožđem, gvožđe uzima energiju tokom fuzije, dakle proces je endoterman. Tokom fuzije gvožđa energija se uzima - apsorbuje umesto da se oslobađa, da bi se podržalo funkcionisanje zvezde. Kada dođe do fuzije Fe zvezda dramatično umire u nekoliko milisekundi. Umesto da je u ravnoteži sa gravitacijom, gravitacija nestaje i zvezda se urušava. Ovaj kolaps se naziva eksplozija supernove. Temperatura u centru zvezde je toliko visoka da nastaju svi drugi teži elementi koje znamo da postoje u svemiru. Ovo se dešava za ljudske pojmove trenutno, u milisekundama^[4,6].

4.3 RELATIVNOST VREMENA OBSERVACIJE DOGAĐAJA U SVEMIRU

Uvek, o čemu god pričali vezano za svemir, treba da imamo u vidu da ono što se vidi očima, teleskopom Hubble ili bilo kojim drugim instrumentom je stiglo do nas brzinom od 300.000 km u sekundi (brzinom svetlosti) i da nešto što se dogodilo pre 1000 godina – 100.000 – 5 miliona – 10 miliona – 100 miliona godina možda još nije stiglo do nas, dakle šta god da vidimo u svemiru - vidimo prošlost.

4.4 NEKE PRIMEDBE NA TEORIJU "VELIKOG PRASKA"

Postoje različiti pristupi i druge teorije o nastanku i funkcionisanju Svemira tj. da u jednom trenutku iz nekog razloga dolazi do sažimanja. Ako npr. tamna energija postane slabija – “ispuca se”, potroši, pa prevlada gravitaciona sila.

Ostaje problem transformacije materije u energiju. Pitanje je da li materija uopšte postoji. Videli smo da je nastala u suštini od “reorganizovane” energije. Distance i dimenzije na nivou atoma su izvanredne vrednosti. Elektroni su jako udaljeni od jezgra atoma. Ako bi zamislili u atomu vodonika proton kao tenisku lopticu elektron bi bio udaljen od nje oko 1300 metara. Vrte se ogromnim brzinama oko jezgra po diskretnim orbitalama i u suštini materija je prazan prostor ispunjen elektromagnetnim i nuklearnim silama koje drže atom na okupu. Galaksije se udaljavaju, postoji tamna materija i da je nema galaksije ne bi ni postojale zato što ne bi imale dovoljnu masu da bi se uopšte konstituisale. Postoje različite varijante “kraja” svemira. Od trenutka kada popuštaju gravitacione sile pa planete “napuštaju” svoje orbite, zvezde izlaze iz orbita za npr. 10^{16} godina, protoni se razlažu za 10^{34-40} godina. Posle nestanka poslednje crne rupe za 10^{150} godina fotoni ostaju fotoni (dali će se sudarati i tada stvarati materiju? – što piše u knjigama da se dešava), za 10^{1000} godina svemir je u stanju niske energije, spominju se mogući kvantni događaji (kvant je najmanja nedeljiva količina energije), dakle na pretpostavljenom kraju egzistencije svemira, kao i na početku velikog praska, opet je sve svedeno na energiju. Sve ovo važi ako se nastavi širenje svemira. Dakle ostaju praznine u teoriji i niko ne tvrdi da ih nema. Potrebna je izgleda još jedna generacija naučnika i novih ideja da bi se ovo znanje zaokružilo. Na ovim pitanjima se intenzivno radi, spomenuli bi samo Akcelerator blizu Ženeve “Veliki Sudarač Hadrona” (Large Hadron Collider).

4.5 FILOZOFSKO-RELIGIJSKA OBJAŠNENJA STVARANJA SVEMIRA

Smatramo da je potrebno da pomenemo i nenaučne filozofsko – religijske pristupe nastanka sveta.

Na prvom mestu kao nama najbliži je monoteistički judeo-hrišćanski po kome se smatra da je svemir i svet (planeta Zemlja i sve na njoj) stvoreno od apsolutno moćnog i pravednog bića koje se naziva Bog. Bog je kod hrišćana Bog Otac, Sin i Sveti Duh (Sveta Trojca) i stvorili su nebo, Zemlju i sve što se vidi i ne vidi ni iz čega. Kod muslimana je Alah stvoritelj i vladar svih svetova, stvorenja i sila. U Judaizmu stvoritelj je Bog gde su objašnjenja nastanka sveta ista kao kod hrišćana (Stari Zavet). Ovo se konceptualno slaže sa teorijom velikog praska. Kraj sveta je prikazan kao dramatična apokalipsa svega, sa suđenjem svih samosvesnih stvorenja, posle čega sledi egzistencija bića na nivou duha. Duh je po ovom konceptu neuništiv i večan.

Dobra bića će biti sa tvorcem u stanju kontinualne prijatnosti i sreće - raju, a ona loša u stanju kontinualne krajnje neprijatnosti – paklu. Monoteista koji su čuli za pomenuti koncept stvaranja sveta, uključujući i varijetete na svetu ima 4,2 milijarde (Hrišćani, Muslimani i Judaisti).

Drugi koncept koji bi spomenuli je budistički koji uopšte ne razmatra energetsko - materijalni svemir ni postanak zvezda, planeta i drugog. Po Budizmu svet je ništa po sebi i za sebe. Ne postoji bez posmatrača (Dekartovo - Mislim dakle postojim). Ipak smatra se da je Buda dao sledeće konstatacije: Da je Zemlja jedno od mnogih tela u svemiru nastalo “prirodnim silama” (nije definisao prirodne sile). Zemlja je krug – sfera koja je na vodi, a voda na vazduhu koji je u prostoru. Postanak sveta se razmatra sa aspekta lične opservacije posmatrača, onoga što je vidljivo – postojeće, što se može osetiti čulima gde želja za spoznajom dovodi do patnje (iz želje za znanjem - spoznajom). Kraj sveta se opet postavlja kao smrt pojedinca, dakle smrću opservatora prestaje i svet. Budista ima nešto manje od 500 miliona.

Raniji koncepti, mnogobožački su manje više slični i prilično preslikavaju odnose u ljudskom društvu. Po egipatskoj mitologiji pre nastanka sveta bio je kaos u vidu vodene mase odakle je u jednom trenutku izronilo ostrvo od blata..., zatim se na ostrvo spustila ptica, pa su se iz tame pojavili polubogovi koji su skupljali trsku, lotos i drugo i od toga gradili sklonište za pticu. Po starim Grcima je takođe bio kaos odakle su se rodili Gea – zemlja i Uran – nebo, imali su decu titane, zatim je Uran iz straha za presto zatvorio titane pod Zemlju, jedan je pobeo Hronos – vreme, dalje nabrojanje je nepotrebno.

4.6 KONSTITUENTI SVEMIRA

Prikazaćemo u kratkim crtama galaksije i tamnu materiju, zvezde, neutronske zvezde i crne rupe, magline ili nebule, planete i satelite, komete i asteroide.

4.6.1 GALAKSIJE, TAMNA MATERIJA I TAMNA ENERGIJA

Galaksije su sistemi koji gravitacijom povezuju zvezde, crne rupe, gasne magline, zvezdano-planetarne sisteme kao što je sunčev sistem, planete, planetoide, satelite, komete, meteorite i sav ostali kosmički materijal. Različitih su veličina i oblika. Dimenzija su od nekoliko desetina hiljada do nekoliko stotina hiljada svetlosnih godina. Mogu da sadrže od 10 miliona do bilion (hiljadu milijardi) zvezda. Smatra se da u „vidljivoj delu“ svemira ima preko 100 milijardi galaksija. Galaksije su međusobno udaljene više miliona svetlosnih godina. Mogu egzistirati u grupama (jato i super jato).

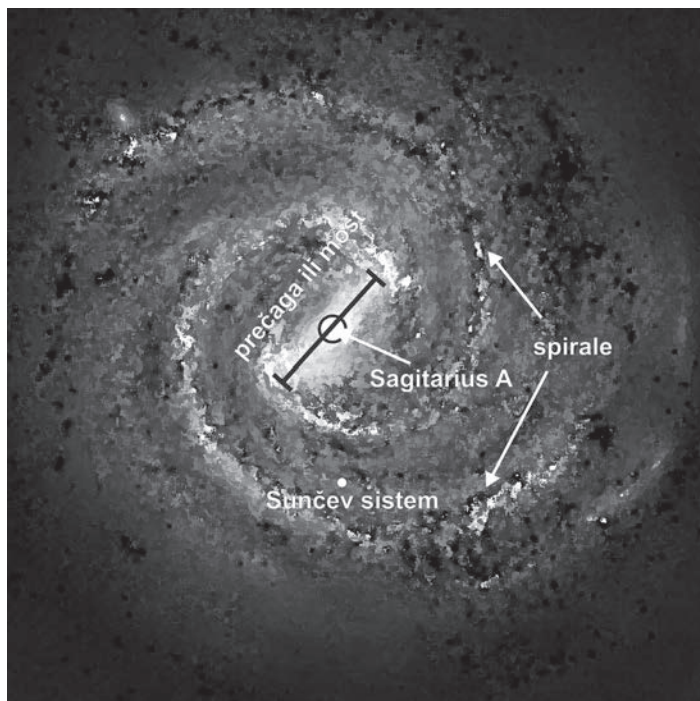
Na osnovu računanja došlo se do zaključka da galaksije nemaju dovoljno vidljive materije koja bi gravitaciono držala galaksije na okupu, pa se došlo do pretpostavke da postoji tzv. „tamna materija i energija“ koje sačinjavaju 95% svemira, tj. 27% materijala u svemiru čini tamna materija i 68% tamna energija^[4.7]. Smatra se da se u centru svake galaksije nalazi masivna crna rupa. U slučaju galaksije „Mlečni put“^[4.8], u kojoj se nalazi Sunčev sistem, crna rupa se zove Sagitarijus A (Strelac A) i ima masu 4 miliona puta veću od našeg Sunca i snažan je radio izvor. Generalno osim tamne materije i energije, od onih 5% u galaksijama, 75% je vodonik, 25% je helijum i oko 1 % su teži elementi.

Naša galaksija spada u kategoriju galaksija koje se zovu „spiralne galaksije sa prečagom ili premošćena spiralna galaksija“. Naziv Mlečni put vodi još od stare Grčke preko Rimljana, a u suštini je zato što se galaksija vidi sa naše tačke gledišta sa unutrašnje strane. Na srpskom jeziku se zove Kumova slama. Pretpostavlja se da u mlečnom putu ima 100 do 400 milijardi zvezda i oko 100 milijardi planeta. Naš sunčev sistem se nalazi 26.000 svetlosnih godina od centra galaksije. Zvezde u galaksiji se kreću (rotiraju) brzinom od 200 km/s. Ceo Mlečni put se kreće oko 600 km/s. Da bi sunčev sistem obišao pun krug oko centra galaksije potrebno je 220 godina.

4.6.2 ZVEZDE, NEUTRONSKE ZVEZDE I CRNE RUPE^[4.8]

Zvezda je objekat koja termonuklearnom reakcijom – fuzijom pretvara vodonik u helijum pri čemu se stvara ogromna količina energije. Gasovi zvezde su u stanju plazme. Pored vodonika i helijuma zvezde sadrže i veoma malu količinu drugih elemenata. Energiju izbacuju kao elektro magnetno zračenje. Svi elementi teži od helijuma i litijuma (možda bolje rečeno svi elementi osim vodonika, helijuma, litijuma i deuterijuma koji su nastali tokom velikog praska) su nastali u zvezdama procesom nukleosinteze. Jedan od važnih pojmova je Čandeskarova granica (Padma Subramanijan Čandrasekar) konstanta koja iznosi 1,4 veličine našeg Sunca. Važna je iz razloga što kada zvezde dimenzija do Čandeskarove granice potroše svoj vodonik pri gravitacionom kolapsu postaju beli patuljci dok zvezde veće od 1,4 veličine našeg Sunca pri gravitacionom kolapsu postaju supernove. Evolucija zvezde počinje gravitacionim sažimanjem gasa do te mere da u jednom trenutku započinje termonuklearna reakcija fuzija. Od 4 atoma vodonika nastaje jedan atom helijuma pri gubitku mase od 0,7% na 4 atoma H od kojih nastaje jezgro He. Nastala energija se manifestuje uglavnom kao gama zračenje koje se apsorbuje od materije u centru zvezde, što omogućava nastavak procesa. Gustina H je 10^5 kg/m^3 dok je temperatura sistema $274,15 \times 10^7 \text{ }^\circ\text{C}$. Ako proto-materijala ima malo, nastaju braon patuljci jer ne može da se postigne dovoljno velika temperatura za započinjanje termonuklerane reakcije. Treba spomenuti Hercšprung-Raselov niz – grafik koji prikazuje temperaturu na apscisi i luminoznost (energiju na svim talasnim dužinama koju zvezda emituje u 1 sekundi) na ordinati dijagrama.

Male zvezde do 1,4 solarne mase ne mogu da postanu supernove. Slede dve varijante kraja masivnih zvezda: neutronska zvezda i crna rupa. Neutronska zvezda je ostatak masivne zvezde posle faze supernove. Imaju male dimenzije, izuzetno veliku gustinu, snažno gravitaciono polje i jako rendgensko zračenje. Crna rupa je ostatak super masivne zvezde koja kolabira posle eksplozije kao super nova u jednu tačku – singularitet, pri čemu zadržava svoju masu. Njeno gravitaciono polje je izuzetne jačine i bilo kakva materija ili radijacija ne mogu da napuste prostor crne rupe. U ovim objektima prostor-vreme je beskonačno zakrivljeno (horizont događaja).



Slika 4.2: Šematski prikaz Mlečnog puta - galaksije gde se nalazi naš sunčev sistem

4.6.3 MAGLINE ILI NEBULE

Magline su kosmičke koncentracije gasova i čestica. U maglinama su uočena i jata zvezda. Magline mogu biti emisione, planetarne, difuzne, refleksione, tamne, ostaci supernovih i protoplanetarne.

4.6.4 PLANETE I SATELITI^{[4.10], [4.11]}

Planete su sferični objekti koji se uglavnom kreću oko neke zvezde, a postoje i lutajuće planete koje putuju svemirom. Putanje kretanja oko zvezda su eliptične. Ime vodi poreklo od grčkog termina “planetes” – litalica. To su takođe svemirska tela koja nemaju svoj vlastiti fuzioni izvor energije. Po dimenzijama mogu biti veličine kao Zemljin satelit Mesec pa do 2x većih od Jupitera. Po sastavu mogu biti kamene – izgrađene od stena i gasovite. Proučavaju se jako dugo, od početka čovekovog sistematičnog posmatranja neba, dakle od prvih civilizacija do danas. Do sredine XX veka smatralo se da ih ima 9 u našem sunčevom sistemu. Sa razvojem tehnike moguće je na osnovu promene svetlosti zvezda nalaziti planete i na jako velikim udaljenostima. Sistem observacije se zove „Tranzit“, a u suštini radi se o satelitu TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) lansiranog 2018. godine koji skenira delove svemira u trajanju od dve godine i na osnovu dobijenih podataka se određuje na koji način neka zvezda menja intenzitet svetla i na taj način se određuje da li se radi o planeti koja oko te zvezde kruži – prolazi – tranzit. Smatra se da nastaju iz nebule tokom formiranja protozvezde. Činjenica je da u nebulama egzistiraju fragmenti stena i minerali koji su nastali u ranijim ciklusima formiranja zvezda i planeta, njihovom destrukcijom i recikliranjem. Pri “paljenju” zvezde dejstvom solarnog vetra prostor se “očisti” i ostaje materijal koji je u suštini definisan kao protoplaneta. Tokom vremena neke će se sudariti, neke će se spojiti dok se u jednom trenutku ne uspostavi ravnoteža i definiše sistem zvezda – planete koji može biti sličan našem. Nisu svi sistemi zvezda – planete kao Sunčev sistem. Negde može biti jedna velika gasna planeta ili više planeta. Vremenom planete “očiste” svoju okolinu, materijal biva gravitacijom privučen, veći fragmenti oko planete se takođe mogu spojiti i formirati satelite.

Planete mogu imati satelite. Sateliti su nastali od istog protoplanetarnog materijala kao i planete. Mogu biti različitih veličina. Veći i sferični sateliti imaju relativno pravilnu putanju. Neke planete nemaju satelite, dok neke mogu imati više. Manji i nepravilni sateliti mogu biti asteroidi koji su na svom putu ostali zarobljeni gravitacijom planete. Neki sateliti imaju vulkane, gejzire, a neki okeane. Takozvani “regularni sateliti” u Sunčevom sistemu su uglavnom istom stranom okrenuti prema matičnoj planeti.

4.6.5 KOMETE^{[4.10], [4.11]}

Komete su svemirska tela izgrađena od fragmenata stena (velikih varijacija u dimenzijama) gasova i leda. Različitih su dimenzija. Uglavnom dolaze iz Kajperovog pojasa i delom iz Ortovog oblaka. Putanja kometa može biti pravilna i nepravilna, uglavnom je eliptična, takođe, različitih su veličina. Neke komete kao npr. Halejeva imaju ciklus od 74 - 79 godina, a neke prođu samo jednom tako da budu vidljive sa Zemlje, jedan njihov deo završi na Suncu, a deo biva izbačen nepovratno u svemir. Kada se dovoljno približe Suncu i kada se podigne temperatura počinju da ispuštaju gas i fragmente što se naziva "koma" i vidi se kao "rep" iza komete. Rep u suštini ima smer suprotan od kretanja komete u odnosu na Sunce. Komete Šumaker-Levi 9 je spektakularno završila svoj život 1994. godine kada se raspala a njeni delovi su udarili u Jupiter. Neke komete tokom višefaznog prolaska pored Sunca izgube svoju "atmosfera" ili isparljive materije tako da mogu ličiti na meteorite. Danas postoje teorije da je najveći deo vode na površini Zemlje poreklom sa kometa. Lični komentar B. Vakanjca, a na osnovu višedecenijskog proučavanja ležišta mineralnih sirovina nastalih "hidrotermalnim" procesima je da u suštini u primordijalnom vrelom stenskom materijalu od koga je nastala planeta Zemlja i njen satelit Mesec nema dovoljno vode, napominjemo da je ovo iskustvena subjektivna konstatacija (ima i drugih kolega koji bi se složili sa tim), da je i bilo dovoljno vode, okeani danas ne bi bili samo slani nego i sa mnogo više sumpora, magnezijuma i drugih elemenata. Tu je pojava tzv. sekundarnog biotita za čiju genezu je potrebna velika količina vode, dakle uslovi pod kojima je stvaran sekundarni ili neobiotit su bili ispod mora. Nešto je trebalo da donese vodu na površinu planete Zemlje, verovatno komete. Danas se komete intenzivno proučavaju satelitima. Na kometu Čurjumov-Gerasimenko je poslata sonda Rozeta i na kometu je spušten rover. U većini naroda su se ranije (a i danas) komete smatrale lošim predznakom, posle njihovog pojavljivanja sledili su glad, epidemije, ratovi..., a ovo je iskorišćeno u filmskoj industriji itd. Subjektivni stav autora, a i nepotvrđen delom se poklapa sa pretpostavkama Čandre Vikramasinga i Freda Hojla je da ako ima leda na ovim telima, možda ima i fragmenata DNK, ali ipak ponavljamo da su ovi stavovi neprovereni.

4.6.6 ASTEROIDI^{[4.10], [4.11]}

Asteroidi su svemirska tela uglavnom nepravilnog oblika stenskog ili metaličnog sastava. Najveća grupa se nalazi u pojasu između Marsa i Jupitera, i još 2 grupe na Jupiterovoj putanji, ispred i iza Jupitera (ove dve grupe se nazivaju Grci i Trojanci). Uglavnom su nepravilnog oblika, mogu se kretati u gravitacionim grupama. Dogovor je da su asteroidi svemirska tela veća od 50 metara. Manja tela se nazivaju meteoroidima. Smatra se da je ukupna količina asteroida deseti deo mase našeg Meseca.

Jedan od asteroida dimenzija nešto preko 11km je pre 65 miliona godina doveo do masovnog izumiranja dinosaurus. Udario je na prostor sadašnjeg poluostrva Jukatan i za ovu teoriju postoje dokazi. Danas se intenzivno prati kretanje asteroida. Postoji tzv. grupa asteroida NEA (near Earth Asteroides) podeljeni u tri grupe: Amor, Apolo i Aton.

4.7 NASTANAK SUNČEVOG SISTEMA I PLANETE ZEMLJE

Sunčev sistem je izgrađen od: Sunca, planeta, planetoida, kometa, asteroida, meteroida, prašine i gasova.

Svuda se spominje Kant-Laplasova hipoteza o nastanku sunčevog sistema - po njima se radi o tome da se gas i fragmenati od kojih kasnije nastaju neke planete zgušnjavaju zbog gravitacionih sila što dovodi do porasta temperature u centru sistema itd. Suština je nešto drugačija.

U nekom prostoru galaksije kao što je naša, potrebno je da postoji međuzvezdani oblak - nebula. Može da bude i deo veće magline od koje se odvojio. Taj oblak rotira kao i ostali delovi galaksije oko masivne crne rupe koja svojom gravitacijom drži konstituente galaksije u gravitacionom sistemu. Unutar čestica oblaka postoji magnetno polje kao i gravitacione sile, što dovodi do rotacije ali ne i dovoljnog sažimanja materijala prema centralnom-najgušćem delu magline. Da bi gasna nebula započela proces koji će dovesti do formiranja jednog ili više zvezda - planetarnih sistema potrebno je da bude inicirana eksplozijom supernove. Energija dovodi do ubrzanja rotacije nebule što uslovljava sažimanje, gravitaciju i preraspodelu materijala. Od materijala supernove stižu teški elementi, kojih možda delom već i ima u nebuli u nekoj meri. Ako je supernova bila inicirana belim patuljkom i nekom zvezdom, u sistemu je i dosta kiseonika koji sa slobodnim vodonikom iz nebule može da formira molekule vode. Kako u Sunčevom sistemu postoje "kamene" planete to znači da je materijal nastao od neke prethodne eksplozije supernove i ostataka crvenog džina, rasutog, ranije već stvorenog terestričkog materijala. Da uprostimo materijal od koga je nastao sunčev sistem je verovatno "recikliran", a moguće i da je došlo i do mešanja sa do sada "neiskorišćenim - primarno nebularnim" gasovima tj. vodonikom i helijumom. Od prvobitnih hondrita - asteroida nastalih sakupljanjem primordijalnih minerala, gravitacijom i sudaranjem nastaju veća tela koja su osnova budućih planeta. Neke ostaju kamene, a neke po nastanku proto planetarnog jezgra gravitacijom preuzimaju slobodni gas pa nastaju "gasni džinovi" kao što su Jupiter i Saturn. Ovi procesi se odvijaju dok se zvezda u potpunosti ne upali. Na obodu termalnog delovanja zvezde postoji granica koja deli ostatak planetarnog sistema i zvezde. Orbite planeta su još nestabilne, dolazi do presecanja i eventualnih sudara kao što je hipotetički sudar Zemlje i Teje od koga je navodno nastao Zemljin Mesec.

Deo proto materijala koji se nalazi između nekih planeta nije mogao da formira planetu zbog jakih gravitacionih sila npr. Jupitera, pa je tako nastao asteroidni oblak. Danas su viđeni sistemi koji još nisu definisani kao Sunčev sistem. Postoje gasovi koji ometaju viđenje nove zvezde u nastanku i gde se odvija proces gravitacionog "čišćenja" prostora oko proto-planeta. Osim navedenog, odnos deuterijuma i običnog vodonika kod vode iz asteroida iz asteroidnog pojasa sličniji nego kod kometa iz Ortovog oblaka i Kajperovog pojasa. Iako je tela sa vodom u asteroidnom oblaku mnogo manje nego pre npr. 3,8 milijardi godina, kao i asteroida, svakodnevno se otkrivaju novi podaci.

Sada dolazimo do složenih fizičkih procesa i relacija ugaonih kretanja, magnetnih polja koja ćemo na ovom nivou izostaviti. U jednom trenutku sile kretanja, magnetizma i gravitacije dovode do sažimanja protozvezdanog materijala do te mere da se pokreće nuklerana reakcija fuzije - pretvaranja vodonika u helijum uz oslobađanje energije (više puta spomenuto ranije u tekstu). Tako nastaje novo sunce. Tokom sažimanja gasova i drugog materijala od koga je izgrađeno novo sunce, nisu svi gasovi i stenski materijal "stigli" do centra od koga je postalo novo sunce. Deo materijala je ostao na nekoj udaljenosti, a i deo je posle paljenja nove zvezde "izbačen" na periferiju sunčevog sistema i dalje u Svemir.

4.8 OSNOVNE KARAKTERISTIKE SUNČEVOG SISTEMA^{[4.10], [4.11]}

Sunčev sistem čine: Sunce, kamene planete, gasne planete, patuljaste planete, planetoidi, sateliti, asteroidi, komete, meteoridi i prašina.

4.8.1 SUNCE

Gravitacioni centar našeg zvezda - planetarnog sistema, "Solarnog sistema" ili Sunčevog sistema je Sunce. Starosti je oko 4,6 - 5 milijardi godina. Procenjeni vek Sunca je 10 milijardi godina. Oblika je skoro savršene sfere. Prečnik Sunca je 1.392.000 kilometara. U procesu fuzije troši vodonik od koga nastaje helijum. Sadrži 74% vodonika i oko 24% helijuma kao i nešto malo O, C, Ca, Ne, Si, S, Mg, Fe i dr. Elementi osim helijuma nisu na ovom nivou nastali fuzijom u Suncu nego su "pokupljeni" - zaostali od proto-zvezdano-planetarnog materijala od koga je nastao Sunčev sistem. Temperatura na površini iznosi 5500 °C i bele je boje. Prividno izgleda žuto, ali to je zbog atmosfere na planeti Zemlji kroz koju ga vidimo (upozorenje: ne gledati u Sunce bez namenske opreme čak ni kod potpunog pomračenja). Iz razloga prolaska sunčanih zraka kroz atmosferu i ugla u zoru i suton ga vidimo kao crveno i prividno znatno veće.

Struktura sunca je:

1. **Jezgro** sa temperaturom od 14 - 15,6 miliona °C, izgrađeno je od vrelog zgusnutog gasa u stanju plazme - u jezgru se odvija proces fuzije, pritisak je preko 4 miliona tona.
2. **Zona zračenja**, je dimenzija do 70% prečnika posmatrano od centra. Ovde se ne događa proces fuzije, nije dovoljno visoka temperatura. Toplota se zračenjem prenosi prema spoljnim delovima.
 - **Tahoklin** – je prostor gde se dešava smicanje, zbog razlike u brzini rotacije između zone zračenja i zone konvekcije.
3. **Zona konvekcije**, ovde plazma nema dovoljnu gustinu i temperaturu za prenos toplote zračenjem. Formiraju se petlje temperaturnog fluksa koji nosi energiju do fotosfere, a hladniji materijal se spušta i ponovo greje...
4. **Fotosfera** - neprozirni sloj koji je vidljiv i u suštini sa fotosfere se emituje svetlost. Debljine je approx. 160 do 300km. Ima veliku gustinu. Lokalno su na fotosferi razvijene mrlje, za ova posmatranja postoje posebni teleskopi, pokušaj posmatranja dvogledom ili slično dovodi do momentalnog slepila. Temperatura je od 7000 °K u donjim delovima do 4000 °K u gornjim delovima. Preko fotosfere se radira u svemir skoro sva energija Sunca. Mesta izbijanja vrelih gasova na površini imaju zrnastu strukturu dimenzija do 1000 km, izuzetno i 30.000 km kada traju jedan zemaljski dan.
5. **Hromosfera** je iznad fotosfere. Sa Zemlje ju je moguće videti (sa prikladnom opremom) prilikom potpunog pomračenja sunca, oko tamnog mesečevog diska. Izbacuje sunčev materijal - plazmu na distance i do 10.000 km. Izbacivanje Sunčevog materijala se manifestuje kao protuberance, sunčeve baklje i erupcije (sun flair).
6. **Korona** je razvijena u višim slojevima Sunčeve atmosfere u vidu plazme. Ima jako visoku temperaturu oko 1 miliona kelvina (možda i veću) i nije potpuno jasan razlog za to. Iako ima pomenutu visoku temperaturu mnogo je manjeg sjaja od fotosfere. Stalno gubi masu koja ide u svemir kao sunčev vetar - jako naelektrisane čestice. Ove čestice u interakciji sa Zemljinim magnetnim poljem daju efekat polarne svetlosti ili aurore borealis o čemu će kasnije biti reči.

Sunce ima cikluse koji se u proseku dešavaju svakih 11 godina. Najpoznatije su pege na fotosferi, tu su mesta gde dolazi do intenzivne interakcije magnenih polja različitih polova (pege se obično javljaju u parovima). Postoje periodi jake magnetne aktivnosti manifestovane pegama na fotosferi i sa manje aktivnosti. Uočene su još u staroj Kini, opisane u “Knjizi promena”, kod starih Grka – Teofrata, Platona i Aristotela, kasnije ih proučavaju Galileo Galilej, Tomas Hariot, Johan i David Fabricius... Pored pega, događaju se “fakule” – pojave povećanog sjaja od fotosfere. Na hromosferi se javljaju plaže, protuberance i erupcije. Na koroni rupe, kondenzacije i povremeni izvori radio zračenja.

Sunce će završiti svoj život kao beli patuljak. Pre toga će proći fazu crvenog džina kada bude “progutalo” Merkur, Veneru, a možda i Zemlju.

4.8.2 PLANETE^{[4.10], [4.11]}

U sunčevom sistemu postoje kamene i gasne planete. Ima osam planeta i pet patuljastih planeta. Prikaz detalja o planetama, kao što su orbitalni periodi, tačne dimenzije, udaljenost od Sunca u slučaju ove knjige nema nikakve svrhe, samo bi opterećivalo tekst, a zainteresovani lako mogu naći dostupnu štampanu i digitalnu literaturu. Neke planete kao npr. Mars su detaljno iskartirane (daljinskom detekcijom, veštačkim satelitima i teleskopima sa Zemlje), tj. postoje precizne topografske karte i ortofoto snimci cele planete, kao i Zemljinog satelita Meseca.

Kamene planete, od Sunca prema periferiji su Merkur, Venera, Zemlja i Mars.

Merkur je najbliži Suncu. Veći je od Zemljinog Meseca za 40%. Manji je od Jupiterovog Ganimeda i Saturnovog Titana. Ima magnetno polje. Skoro da nema atmosferu. Varijacije temperature na njegovoj površini su za ljudske pojmove ogromne od -173 noću do +427 danju. Vidi se sa Zemlje rano ujutru i uveče. Sonda Messenger je snimila celu površinu planete. Smatra se da jezgro Merkura je 42% planete (Zemljino je 17%), u jezgru dominira gvožđe. Na površini su konstatovani brojni krateri, posledice udara. Regolit Merkura je prašinast iz razloga brojnih udara i velikih temperaturnih oscilacija tokom dana i noći.

Venera je po dimenzijama slična Zemlji. Vidi se sa Zemlje u sumrak i zoru. Ima veoma gustu atmosferu, 92 puta gušću nego Zemlja. Ugljen dioksid čini 96% Venerine atmosfere, ostalo je uglavnom azot. Ovo dovodi do ekstremnog efekta staklene bašte, pa je temperatura na površini Venere 463 °C. Oko planete u atmosferi su i gusti oblaci sumporne kiseline. Magnetno polje je jako slabo, tačnije nema ga, ima indukovano magnetno polje zbog delovanja Sunca. Površina ima izgled pustinje sa stenama i sa aktivnim vulkanima - vulkanizam je prilično izražen i generalno je površina planete izgrađena od vulkanskih stena, ima 167 aktivnih vulkana, prečnika preko 100km. Smatra se da joj je strukturna građa slična Zemljinoj - kora, mantl i jezgro. Konstatovani su očuvani udarni krateri, dimnzija su od 3 do 280km.

Zemlja – o planeti Zemlji su dati detaljni opisi u narednom poglavlju i neće se ovde razmatrati.

Mars je manji od planete Zemlje, prečnik mu je upola manji od Zemljinog. Veći je od Merkura. Crvene je boje zbog velike količine oksida gvožđa na površini, tj, u njegovom regolitu. Ima dva satelita Dejmos i Fobos – Užas i Strah i nepravilnog su oblika, a Mars je dobio po rimskom bogu rata. Ima tanki atmosferski omotač. Razvijene su doline, pustinje, vulkani, kanjoni i što je veoma važno – polarne kape koje su izgrađene od vodenog leda i leda od ugljen dioksida.

Na severnoj ledenoj kapi je led od ugljen dioksida razvijen samo zimi, leti nestaje izazivajući jake vetrove, na južnom polu je trajna ledena kapa od ugljen dioksida preko vodenog leda. Razmatraju se mogućnosti terestricizacije Marsa i trenutno se intenzivno istražuje iz svemira i roverima na površini. Nema magnetno polje kao Zemlja, smatra se da je to zbog udara mnogih asteroida. Sunčev vetar kontinualno odnosi preostale molekule gasova iz Marsove atmosfere. Atmosfera Marsa je znatno razređenija od Zemljine, 96% je ugljen dioksid, oko 2% argon, oko 2% azot i tragovi kiseonika. Ponekad se javljaju oblaci metana. Temperatura varira od -153 na polovima zimi do +35 na ekvatoru leti. Postoje brojni dokazi da je na Marsu bilo vode u prošlosti i da je 19% planete bilo pod vodom. Kao i druge kamene planete struktura Marsa je generalno slična Zemljinoj – jezgro je izgrađeno od Fe i Ni sa nešto S, oko jezgra je mantl izgrađen uglavnom od silicijum dioksida. Na površini je litosfera.

Gasovite planete prema periferiji sunčevog sistema su Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

Jupiter je najveća planeta u sunčevom sistemu. Pretpostavlja se da je prva planeta nastala u sunčevom sistemu pre 4,5 milijardi godina. Izgrađen je od gasova, postoje pretpostavke da se možda u centru nalazi čvrsto jezgro. Gasovi od kojih je izgrađen Jupiter su: najviše vodonik, zatim helijum, metan, amonijak, vodonik deuterid (HD ili H^2H), etan i voda. Zbog rotacije i gasa je relativno spljošten i elipsoidnog je oblika. Ekvatorijalni prečnik mu je 143.000km a između polova je 133.700km, dakle razlika je oko 9300km. Uočava se stalna oluja koja je manifestovana kao crveno-žučkasta fleka. Ima jako magnetno polje. Smatra se da konvekcijska kretanja gasova produkuju toplotu na Jupiteru (preko 700 °C approx.). Ima velika strujanja gasova. Uočeno je 79 satelita. Podeljeni su u grupe: Amalteja, Galileo, Temisto, Himalia, Ananke, Karme i Pasife. Najpozantiji i najbolje proučeni su tzv. Galilejevi: Io, Evropa, Ganimed i Kalisto. Ima dva prstena od prašine: Halo prsten širine 20.000 km koji prelazi u glavni prsten širine 7000km. Satelit **Io** je nešto veći od Meseca. Površina mu je izgrađena od vulkana sumpora i sumpor dioksida. Unutrašnjost mu je slična kamenim planetama. Satelit **Evropa** je nešto manji od Meseca, narandžaste je boje. Površina mu je od vodenog leda, sa velikim brojem dugačkih rovova i pukotina, sa nešto malo manjih kratera. Led je debljine 75 -100km. Atmosfera je tanka, izgrađena od kiseonika. Smatra se da je jezgro izgrađeno od Fe i Ni. Zbog blizine Jupitera i ispućane ledene kore smatra se da unutrašnjost Evrope topla. Moguće je da ima u unutrašnjem okeanu života. Satelit **Ganimed** je veći od Merkura, ali je manje mase. Uočavaju se dva tipa terena, tamniji sa puno kratera i svetliji sa rovovima i prslinama. Vodeni led čini 46-50% mase satelita. Unutrašnji delovi su izgrađeni od jedinjenja Fe i Si. Ima magnetno polje generisano rotacijom jezgra sa Fe kao i Zemlja. Satelit **Kalisto** je veličine Merkura (99%), takođe je manje mase od Merkura. Smatra se da je vodeni led na površini debljine 200km, a da je ispod njega slani okean dubine/debljine 10km. Si i Fe jedinjenja otprilike čine 60% satelita, a led 40%. Površina ima brojne kratere.

Saturn je drugi gasoviti džin. Karakterističan je po svojim prstenovima. Prečnik mu je između tačaka ekvatora 120.536km, a između polova 108.728km. Sa razlikom od oko 11808km je najsploštenija planeta sunčevog sistema. Izgrađen je uglavnom od vodonika i helijuma, kao i smrznute materije sa tragovima metana i amonijaka. Temperatura u unutrašnjosti je 12.000 °K. Ima jako magnetno polje i stvara intenzivnu polarnu svetlost. Na severnom polu postoji oluja heksagonalnog oblika “Saturnov heksagon”, na snimcima iz 2013. i 2017. godine vidi se drastična promena boje (NASA), iz 2013. godine heksagon je svetlo-plavičasto-zelenkastih nijansi, a iz 2017. krem-crvenkaso-mrkih. Saturnovi prstenovi su izgrađeni od fragmenata leda, silikatnih stena i oksida gvožđa. Dimenzije fragmenata su od hektametarskih do mikrometarskih. Prstenovi su širine do 250.000km a debljine do 1,5km. Između prstenova postoji tzv. Kasinijeva pukotina. Saturn ima 33 satelita. Podeljeni su grupe Jan, Sajarnak i Feba (po satelitu predstavniku).

Uran je gasovito-ledeni džin, ali znatno manji od Jupitera i Saturna. Prečnik mu je 50.724km. U centru je jezgro u čvrstom stanju izgrađeno verovatno od jedinjenja Si i Fe. Ostatak planete je izgrađen uglavnom od vodenog leda, metana i amonijaka. Atmosfera je izgrađena od H – 83%, He – 15% i ostatak od metana, vode i amonijaka. Ima najnižu temperaturu atmosfere u sunčevom sistemu -224 °C. Plavo-zelena boja Urana je od metana u atmosferi. Ima magnetno polje jačine slično Zemljinom, izvor je nepoznat. Uočeno je 27 satelita. Ima 9 prstenova.

Neptun je kao i Uran gasovito-ledeni džin. Nešto je manji od Urana, prečnik mu je 49.532km. Slično Uranu izgrađen je uglavnom od leda vode, amonijaka i metana. Centralni delovi planete su izgrađeni od silikata sa jedinjenjima Fe i Ni. Smatra se da se u atmosferi Neptuna razvijaju najjači vetrovi na planetama u Sunčevom sistemu. Konstatovane su tzv. tamne mrlje gde se događaju intenzivne oluje sa brzinama do 2100 km/h. U odnosu na Uran ima vlastiti izvor toplote. Poznato je 14 Neptunovih satelita. Najveći od njih je Triton, zatim Nereida, ostali sateliti su manji. Razvijeni su prstenovi izgrađeni od vodenog leda, silikata i ugljenika – zbog toga imaju crvenkaste nijanse.

Patuljaste planete: Pluton, Erida, Cerera, Haumea i Makemake. Termin je usvojen od strane Međunarodne astronomske unije 24. 08. 2004. To su tela na orbiti oko Sunca, sferičnog su oblika, nemaju očišćenu orbitu kao planete i nisu sateliti.

Pluton je nekada bio deveta planeta u sunčevom sistemu. Mali je po dimenzijama, manji od Meseca i drugih. Sam ima 5 satelita, najveći se zove Heron, zatim Hidra, Nikita, Kerber i Stiks. Smatra se da je Pluton izgrađen od 70% stenskog materijala i 30% leda. Površina je izgrađena 98% od azotnog leda. Nalazi se u Kajperovom pojasu.

Erida se nalazi u Rasejanom disku, nastavku Kajperovog pojasa. Na površini je konstatovan metanski led. Ima jedan satelit.

Cerera je najveći asteroid u asteroidnom pojasu. Prečnika je 950km.

Haumea se nalazi u Kajperovom pojasu. Ima 1/3 mase Plutona. Eliptičnog je preseka.

Makemake se takođe nalazi u Kajperovom pojasu. Dimenzije su joj 3/4 Plutono-ve. Na površini su konstatovani metan, etan, tolin (smeša ugljovodonika sa azotom i sumporom), etilen, acetilen, propan i dr. Ima jedan satelit.

Oko planeta u sunčevom sistemu orbitira oko 150 satelita, opisivanje i nabrojanje svih, bi bilo preveliko za ovu knjigu pa su neki opisani u prethodnom tekstu. Zemljin satelit Mesec je opisan u poglavlju o planeti Zemlji.

U sunčevom sistemu se nalaze pojasevi sa malim telima asteroidima i kometama (kao i patuljastim planetama). To su: Asteroidni pojas, Kajperov pojas, Rasejani disk i Ortov oblak.

“Glavni” **Asteroidni pojas** se nalazi između Marsa i Jupitera. Po veličini tu je patuljasta planeta Cerera, oko 750.000 tela većih od kilometra i milioni manjih objekata. Nastao je kad i ostali delovi sunčevog sistema, međutim, gravitacija Jupitera je sprečila formiranje – akreciju većih tela. Pretpostavlja se da u ovom trenutku asteroidni pojas sadrži 0,1% materijala koji je postojao ranije. 99,9% je navodno sunčevim vetrom odnešeno u svemir. Iz ovog prostora potiče najveći deo objekata koji padaju na planetu Zemlju. Mogu biti stenovitog (jedinjenja silicijuma) ili metaličnog (uglavnom gvožđevitog) sastava. Mnogi od njih imaju imena – redne brojeve i sl. Deo asteroida koji je nešto bliži Suncu nego Mars zovu se Amori, a deo koji prilazi Suncu bliže nego Zemlja zovu se Apoloni (zanimljiv je termin na engleskom jeziku “Earth crosser”...). Ovde treba pomenuti Trojance i Grke koji se nalaze na Jupiterovoj putanji, oni ispred Jupitera su Grci, a oni iza se zovu Trojanci.

Kajperov pojas je deo sunčevog sistema iza Neptuna gde se u vidu diska nalaze tela izgrađena uglavnom od leda, smatra se da odatle potiču tzv. “kratko-repne komete”. Na Kajperov pojas deluju gravitacije gasovitih i ledenih džinova, kao i naravno Sunca. Objekti u pojasu su podeljene na: 1. rezonantne (najbliži Neptunu), 2. klasične – podeljene “vruću” – crveniji objekti i “hladnu” populaciju i 3. rasejane objekte (pogledati: Gerard Peter Kuiper, Frederick Charles Leonard, Clyde William Tombaugh i David Clifford Jewitt).

Rasejani disk je nastavak Kajperovog pojasa. Ovde se nalazi patuljasta planeta Erida i veliki asteroidi. Predpostavlja se da bi se mogle naći i planete veličine Merkura.

Ortov oblak je pojas koji je razvijen u odnosu na Sunce dalje od Kajperovog i odakle dolaze komete. Ovaj prostor se naziva spoljna granica sunčevog sistema. Prostire se od 2000 - 100.000 AJ (astronomskih jedinica), dakle od 150 miliona kilometra x 2000 do 150 miliona kilometra x 100.000 od Sunca (pogledati: Jan Hendrik Oort).

Sunčev sistem – struktura od Sunca ka periferiji: Sunce, Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Asteroidni oblak, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Kajperov pojas, Rasejani disk i Ortov oblak.

Lep umanjen model razdaljina i veličina u Sunčevom sistemu bi mogao da se prikaže na sledeći način^[4,12]:

- Sunce, 65cm - gimnastička lopta za vežbanje,
- Distanca Merkura od Sunca 27 m, veličina Merkura 2,3mm - zrno korijandera;
- Distanca Venere od Sunca 51m, veličina Venere 5,1mm - zrno graška;
- Distanca Zemlje od Sunca 70m, veličina Zemlje 5,7mm - zrno graška;
- Distanca Marsa od Sunca 106m, veličina Marsa 3,2mm - zrno bibera;
- Distanca od Sunca od 120m do 220m, Asteroidni oblak – retka sitna prašina i pesak;
- Distanca Jupitera od Sunca 364m, veličina Jupitera 6,5cm - teniska lopta;
- Distanca Saturna od Sunca 669m, veličina Saturna 5,63cm - mandarina;
- Distanca Urana od Sunca 1344m, veličina Urana 2,39cm - manja šljiva;
- Distanca Neptuna od Sunca 2103m, veličina Neptuna 2,3cm - manja šljiva;
- Distanca od Sunca 2200m i dalje, Kajperov pojas - jako retka sitna prašina, pesak i sitan šljunak.

Možemo da konstatujemo interesantan odnos razdaljina: elektrona od protona u vodonikovom jezgu i odnos razdaljine Urana od Sunca, u razmerama za atom i Sunčev sistem je 1:1. Kada proton, elektron, Sunce i Uran zamislimo u zemaljskim nama razumljivim razmerama. Da ponovimo ako je proton teniska loptica, elektron je na 1300m od nje i ako Sunce gimnastička lopta, a Uran manja šljiva, Uran se nalazi na oko 1300m od Sunca.

Na kraju jedna od opservacija je da je svemir uvek u ravnotežnom stanju u nepojmljivo kratkom periodu vremena, dakle ne postoji kontinuitet nego prelazi iz jednog ravnotežnog stanja u drugo.

Preporučena literatura i edukativni filmovi:

1. <http://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Sun&Display=Facts&System=Metric>
2. <http://static.astronomija.org.rs/suncsist/Sunce/struktura.htm>
3. <https://sizemattersscience.wordpress.com/category/sun-2/>
4. <http://faculty.wcas.northwestern.edu/~infocom/The%20Website/evolution.html>
5. <http://www.hep.shef.ac.uk/research/dm/intro.php>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=HdPzOWlLrbE>
7. <https://www.youtube.com/watch?v=oHbanzcfuA>
8. <https://www.youtube.com/watch?v=kOEDG3j1bjs>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=Ye8DMJGhsxc>
10. https://www.youtube.com/watch?v=RO4i_g6gSMU red shift
11. Zombeck, Martin V. (1990). *Handbook of Space Astronomy and Astrophysics 2nd edition*. Cambridge University Press.
12. National Geographic Science 101 series Educational
13. <https://www.space.com/27969-earth-water-from-asteroids-not-comets.html>

Reference:

- [4.1] Vukajlović, G., 2019: Širenje svemira, *Astronomija*, <http://www.tragomzvezda.net/nauka/astronomija/sirenje-svemira/>
- [4.2] <http://scisyn.com/umuc/astro/ASTR100Notes/doppler-effect-examples.html>
- [4.3] Lisle, J., 2019: A History of the Big Bang Theory <https://thecreationclub.com/a-history-of-the-big-bang-theory/>
- [4.4] Wright, Edward L. (26 September 2012). "Detailed timeline of Big Bang nucleosynthesis processes". astro.ucla.edu.
- [4.5] A Complete Timeline of the Future of Our Universe <https://futurism.com/the-future-of-the-universe>
- [4.6] <https://www.youtube.com/watch?v=kpT3yfve30I>
- [4.7] <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/>
- [4.8] *Imagine the Universe* <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/objects.html>
- [4.9] <https://www.universetoday.com/106062/what-is-the-milky-way-2/>
- [4.10] NASA Solar System Exploration <https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/>
- [4.11] NASA Solar System Exploration <https://solarsystem.nasa.gov/moons/overview/>
- [4.12] *Build Your Own Solar System* <https://sizemattersscience.wordpress.com/2015/06/17/build-your-own-solar-system/>

Slike:

- 4.1 Modifikovano sa <http://scisyn.com/umuc/astro/ASTR100Notes/doppler-effect-examples.html> ^[4.2]
- 4.2 Modifikovano sa <https://www.universetoday.com/106062/what-is-the-milky-way-2/> ^[4.9]

5.

NASTANAK, STRUKTURA I OSNOVNE KARAKTERISTIKE PLANETE ZEMLJE



5. NASTANAK, STRUKTURA I OSNOVNE KARAKTERISTIKE PLANETE ZEMLJE

Kao što je ranije pomenuto planeta Zemlja je nastala iz akrecione proto-zvezdano-planetarne magline pa zatim diska. Primarno Zemlja je bila u usijanom stanju, danas ispod litosfere – čvrste stenske kore je tzv. astenosfera koja je u žitkom usijanom stanju. Gravitacijom su teži elementi, dok je Zemlja bila u vreloj i žitkoj stanju tonuli kroz magmu prema centralnim delovima planete.

Na osnovu radiometrijskih merenja smatra se da je stara oko 4,6-4,5 milijardi godina.

Zemljina kora uglavnom ima sledeći hemijski sastav: kiseonik 47%, silicijum 28%, aluminijum 8%, gvožđe 4,5%, kalcijum 3,5%, natrijum 2,5%, kalijum 2,5% i magnezijum 2,2% i svi ostali elementi (nastali u zvezdama) u malim i veoma malim količinama^[5.1].

Prečnika je 12756,2 km između tačaka ekvatora i 12713,6 km između tačaka polova. Zemlja je oblika dvoosnog elipsoida, nepravilne lopte, zato što je razlika između prečnika 42,6 kilometara.

Zemlja rotira oko svoje ose za nešto manje od 24 časa, a obiđe krug oko Sunca za nešto više od 365 dana.

Udaljena je 150 miliona kilometara od Sunca. Ugao ose rotacije je 23° 26'.

Ubrzanje Zemljine teže je 9,80665 m/s², nije svuda apsolutno istih vrednosti^{[5.2][5.3]}.

Najviša tačka na planeti Zemlji je Mount Everest na 8848m nadmorske visine, najdublje mesto na planeti je u Mariana rovu (Mariana trench) na 11034m dubine. Vrh planine Čimaroza je najudaljenija tačka od centra planete.

Temperatura varira od -89,2 °C do 56,7 °C leti.

Zemlja ima **magnetno polje**, što je od izvanredne važnosti za zaštitu živog sveta od kosmičkog zračenja. Zemlja je dipol, generiše magnetno polje u svojoj unutrašnjosti kao dinamo mašina obrtanjem jezgra punog gvožđa. Severni magnetni pol je lutajuća-pokretna tačka koja je trenutno, uslovno na poziciji 84.9°N (severno) 131.0°W (zapadno), a južni magnetni pol se nalazi trenutno i uslovno na 64.28°S (južno) 136.59°E (istočno)^[5.4]. Pozicije magnetnih polova nisu stalne vrednosti. Trenutno se severni magnetni pol kreće brzinom od 48km godišnje i ide prema Sibiru. Dokazano je na osnovu ispitivanja minerala sa okeanskog dna (njihovih pravaca kristalizacije) da se na planeti Zemlji menja magnetni polaritet. U zadnjih 83 miliona godina bilo je 183 promene polariteta. U literaturi se može naći poslednja Brun-Matajama promena polariteta koja se dogodila pre 780.000 godina. Ne postoje tačni podaci koliko dugo može da traje promena magnetnog polariteta, u literaturi su procene od 100 do 10000 godina. Ljudska vrsta je na planeti Zemlji relativno kratko 200.000 – 120.000 – 100.000 godina, kako koji izvor, tako da ne postoje istorijski podaci o ovoj pojavi i ne zna se kakve posledice može da ima (u podacima sa magnetnog kompasa sigurno). Problem je kontinuitet i koherentnost magnetnog polja koje neće nestati ali može biti u nekom vremenskom periodu haotično. Uzroci mogu biti razni, od interakcije u Zemljinoj unutrašnjosti, udara meteorita i drugo.

Polarna svetlost ili aurora borealis je pojava interakcije Zemljinog magnetnog polja sa elektronima na visinama od 80 do 150km. Uglavnom je zelenkastih nijansi, može biti i drugih - crvenkastih, u zavisnosti koji se element pobuđuje, kada je zelenkasta onda je to zbog kiseonika. Ispostavilo se da pri većim izbačajima Sunčevog vetra je intenzitet polarne svetlosti izraženiji. Ova pojava je uočena i na drugim planetama Sunčevog sistema Jupiteru, Saturnu pa i Marsu.

Geofizičkim (seizmičkim i drugim) metodama je dobijena slika o strukturi planete Zemlje. Litosfera i delom gornji omotač – mantl (koji je ispod litosfere) su dostupni za realna eksperimentalna istraživanja. Na osnovu opservacija i rezultata velikog broja naučnika, ispitivanja uzoraka sa površine i bušotina kao i eksperimenata koji su počeli od Normana Bovenaa, uočena su izvesna pravila pri kristalizaciji magme koja bi mogla da objasne procese diferencijacije materije od koje je izgrađena planeta Zemlja i njenu današnju strukturu.

Verovatno je materijal usijane proto-planete bio relativno homogen. Tokom vremena došlo je do diferencijacije materijala, stvaranja jedinjenja, minerala stena i diferencijacije zona unutar planete Zemlje, taj proces traje i danas. Smatra se da je Zemljino jezgro izgrađeno od gvožđa i nikla, ima dve sfere čvrstu - unutrašnju i tečnu, oko čvrste sfere. Prečnika je 7000km. Gvožđe u odnosu na druge uobičajne konstituente stena očvršćava prvo, pri tome gradi jedinjenja, na prvom mestu sulfide i okside^[5.5]. Sulfidi Fe zajedno sa sulfidima Ni i Cu se zovu likvidni segregati i prvi tonu kroz rastopljenu magmu koja se hladi. Odmah potom, a i sinhrono dolazi do stvaranja oksida Fe i Cr i ovo se zovu kristalizacioni diferencijati. Magma već posle diferenciranja likvidnih segregata nije više istog sastava kao i primarna.

Sada dolazimo do teorija početaka diferencijacije - da je od površine protoplanete do nekog nivoa bila sfera od magme koja se nazivala magmatski okean, sledeća sfera u unutrašnjosti planete je bila od istopljenog gvožđa i u centru je bilo proto jezgro. Ova struktura Zemlje sa tri sfere je evoluirala u Zemlju kakvu poznajemo danas.

Spomenuli smo da je jezgro sadašnje planete izgrađeno uglavnom od Fe i Ni i dali kratko objašnjenje o početku diferencijacije magme. Kako je prethodni tekst malo teži za razumevanje daćemo kraći prikaz, međutim, pojašnjene strukture planete Zemlje bez ulaska u procese diferencijacije magme nije moguće.

5.1 RAZVOJ I STRUKTURA PLANETE ZEMLJE

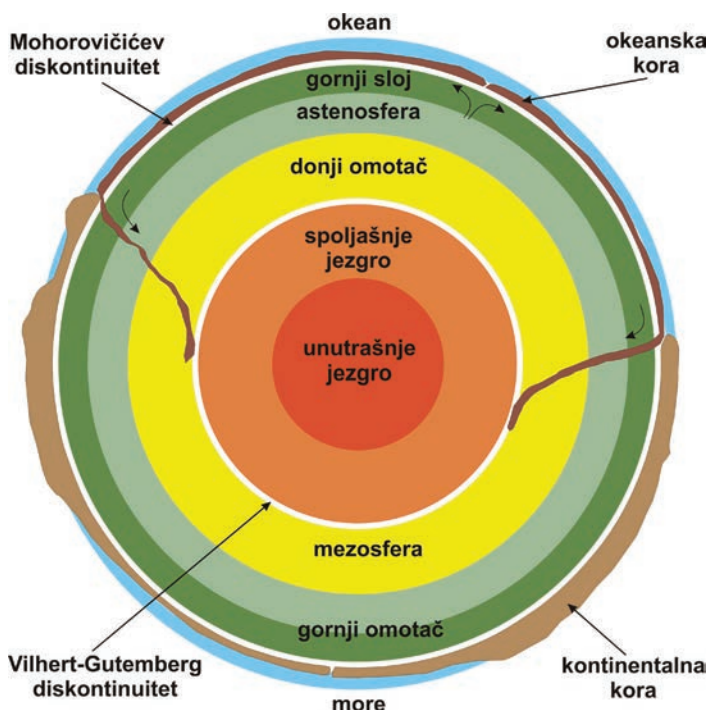
1. Proto-planeta Zemlja je u homogeneom vrelom tečnom stanju, sa možda na površini krpama očvrslih stena (ultrabazičnih), počinje diferencijacija primarnog magmatskog materijala.

2. Početak diferencijacije i stvaranje struktura planete Zemlje, sfere su prikazane od površine prema centru:

1. Sfera magmatskog okeana,
2. Sfera rastopljenog gvožđa i
3. Sfera proto jezgra (nemamo podatke šta bi tu bilo osim možda teških elemenata Fe, Ni ali možda i U, Th...), nastavlja se diferencijacija jedinjenja i stena na površini i unutrašnjosti planete.

3. Današnja planeta Zemlja – prikazano od površine ka centru^{[5.6][5.7]}:

1. Na površini je litosfera iscepkana u vidu litosfernih ploča i generalno su ploče sastava okeanske kora i kontinentalne kore, debljine su za okeansku koru 3-7km, a za kontinentalnu koru 30 do 70km. U kontinualnom su kretanju.
2. Između gornjeg omotača i litosfere nalazi se Mohorovičićev diskontinuitet, ispod okeana je na dubini od 5km, ispod debelih paketa kontinentalne kore na 75km.
3. Gornji omotač ima dva sloja: 3a. gornji sloj i 3b. astenosferu. Gornji sloj je sastava peridotita – ultrabazičnih stena i u čvrstom je stanju. Astenosfera je u žitkom stanju po njoj se kreću litosferne ploče i na njoj se odvija tektonika ploča, generišu zemljotrese i vulkanizam. Ispod okeanske kore je do dubine od 80 do 150km, a ispod kontinentalne od 150 do 200km.
4. Donji omotač ili mezosfera je na dubini od 670 do 2900km, u čvrstom je stanju.
5. Između donjeg omotača i tečnog-spoljašnjeg dela Zemljinog jezgra je Vihert-Gutenberg diskontinuitet kojim je jezgro odvojeno od donjeg omotača.
6. Zemljino jezgro – 6a. Deo Zemljinog jezgra u tečnom stanju i 6b. Zemljino jezgro u čvrstom stanju.



Slika 5.1: Struktura planete Zemlje

Činjenica je da je unutrašnjost planete Zemlja vrela. Postoji nekoliko teorija: 1. Da je relativno veliki objekat i da se polako hladi; 2. Da u centralnim delovima planete postoje radioaktivni elementi čiji raspad dovodi do priliva toplote; 3. Mesec izaziva male ali kontinualne pokrete litosfere što dovodi do trenja i povećanja temperature.

Zemlja ima jedan satelit **Mesec**. Nastao je pre 4,51 milijarde godina. Postoji više teorija njegovog nastanka.

Teorije:

1. **Teorija centrifugalnog otkidanja.** Centrifugalnom silom se odvojio deo usijanog i polutečnog materijala od proto planete Zemlje i formirao satelit Mesec;
2. **Teorija sinhronog stvaranja.** Zajedničko stvaranje planete Zemlje i satelita Meseca iz primordijalnog akrecionog materijala gde je Mesec kao manji postao satelit planete Zemlje^[5,7];
3. **Teorija sudara.** Hipotetičko planetarno telo veličine Marsa koje je nazvano Teja (Theia), koje je bilo na putanji tipa "Trojanca" je udarilo u primordijalnu planetu Zemlju tako da se ta dva tela nisu raspala u asteroidni prsten. Proto Zemlja je udarena relativno po periferiji, tako da je glavni deo Zemlje ostao, Teja se raspala, teži – centralni delovi Zemlje i Teje su "pripali – dospeli" Zemlji, a od ostataka se formirao Mesec.

Trojanci su asteroidi ili veća tela koja se nalaze na putanji neke planete. Takva tela se nalaze kod Jupitera – grupa asteroida koja je na putanji ispred Jupitera se nazivaju Grci, a ona iza se zovu Trojanci. Kretanje ovih tela nije baš jednostavno kao što je prikazano u prethodnoj rečenici jer se ovde radi i o Lagranževim tačkama – gde su Trojanci pod uticajem gravitacija Sunca, neke planete i još neke – treće mase itd., ali dovoljno je da znamo suštinu prethodno navedene tri teorije nastanka Meseca^[5,8].

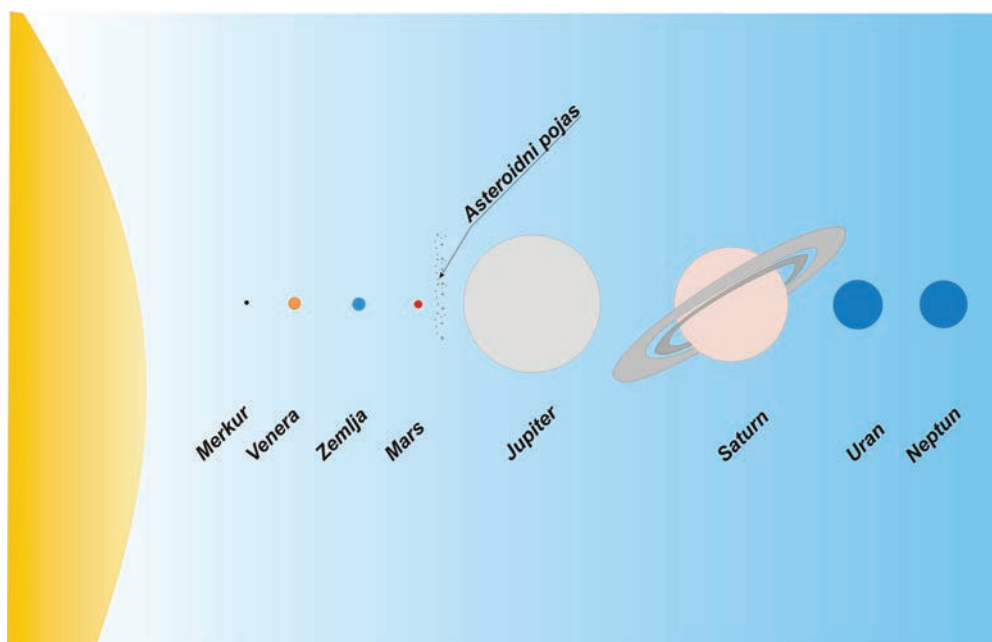
Mesec je prečnika 3647km, 81 puta je po masi manji od Zemlje, udaljen je 384401 km od Zemlje, udaljava se za oko 4 cm godišnje, kreće se po elipsi tako da udaljenje od Zemlje nije uvek isto. Sastav površine (i celog satelita) je sličan Zemljinom^[5,9]. Gravitacije Zemlje i Meseca utiču jedan na drugo. Mesec stabilizuje Zemljinu rotaciju i izaziva plimu i oseku. Skoro da nema atmosferu (ima vrlo malo helijuma, neona, vodonika i argona, metana, amonijaka i ugljen dioksida) ni vodu. Uočavaju se golim okom brojni krateri, ostaci udara meteorita i asteroida.

Tokom kretanja Meseca dolazi do pomračenja Sunca (u odnosu na Zemlju). Sunce i Mesec imaju iste prividne veličine kada se posmatraju sa Zemlje, pomračenja mogu biti potpuna ili delimična. Tako i Zemlja zaklanja Mesec pa ga vidimo od “tankog srpa” do punog kruga, ovo se naziva mesečevim menama, pa postoje lunarni kalendari itd.

5.2 OBJEKTI BLIZU ZEMLJE

U svemiru postoji veliki broj “malih” objekata različitih dimenzija i sastava koji potencijalno mogu da se nađu na Zemljinoj putanji i da dođe do sudara. Na planetu Zemlju stalno padaju takvi, ali veoma mali objekti, većina izgori u atmosferi i zovemo ih zvezde padalice. Objekti blizu Zemlje - ObZ (Near Earth Object – NEO), a potencijalno opasni su: 1. veći od 140 metara i 2. Nalaze se na distanci od 1,3 AJ – astronomske jedinice (1 astronomska jedinica iznosi 150 miliona kilometara, što je razdaljina Sunca i Zemlje - tačnije 149.600.000 km), dakle 1,3 AJ iznose otprilike 195 miliona kilometara. Treba imati u vidu da ObZ imaju svoje putanje i da se kreću različitim brzinama. Danas u svetu postoje sistemi za nadzor i praćenje ovih objekata u realnom vremenu. Najpoznatiji, a i oni sa najviše rizika su asteroidi i komete. Poznato je oko 20.000 asteroida i nešto više od 100 kometa koji bi se mogli definisati kao ObZ. Postoje dve skale za proračun rizika od udarca ObZ, to su Torino skala i Palermo skala. Objekti blizu Zemlje mogu izazvati različite nivoe devastacije, pa i uništiti civilizaciju i život kakav danas poznajemo. Jedan od najpoznatijih događaja te vrste je udarac tela dimenzija 11 km u Jukatansko poluostrvo pre 65 miliona godina čime se završava mezozoik, dolazi do izumiranja dinosaurusu i počinje kenozoik sa dominacijom sisara.

Jedan od asteroida o kome se pisalo i koji se smatra potencijalno opasnim je 99942 Apofis prečnika 370m težine $4 - 6,1 \times 10^{10} \text{kg}$ (40 do 61 miliona tona), kreće se brzinom od oko 14.600 km/h. Po proračunima iz 2004. pretpostavljalo se da bi sa verovatnoćom od 2,7% mogao 2029. da udari u planetu Zemlju – po nekim podacima proći će tada na 31.300 kilometara od Zemlje, zatim 2006. se smatralo da može da udari 2036., po računaju iz 2009. ispostavilo se da je rizik od udarca 1:250.000. Udarac ovakvog tela bi se mogao u proseku očekivati svakih 80.000 godina. Sa druge strane 15.02.2013. godine iznad grada Čeljabinsk u Rusiji, ujutru po lokalnom vremenu, na visini od oko 30km raspalo se više delova meteorita. Težine je bio oko 10.000 tona i imao je “samo” 17 metara u prečniku. Brzina kretanja je bila 55.000 do 65.000 km/h. Oko 1200 ljudi je povređeno. Izračunato je da je energija bila oko 30 bombi koje su bačene na Hirošimu i Nagasaki. Ovaj objekat nije viđen, nije konstatovan stanicama za praćenje ObZ. Za zainteresovane postoji sajt www.spaceweather.com.



Slika 5.2: Planete sunčevog sistema

Preporučena literatura:

1. *Global Measured Extremes of Temperature and Precipitation. National Climatic Data Center.*
2. *www.spaceweather.com*

Reference:

- [5.1] *Morgaan, J. W., Anders, E., 1980: Chemical composition of Earth, Venus and Mercury, Proceedings of the National Academy of Science*
- [5.2] *Simon, J.L., Bretagnon, P., Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G., Laskar, J., 1994: Numerical expressions for precession formula and mean elements for the Moon and planets. Astronomy and Astrophysics, Vol. 282*
- [5.3] *Williams, D. R., 2004: Earth fact sheet, NASA*
- [5.4] *Love, J. J., 2008: Magnetic monitoring of Earth and space, Physics Today, American Institute of Physics*
- [5.5] *Pešić, L., 2002: Opšta geologija – Endodinamika, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*
- [5.6] *Jordan, T. H., 1979: "Structural geology of the Earth's interior", Proceedings of the National Academy of Sciences*
- [5.7] *Dziewonski, A. M., Anderson, D. L., 1981: Preliminary reference Earth model, Physics of the Earth and Planetary Interiors*
- [5.8] *<http://burro.cwru.edu/Academics/Astr221/SolarSys/lunaform.html>*
- [5.9] *Angier, N., 2014: Revisiting the Moon, The New York Times, New York City*

6.

OSNOVE ISTORIJSKE GEOLOGIJE



6. OSNOVE ISTORIJSKE GEOLOGIJE

Geologija je nauka koja se bavi proučavanjem Zemlje, njenim nastankom, sastavom i strukturama kao i procesima koji su je formirali. Istorijska geologija je naučna disciplina u okviru geologije koja proučava starost stena od kojih je izgrađena zemljina kora, odnosno sagledava vreme nastanka ovih stena sa praćenjem promena koje su se odvijale tokom geološke evolucije Zemlje. Osnovni zadatak istorijske geologije ili stratigrafije jeste *"utvrđivanje vremenskih odnosa među različitim tipovima unutar zemljine kore, tj. interpretacija istorijskog redosleda događaja iz zemljine prošlosti"*¹.

6.1 PRINCIPI ISTORIJSKE GEOLOGIJE (STRATIGRAFIJE)

Za potrebe ove naučne discipline definisani su određeni principi istorijske geologije uz pomoć kojih je lakše definisati uzročno-posledične veze između geoloških pojava koje su se desile u prošlosti. Razlikujemo^[6.1]

1. *Princip superpozicije ili princip redosleda taloženja* koji se zasniva na činjenici da u neporemećenim sistemima u kojima je došlo do sedimentacije, donji slojevi (podinski slojevi) su uvek stariji od slojeva koji se nalaze iznad (krovinski slojevi).
2. *Princip prostorne promenljivosti odnosno princip facija*: A. Gresli 1838. je prvi uveo termin facija ili facijalna promenljivost. Ovaj princip se zasniva na činjenici da tvorevine iste starosti (facije) po prostoru mogu da se razlikuju i da njihova sličnost odnosno različitost je uslovljena uslovima pod kojima su se formirale.
3. *Princip prostorne i vremenske migracije geoloških tela* ukazuje na to da sedimenti sličnog litološkog sastava i slične biocenoze / fosilnih ostataka nisu morale da se u istom vremenskom periodu jave. Kao pojašnjenje ovog principa može se uzeti pomeranje obale, odnosno izdizanje ili spuštanje kopna. U konkretnom slučaju sedimenti i fosilni ostatci koji su karakteristični za plitkomorske sredine jednog vremenskog perioda i jedne oblasti će, ukoliko na primer dolazi do spuštanja kopna, se pomerati tokom vremena i u delove gde je nekad bilo kopno i formirati sedimente i fosilne ostatke slične onima koji su se dogodili u prethodnom vremenskom periodu.
4. *Princip paleontološke obeleženosti sedimentnih stena* se zasniva na činjenici da fosilna fauna u jednom sloju odgovara vremenu u kome je nastao taj sloj. Ovo je od izuzetnog značaja za korelaciju slojeva na različitim prostorima koji sadrže u sebi iste fosilne ostatke.

1 Rabrenović D., Knežević S., Rundić Lj. , 2003, *Istorijska geologija*, 1 str.

5. *Princip evolucije* se bazira na Darvinovoj teoriji evolucije formiranoj na osnovi da organski svet se razvijao i razvija dalje idući od jednostavnih i prostijih organizama ka velikom broju složenijih i savršenijih. Kako su se na planetu Zemlju u pojedinim dobima desile velike, brojne i relativno brze promene, tako se i evolucionari procesi nisu odvijali jednolično već su se dugotrajne faze postepene evolucije smenjivale sa kratkotrajnim fazama intenzivnih i brzih promena. Ove tzv. *revolucione promene* su uvek dovodile do nečeg novog koje do tada nije postojalo.
6. *Princip aktualizma* se bazira na činjenici da sile koje su postojale nekada postoje i danas i da su ove sile zaslužne za izgled planete nekada i sada.

6.2 METODE STRATIGRAFSKIH ISTRAŽIVANJA

Za potrebe definisanja vremena postanka određenih stena i zemljine kore kao i manjih geoloških jedinica koriste se sledeće metode ^[6.1]:

- litološka metoda,
- tektonska metoda,
- geofizička metoda,
- paleoklimatska metoda,
- izotopna geohronologija (geohronometrija),
- metoda radioaktivnog ugljenika,
- paleontološke metode.

Litološka metoda vrši izdvajanje manjih celina u okviru nekog profila. Pod celinom se podrazumeva sloj ili paket slojeva koji se po svojim karakteristikama (izgled, petrološki sastav, čvrstina, tekstura, fosilni ostatci, itd.) razlikuje od sloja koji se nalazi ispod (od podine) i sloja koji se nalazi iznad, odnosno od krovine.

Tektonska metoda se bazira na činjenici da su tektonska kretanja, bilo da su epirogena ili orogena, uticala na formiranje planete Zemlje tokom cele njene istorije postojanja i formiranja. Ovi pokreti bilo da su spori i lagani sa dugotrajnim izdizanjem i spuštanjem delova litosfere, ili relativno kratke faze sa intenzivnim aktivnostima, su uticale u velikoj meri i na granice između stratigrafskih jedinica, tako da razlikujemo erozione, tektonske i eroziono-tektonske granice.

Geofizička metoda se zasniva na korišćenju geofizičkih metoda za potrebe rasčlanjivanja slojeva u okviru geoloških profila/stubova. Za ove potrebe, od geofizičkih metoda najčešće se koriste: radiogeološki (izotopni) karotaž i paleomagnetna metoda.

Paleoklimatska metoda je metoda koja se bazira na klimatskim promenama uslovljenim prirodnim tokom događaja koji su se odvijali u geološkoj istoriji planete Zemlje. Klimatske promene su svakako uticale na biocenoze koje su tada postojale i uticale na njihovo izumiranje, migraciju i/ili adaptaciju (evoluciju).

Izotopna geohronologija (geohronometrija) je metoda koja se zasniva na pojavi radioaktivnog raspadanja a za potrebe definisanja apsolutne starosti geoloških tvorevina.

Metoda radioaktivnog ugljenika koristi prisustvo radioaktivnog ugljenika C^{14} u fosilnim ostacima za potrebe definisanja starosti fosila pa samim tim i starosti geoloških tvorevina u okviru kojih je pronađen fosilni ostatak.

Paleontološka metoda se bazira na paleontološkim istraživanjima fosilnih ostataka pronađenih u geološkim tvorevinama. Definisanjem vrste i roda fosilnog ostatka kao i znanje za koji vremenski period je ovaj fosilni ostatak vezan, može se sa velikom preciznošću reći o kom vremenu nastanka ove geološke tvorevine je reč.

6.3 STRATIGRAFSKA KLASIFIKACIJA

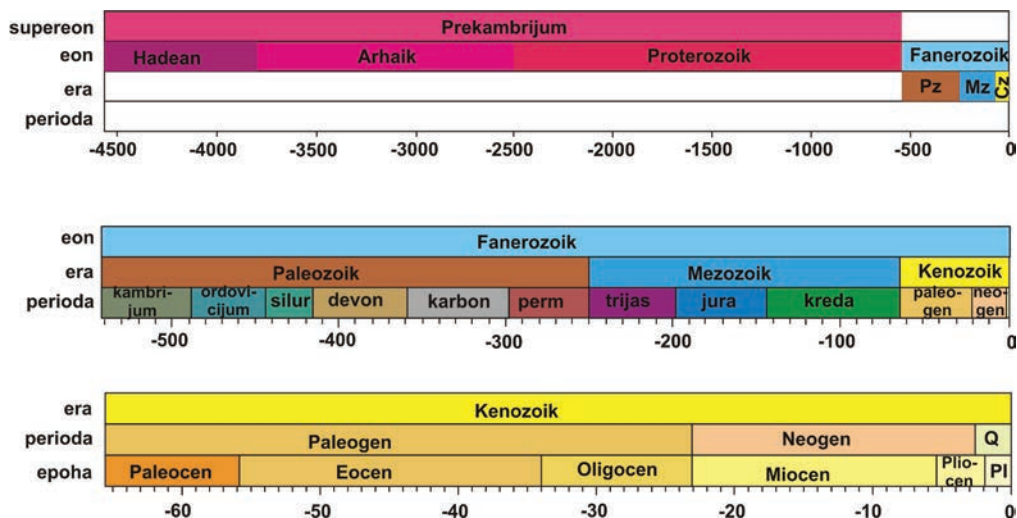
Za potrebe praćenja geološke istorije naše planete potrebno je bilo definisati određenu vrstu klasifikacije koja bi u sebi sadržavala podklasifikacije. U ovu svrhu E. Renevije je na II internacionalnom geološkom kongresu održanom u Bolonji 1881. godine predložio 4 kategorije koje su se odnosile na stratigrafsku hijerarhiju: era, perioda (grupa), epoha (sistem) i vek (kat). Radi lakšeg praćenja stratigrafske pripadnosti kao i vremena nastanka, tokom kongresa se uspostavilo pored stratigrafske i hronološko kategorisanje koja su međusobno ekvivalentna. Odnosno uspostavile su se sledeće kategorije:

stratigrafska jedinica	<=>	hronološka jedinica
grupa		era
sistem		perioda
odsek		epoha
kat		vek

Kasnije, s obzirom da se sve tvorevine posmatraju vremenski i prostorno, odnosno kada su nastale i gde, izdvojile su se dve paralelne klasifikacije i to geohronološka i hronostratigrafska u okviru koje se razlikuju sledeće jedinice:

Geohronološke	<=>	Hronostratigrafske
Eon		Eotema
Era		Eratema
Perioda		Sistem
Epoha		Odsek
Vek		Kat
Vreme		Hronozona

Shodno iznetom može se konstatovati da od samog početka formiranja planete Zemlje pa do danas razlikujemo 4 eona: Haden, Arhaik, Proterozoik i Fanerozoik. U okviru svakog pomenutog eona razlikujemo ere. Zbog obima kursa za koji je ova knjiga pripremljena, u okviru ovog poglavlja će biti u kraćim crtama prikazane samo ere fanerozoika kojih ima tri: paleozoik (najstarija era), mezozoik i kenozoik (najmlađa era). U okviru paleozoika izdvojeno je šest perioda (kambrijum, ordovicijum, silur, devon, karbon i perm, u okviru mezozoika tri periode: trijas, jura i kreda i u okviru kenozoika tri: paleogen, neogen i kvartar. I na kraju kada govorimo o epohama, u okviru paleogena su izvojene tri epohe: paleocen, eocen i oligocen a u okviru neogena dve: miocen i pliocen i u okviru kvartara dve: pleistocen i holocen.



Slika 6.1: Grafički prikaz eona, era, perioda i epoha kroz istoriju planete Zemlje koji su obrađeni u ovoj knjizi

U konkretnom slučaju možemo reći da je fanerozoik eon, zatim da je mezozoik era, što bi dalje značilo da je jura perioda, gornja jura ili malm da je epoha a da je titon vek.

6.4 ISTORIJA PLANETE ZEMLJE

6.4.1 ARHAIK

Početak formiranja planete Zemlje vezuje se za period od pre oko 4.5 milijardi godina. Vremenski period od nastanka naše planete pa do pre 2.5 milijarde godina naziva se arhaik, odnosno ovaj eon trajao je oko 2 milijarde godina. Glavna karakteristika arhaika je da je Zemljina kora imala malu debljinu a temperatura na površini Zemlje je bila visoka. U okviru ovog eona razlikujemo donji i gornji arhaik. Donji arhaik koji se naziva i haden obuhvata najstarije stene koje u najvećoj meri su redeponovane kasnijim stenskim ciklusom. Prisutan je bio izražen magmatizam i jak metamorfizam. Temperatura na površini Zemlje je bila oko 100 °C, prva atmosfera nije imala kiseonika dok su okeani bili plitki. Gornji arhaik je predstavljen metamorfnim stenama u uslovima facije zelenih škriljaca. Najstariji fosilni ostaci su vezani za gornji arhaik i stari su oko 3.5 milijardi godina. Radi se o stromatolitima koji su nađeni u australskom Pilbar štitu. U tom periodu dominantan oblik života bile su cijanofite i cijanobakterije ili modrozeleni alge koje su tokom života sakupljale sitan materijal i "lepile" ga jedan preko drugog i taj način formirale, odnosno pravile stromatolite i onkolite.

Takođe, ovi organizmi su kao produkt svog metabolizma, izbacivali u atmosferu kiseonik. Kako je ovih organizama bilo veliki broj, tako se i količina kiseonika znatno uvećala što je kasnije uslovalo nastanak drugih organizama ^{[6.1],[6.2]}.

6.4.2 PROTEROZOIK

Proterozoik je eon koji je dobio naziv od grčkih reči *proteros* (prastari) i *zoi* (život) i odnosi se na deo geološke istorije koji je bio zastupljen pre početka širenja kompleksnog života na planeti Zemlji. I ovaj eon kao i arhaik trajao je oko 2 milijarde godina, odnosno početak se vezuje za kraj arhaika (pre 2.5 milijardi godina) a kraj za početak fanerozoika (pre oko 0.54 milijarde godina). Jedan od najznačajnijih događaja koji se vezuju za proterozoik je porast sadržaja kiseonika u zemljinoj atmosferi. Pretpostavlja se da je do tada bio zastupljen sa svega 1-2 %. Proterozoik je predstavljen kompleksnim metamorfnim stenama koje ulaze u sastav skoro svih platformi Zemljine kore. Na osnovu fosilnih ostataka dokazano je da su tokom ovog eona bili prisutni jednostavni oblici biljnog (alge i bakterije) i životnjskog sveta (meduze, crvi, koral, školjke, puževi, ...). Na teritoriji Srbije dokazano je prisustvo mlađeg proterozoika i to u oblasti Juhora, Crnog vrha, Pasjače i Vlasine kao i u tekijsko-sipkoj, homoljsko – kućajskoj i porečko-staroplaninskoj oblasti ^{[6.1],[6.3]}.

6.4.3 FANEROZOIK

6.4.3.1 Paleozoik (Pz)

Paleozoik je geološka era koja je trajala oko 300 miliona godina odnosno ona nastupa nakon proterozoika (pre 542 miliona godina) i traje sve do pojave mezozoika (pre 252 miliona godina). Deli se na stariji paleozoik i mlađi paleozoik. U okviru starijeg paleozoika razlikujemo sledeće periode, idući od najstarije ka najmlađoj:

- kambrijum
- ordovicijum
- silur
- devon

dok u mlađem paleozoiku izdvajaju se dve periode

- karbon kao starija perioda, i
- perm kao mlađa i poslednja perioda u paleozoiku.

Kambrijum (Cm) je prvi i najstariji geološki period paleozojske ere i fanerozoika. Trajao je oko 56 miliona godina odnosno otpočeo je pre 542 miliona godina i trajao je do početka ordovicijuma odnosno završio se pre oko 485 miliona godina. Tokom kambrijuma dolazi do velike promene u životu na planeti Zemlji na šta ukazuju i potvrđuju veliki broj fosilnih ostataka. Smatra se da je najznačajnija pojava čvrstog skeleta kod životinja. Trilobiti su najznačajniji predstavnici ove periode koji su činili u kambijumu oko 60% ukupne populacije postojeće faune. Pojedini trilobiti su imali dimezije preko 0.5 m. Pored trilobita prisutni su bili i brahiopodi i ostale grupe beskičmenjaka kao što su puževi, školjke, bodljokošci, ... ^{[6.1],[6.4]}

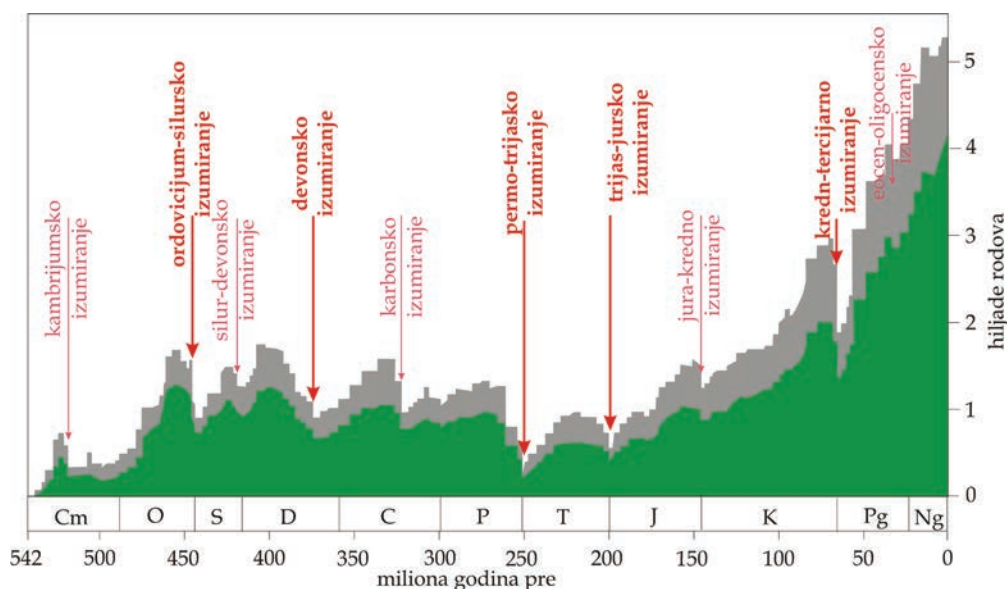


Slika 6.2: Trilobit (privatna kolekcija Vakanjac, foto: B. Vakanjac)

Iako je tokom kambrijuma živi svet u okeanima doživeo značajni procvat, smatra se da je kopno bilo uglavnom bez života. Pretpostavlja se da je najveći deo tadašnjih kontinenata bio suv i stenovit bez vegetacije. Zemlja je bila hladnija tokom ranog kambrijuma u odnosu na prethodni period, mada joj je u odnosu na današnju, prosečna temperatura vazduha za oko 7 °C bila viša. Smatra se da su postojale ledene kape i glacijacija. Tokom kambijuma došlo je do otopljanja što je imalo za posledicu topljenje glečera koji su do ordovicijuma u potpunosti nastali. Otapanje glečera je uticalo na trend povećanja nivoa mora odnosno na ingresiju.

Ordovicijum (O) je druga po redu perioda donjeg paleozoika koja je trajala oko 41 milion godina (počinje od pre oko 485 i traje do pre 444 miliona godina). Visok nivo mora i niska orografija uslovlila je pogodne uslove za formiranje velikih plitkovodnih površina sa temperaturama vode od oko 45 °C. Ovo je uslovlilo dalji razvoj postojećih organizama u okeanima i morima u okviru kojih dominiraju beskičmenjaci i glavonošci. Krajem ordovicijuma javljaju se i prve ribe koje su bile bezvilične, hranile su se filtracijom. Prva trećina tela je kod nekih riba bila prekrivena koštanim oklopom. Zovemo ih i plakoderme. Na kopnu i dalje nema značajnijeg većeg pomaka što se tiče biocenoze.

Tokom ordovicijuma južni kontinenti su objedinjeni u jedan – Gondvanu koja je u početku bila u ekvatorijalnim geografskim širinama da bi se tokom ordovicijuma kretala ka južnom polu. Ovo je uticalo na to da se sa njenim kretanjem ka jugu počinju formirati ledene kape i glečeri u početku manjih a kasnije, krajem ordovicijuma značajnijih razmera. Ovo je izazvalo zahlađenje, ponovno formiranje ledenih kapa i glečera, pa samim tim i povlačenje mora sa kopna što je izazvalo izumiranje jednog dela biocenoze koja je obitavala u plitkovodnim delovima tadašnjih mora i okena. Razvoj biocenoze tokom ove periode je zaustavljen krajem ordovicijuma kada je oko 50% - 60% rodova vodene faune u potpunosti nestao. Ovo masovno izumiranje je drugo po veličini od 5 najznačajnijih (najvećih) koje su zabeležene tokom geološke istorije planete Zemlje. Jedna od pretpostavki uzroka izumiranja preko polovine postojećih organizama na prelazu ordovicijuma ka siluru je naglo zahlađenje i regersija mora. Kao druga pretpostavka je da se u tom periodu desila eksplozija gama zraka koja je u tom trenutku mogla da uništi ozonski omotač i izloži postojeću biocenozu ultraljubičastom zračenju sa jedne strane a sa druge strane izazvala bi globalno zahlađenje ^{[6.1],[6.5]}.



Slika 6.3: Biodiverzitet tokom fanerozoika

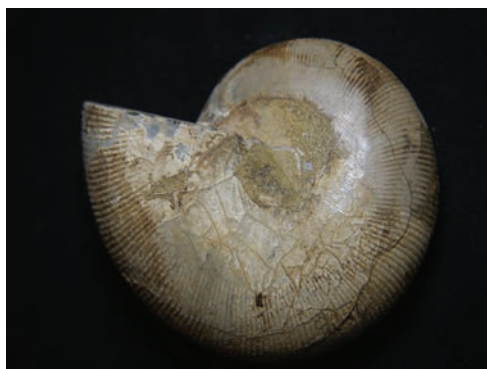
sivo - ukupan broj vrsta i rodova, zelena - broj vrsta i rodova koji je preživio ^[6.6]

Silur (S) je treća po redu perioda donjeg paleozoika koja je najkraće trajala. Počinje od pre oko 444 i traje do pre 419 miliona godina, dakle trajala je svega 24.5 miliona godina. Tokom ove periode na jugu i dalje postoji jasno definisan kontinent Gondvana koji se i dalje kreće ka jugu dok severna polulopta je uglavnom prekrivena velikim okeanom Pantalasom u okviru koga su jasno izdvojena tri manja kontinenta: Avalonija, Laurencija i Baltika. Ova tri kontinenta će se tokom silura u predelu ekvatora spojiti u jedan Lauraziju. Nakon zahlađenja koje se odigralo krajem ordovicijuma, tokom silura se uspostavlja relativno stabilna i topla klima. Dolazi do daljeg pomeranja kontinenata što izaziva postepeno topljenje glečera formiranih krajem ordovicijuma. Kao posledica pomenutog dolazi opet do porasta nivoa mora. Sredinom silura glečeri u potpunosti nestaju. Zbog tople klime i ponovnog uspostavljanja velikih plitkovodnih površina izazvanih nadiranjem mora na kopno, dolazi do brzog oporavka morske faune. Razvijaju se postojeći i javljaju se novi rodovi brahiopoda, korala, trilobita, cefalopoda, gastropoda i bodljokožaca. Prisutne su i dalje ribe bez vilica koje su dostigle značajan procvat u siluru. Krajem silura razvijaju se i ribe sa vilicom i koštanim skeletom. U siluru počinje izlazak života na kopno i to u okviru Lauroazije u predelu tadašnjeg ekvatora. Spajanje malih kopnenih masa u Lauraziju intenziviralo je vulkansku aktivnost. Prisutno je i stalno menjanje nivoa vodene mase. Zelene alge počinju da se prilagođavaju uslovima. U početku uspevaju da opstanu tako da im je samo gornji deo iznad vode a kasnije uspevaju da opstanu i na obali. Malih su dimenzija, ne više od 7 cm, travolike, nemaju ni listove ni koren. Umesto korena imaju rizoid.

Na osvajanje kopna od strane algi svakako su uticala topla područja bogata mineralnim materijama koje su dospele iz vulkana a koje biljkama su potrebne za svoj neopmetan razvoj ^{[6.1],[6.7]}.

Devon (D) je poslednji geološki period starog paleozoika koji traje oko 60 miliona godina. Početak devona se vezuje za kraj silura pre 419 miliona godina a kraj devona je povezan sa početkom karbona koji je nastupio pre oko 359 miliona godina. Ova perioda je značajna u formiranju tadašnje paleozojske zemljine kore. U prvoj polovini ove periode završila se kaledonska orogeneza koja je praćena vulkanizmom i koja je za posledicu imala izdizanje Kaledonida, dok krajem devona otpočinje hercinska orogeneza. Klima tokom devona nastavlja da bude uglavnom topla, mada u delovima oko ekvatora postoje indicacije da je bio hladniji i suvlji klimat. Pojava tople klime se objašnjava prisustvom ugljendioksida u atmosferi čija povećana koncentracija je posledica vulkanizma koji je pratio kaledonsku orogenezu. Generalno i dalje postoje dva kontinenta Gondvana na jugu i Laurazija. Ploče ova dva kontinenta tokom devona su počele da se približavaju jedan drugoj, čime je započeta rana faza formiranja Pangee. Ova aktivnost je dodato uticala na formiranje Apalačkih planina (planinski masiv koji se proteže duž istočne obale Severne Amerike) i Kaledonski venac (Skandinavija).

Tokom devona dolazi do daljeg razvoja postojeće vodene biocenoze (koral i brachiopodi), javljaju se prvi amoniti, graptoliti nestaju dok ribe doživljavaju svoj procvat pa se devon naziva još i "dobom riba". U devonu kopnena flora nastavlja svoj razvoj. Male kopnene alge opstaju na kopnu, dočinju da se diverzifikuju. Postaju veće, granaju se i pojavljuju se i listovi. Kopneni deo planete postaje zelen po prvi put. Odmah nakon biljaka na kopno izlaze i insekti, na prvom mestu paukovi. Kasnije tokom devona povremeni stanovnici kopna su i ribe dvodihalice, od kojih se razvijaju krajem devona vodozemci i stegocefali. Prisutni su i prelazni oblici koje nazivamo Tiktaalik.



Slika 6.4: Jurski amonit sa Madagaskara (privatna kolekcija Vakanjac, foto: B. Vakanjac)

U Srbiji najznačajniji fosilni ostaci devonske starosti pronađeni su u jadranskoj oblasti: u okolini Družetića, Osečine, Pecke, Vlašića itd. i u većini planina istočne Srbije: Deli Jovan, Krš, Kučaj, Rtanj, Devica, Svrlište i Suva planina, Tupižnica, Stara planina, sliv reke Jerme, itd. ^{[6.1],[6.8]}.

Karbon je prva perioda mlađeg paleozoika koja je trajala oko 60 miliona godina (od kraja devona odnosno pre oko 359 miliona godina pa do početka perma odnosno do pre oko 299 miliona godina). Na prelazu devona u karbon dogodio se još jedan period izumiranja koji je imao za posledicu da je oko 70% svih živih vrsta nestao. Period ovog izumiranja trajao je oko 20 miliona godina a predpostavlja se da se ovaj period sastojao od niza serija izumiranja koja su dovela do krajnjeg ishoda izumiranja u iznosu od 70% postojeće biocebnosti. Tokom ovog perioda nestale su i bezvilične ribe.

Naziv ove periode potiče od latinskih reči *carbo* što znači ugalj i *fero* što znači nositi, odnosno u prevodu bi značilo da je ovo perioda ima značajne rezerve kamenog uglja. Po podacima svetskih rezervi uglja, smatra se da oko 50% ukupnih svetskih rezervi vezano je za ugljeve starosti gornjeg karbona. Ovo je direktna posledica rasporeda kopna i mora odnosno kretanja kontinenata. Donji karbon je vrlo sličan siluru, na jugu imamo Gondvanu a na severu Lauraziju sa morima između. Tokom karbona počinje približavanje ova dva kopnena sistema i more se sužava i dolazi oko tadašnjeg ekvatora do formiranja velikih močvara. Ovde je prisutna bujna močvarna vegetacija, sa najvećim drvećem u istoriji Zemlje. Te biljke su dale materijal za stvaranje uglja. Močvara je bila oko tadašnjeg Ekvatora a danas je to deo SAD (Pensilvanija, onda Engleska, Nemačka sa ruskim i saskim basenom, Švedska, dalje na istok Poljska pa onda u Rusiju – Donjecki basen npr.

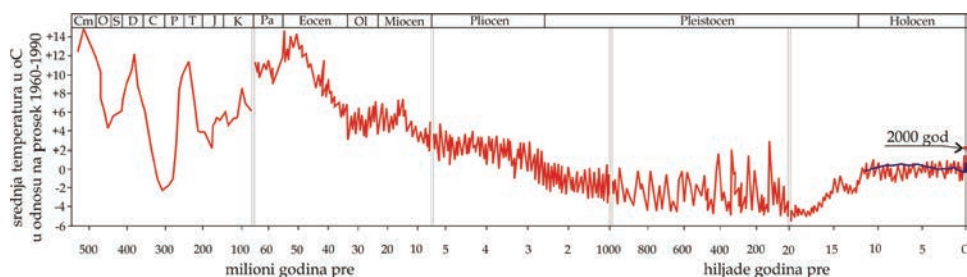
Tokom karbona i dalje postoje velike kopnene oblasti Gondvana na jugu i Laurazija na severu. Pored pomenutih postoje i manje kopnene oblasti Sibirsko i Kinesko. Između ovih kontinenata prostirali su se okeani i mora u okviru kojih su se nataložili značajni kompleksi karbonskih sedimenata. Hercinasko orogeneza u velikoj meri je izmenila raspored kopna i mora u svim oblastima u kojima je imala dominantan uticaj. Na teritoriji Evrope tokom ove orogeneze izdvaja se planinski masiv Hercinida.

Što se tiče klimatskih karakteristika, tokom donjeg karbona na severnom delu Gondvane vlada topla i vlažna klima dok na južnoj znatno hladnija sa prisutnom glacijacijom. U srednjem i gornjem karbonu kopna počinju da zauzimaju svoj položaj i da se prostiru od juga ka severu tako da je prisutna izraženija diferencijacija klime (prisutni delovi i dalje sa vlažnom i toplom klimom, zatim delovi sa umerenom klimom i hladnom klimom karakterističnom za južne delove kopna). Potojeći život na zemlji razvija se veoma aktivno kako u vodi tako i na površini zemlje. Prostrane močvarne šume sačinjene od drvenastih likofita, drvenastih rastavića i papratnjača velikih dimenzija (30-40m visine) pokrivale su ogroman prostor oko Ekvatora.

Sadržaj kiseonika u atmosferi je tokom karbona bio najveći, oko 35%, što je imalo uticaja da kopneni insekti dobiju svoje značajne razmere. Dokazano je da je veličina insekata u direktnoj zavisnosti bila u funkciji % kiseonika u atmosferi. Dolazi do daljeg razvoja vodozemaca i gmizavaca. U drugoj polovini karbona dolazi do toga da su kontinenti sve bliži, što utiče na povlačenje mora sa kopna, veličina močvara se smanjuje, odnosno dolazi generalno do isušivanja pojedinih delova kopna. Ovo je imalo za posledicu izumiranje karbonskih močvarnih šuma od kojih se formirao tokom geološke istorije kameni ugalj ^{[6.1],[6.9]}.

Perm (P) je paleozojska perioda koja je dobila naziv po gradu i reci Perm koje se nalaze zapadno od Urala a gde su prvi put determinisane stene starosti koja odgovara ovoj periodi. Ova perioda trajala je oko 47 miliona godina, otpočela je pre oko 299 miliona godina nakon karbona i trajala je do početka pojave mezozoika (trijasa), odnosno negde do pre 252 miliona godina. Ovo je poslednja i najmlađa perioda paleozoika i nakon nje nastupa mezozojska era. Tokom perma sve do tada postojeće kopnene površine sakupljaju se u jedan superkontinent Pangeu čiji centralni delovi su se nalazili u predelu ekvatora šireći se ka polovima. Imala je oblik malo više zakrivljene deblje kifle, gde je krivina išla ka istoku i tu se nalazio Tetiski okean, dok je sve ostalo bio okean Pantalasa.

Kao i u karbonu i ovde postoji klimatska diferencijacija, tako da se razlikuje pojas pustinja, umereni pojas i hladni pojas. Pustinje dominiraju i formiraju se uvek tamo gde je veliko kopno što je slučaj sa Pangeom. Pangea je ogromno kopno gde je većim delom bila pustinja iz razloga što vetrovi nemaju dovoljno energije da prenesu vodu sa okeana u obliku kiše dublje u kopno. U okviru pustinskih delova (delovi današnje Amerike i Evrope) formirali su se kontinentalni sedimenti prepoznatljive crvene boje takozvani crveni permski peščari. Severno i južno od pustinskog pojasa ali uz obalu su pojasevi umerenog klimata u okviru koje je postojala bogata kopnena flora od koje su se formirala permska ležišta uglja (današnja Sibirski platforma, Afrika i Australija). I na krajnjem severu i jugu postojao je hladan pojas u okviru koga je bio prisutan glacialni proces (delovi današnje Afrike, Argentine i Australije). Što se tiče kopnene flore u odnosu na karbonsku u permu polako nestaju drvenaste likofite i drvenasti rastavići a sve više se šire semene biljke (golosemenice). Smatra se da je ovaj period jedan od najtoplijih perioda koji je bio u geološkoj istoriji od početka paleozoika do danas ^{[6.1],[6.10]}.



Slika 6.5: Klima tokom fanerozoika ^[6.11]

Na kraju perma, pre 252 miliona godina, dogodilo se najveće izumiranje tada postojeće biocenoze. Smatra se da je između 90 i 96% celokupnog živog sveta nestalo. Pretpostavlja se da je uzrok udar nekog meteorita i vulkanske aktivnosti, odnosno sam udar meteorita je mogao da uzrokuje aktiviranje vulkanske aktivnosti.

Pored pomenutog, postoji teorija i da je samo formiranje Pangee dovelo do izumiranja. Formiranje jednog velikog kontinenta uticalo je na znatno umanjenje dužine obalske linije. Kako živi svet u morima je prisutan uglavnom u uskom pojasu uz obalu do dubine od 200 m, ovaj prostor formiranjem Pangee se znatno smanjio. Imajući u vidu da je tokom perma najvećim delom kopna bila prisutna pustinja, svakako da se može reći da je ovo imalo uticaja na veliko smanjenje prisutne biocenoze.

Postoji i teorija, koju je teško dokazati a to je da je nekad davno, negde u kosmosu eksplodirala supernova i da je zračenje na Zemlju stiglo tačno pre 252 miliona godina. Kao dokaz za ovo se uzima da je od morskih organizama opstalo samo ono što u larvenom stadijumu preferiralo veće dubine. Sve pliće je izumrlo usled ovog zračenja.

6.4.3.2 Mezozoik (Mz)

Mezozoik predstavlja eru koja je trajala od pre oko 252 miliona godina pa do pre 66 miliona godina. Poznata je još i kao era dinosaurusa ili era srednjeg života. I početak i kraj mezozoika vezan je za velika izumiranja u tadašnjem postojećem živom svetu, početak je vezan za permsko-trijasko izumiranje a kraj za kredno izumiranje. U okviru ove ere razlikujemo tri periode a to su idući od najstarije:

- trijas,
- jura, i
- kreda.

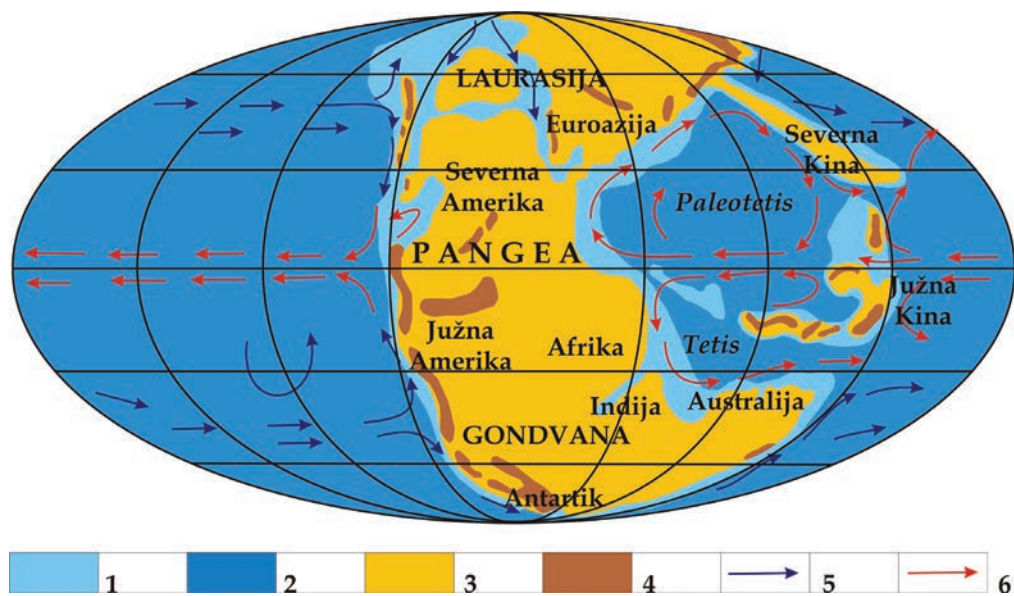
Trijas (T): Naziv ove periode javlja se u XVIII veku nakon što su na teritoriji Nemačke otkrivena dva člana ove periode: šareni/crveni pešćar i krečnjak bogat fosilnim ostacima školjaka, a kasnije još jednog člana koji je predstavljen crnim škriljcem. Nakon ovih otkrića, Fridrih von Alberti sva tri otkrivena člana svrstava u jednu periodu kojoj daje naziv trijas.

Trijas je prvi i najkraći period mezozojske ere koji je trajao oko 50 miliona godina. Sam početak kao i kraj trijasa vezani su za velike događaje izumiranja. Ova geološka perioda proteže se od kraja perma, odnosno od pre 252 miliona godina i traje do početka jure, tačnije do pre 201 miliona godina. U okviru ove periode izdvojene su tri epohe i to donji trijas (najstarija epoha), srednji i gornji trijas (najmlađa trijaska epoha).

Tokom trijasa kopnena masa je bila skoncentrisana u jednom superkontinentu - Pangei (*Pangea* u prevodu znači *sva zemlja*) pokrivajući oko 1/4 ukupne zemljine površine. Pangea se sastojala od grupe severnih kontinenata nazvanih Laurazija i grupe južnih kontinenata koji su zajedno imali naziv Gondvana. Zapadno od kontinenata je prisutan veliki svetski okean Pantalas koji je poznat i kao Paleopacifik dok je istočno Tetis. Kroz celu periodu karakteristično formiranje kontinentalnih klastično-terigenih tvorevina je posledica ogromne kopnene mase, pustinjske, koju erozija nosi. U pojedinim delovima dolazilo je do kraćih i manjih povećanja nivoa mora što je za posledicu imalo formiranje sedimenata sa morskom faunom u ovim delovima.

Tokom ove periode prisutno je i rastezanje zemljine kore što je uslovalo pucanje Pangee i formiranja dva odvojena kontinentalna bloka Laurazija (Angara) i Gondvana koji su bili razdvojeni Tetisom.

Globalna klima tokom trijasa bila je uglavnom topla i suva sa pustinjskim klimati-
ma koji su bili prisutni u unutrašnjosti Pangee. U periodu raspadanja Pangee klima se
menja i postaje vlažnija.



Slika 6.6: Raspored kopna i mora tokom trijasa

Legenda: 1. oblast plitkog mora, 2. oblast dubokog mora, 3. kopnene oblasti nižih nadmorskih visina, 4. planinski masivi, 5. hladne morske struje, 6. tople morske struje ^[6.12]

Tokom trijasa plitkomorska flora je bila predstavljena morskim algama dok kod kopnene flore prisutni su pojedini rodovi paprati i semenih biljaka. Trijas je nastupio nakon velikog permsko-trijaskog izumiranja tokom kog je došlo do velikog osiromašenja i nestanka pojedinih vrsta kopnene i vodene biocenoze.

Zbog ovoga tokom ove periode nastaju potpuno nove životinjske vrste i rodovi. Školjke dobijaju svoj procvat (prisutno preko 2000 rodova i vrsta), zatim cefalopodi sa preko 450 rodova i preko 2900 vrsta. Od brahiopoda razvijaju se Terebratula i Rhynchonella čije karakteristične vrste se koriste za definisanje podkatova u srednjem trijasu. Od kičmenjaka prisutne su ribe, vodozemci, gmizavci a najveći značaj je pojava i prvih dinosaurusa i sisara. Krajem trijasa razvijaju se gušteri koji su imali sposobnost lebdenja u vazduhu ^{[6.1],[6.13]}.

Jura (J): Geograf, prirodnjak i naučnik, A. Humbolt je 1795. godine vršio istraživanja u okviru krečnjačkog planinskog masiva Jura koji se nalazi u Švarcarskoj i Francuskoj, a krečnjak po lokalitetu je nazvao jurski krečnjak. Kasnije A. Bronijar 1829. godine daje ovoj periodi naziv jura po pomenutoj planini gde su prvi put identifikovani krečnjački slojevi starosti ove periode. I u juri razlikujemo tri epohe: donja jura ili lijas, srednja jura ili doger i gornja jura ili malm.

Period jura je period i sistem koji je trajao oko 56 miliona godina. Nastupa nakon trijasa pre 201.3 miliona godina nakon masivnog izumiranja i traje do početka perioda krede. Do sada je predloženo više razloga zašto je nastupilo izumiranje živog sveta na trijasko – jurskom prelazu. Jedna od pretpostavki zastupa da su postepene klimatske promene nastale usled raspada Pangee koja je uslovila i fluktuacije morskog nivoa, kao i izražena acidifikacija okeana tokom gornjeg trijasa usloveli na smanjenje raznolikosti biocenoze. Druga hipoteza je zasnovana na udaru asteroida. Međutim, do sada nije pronađen krater dovoljne veličine čija se starost poklapa sa starosnom granicom prelaza trijasa u juru. Ono što je dokazano da je *Manicouagan* rezervoar u Kvebeku nastao kao rezultat udara asteroida. Sa prečnikom od oko 100 km zauzima 4 mesto po veličini u svetu. Ono što je sporno je to da je dokazana starost ovog kratera 214 miliona godina što je oko 13 miliona godina pre starosne granice trijas – jura. Ovaj udar asteroida je svakako imao za posledicu izumiranje dela biocenoze ali ona se desila ranije. Takođe, postavljena je hipoteza i da se krajem trijasa desio višestruki udarni događaj, odnosno da se veliki asteroid raspao i da su njegovi delovi istovremeno uticali na više mesta u isto vreme. I na kraju postoji pretpostavka da su masivne vulkanske erupcije izbacile u atmosferu ugljen-dioksid (što bi za posledicu imalo intenzivno globalno zagrevanje) ili sumpor-dioksid i aerosole što bi izazvalo zahlađenje.

U juri i dalje postoje dva odvojena kontinentalna bloka definisana tokom trijasa: Laurazija na severu i Gondvana na jugu između kojih se prostiru Tetiski okean. Tokom jure počinje razdvajanje Gondvane tako što se počinje razdvajati Brazilijanski štitić od Afričkog kontinenta, a izdvaja se i Madagaskarsko-Indo-Australijsko kopno. Opšta karakteristika jure je razdvajanje kontinenta na manje delove i ispunjavanjem razdvojenih delova morem, koja dostiže vrhunac u gornjoj juri. Gornjojursko more plavilo je istočnu Afriku, Madagaskar i zapadnu Australiju. Ovo je imalo za posledicu da u juri dolazi i do diferencijacije klimatskih pojaseva, odnosno izdvajaju se mediteranski, srednjevropski i borealni pojasi.

U ovom periodu razvija se život i u moru i na kopnu. Flora je predstavljena morskim algama i kopnenim biljkama (golosemenice i paprati). Značajnu ulogu ima i mikrofauna (foraminiferi, radiolarije itd.) koje izumiranjem ostavljaju za sobom ljušturice koje su na dnu okeana i mora formirale sedimente značajnijih debljina (u pojedinim delovima preko više stotina metara). Od beskičmenjaka razvijaju se sunderi, koralji, brahiopodi, školjke, puževi, cefalopodi, ježevi i dr. Vodozemci su retki a od kičmenjaka dominiraju ribe. Gmizavci doživljavaju veliku diverzifikaciju, pa zbog ovoga juru nazivamo i periodom dinosaurusu što je pogrešno jer je kreda period koga trebamo zvati periodom dinosaurusu pošto su u kredi prisutne sve poznate grupe ovih gmizavaca. U juri su prisutni sauropodi (četvoronožni biljojedi) i teropodi (dvonožni mesojedi). U slojevima gornje jure javljaju se i gmizavci sa perjem (Arceopteryx) koji su imali osobine i gmizavca i ptica. Sisari su malih veličina odnosno ostaju sličnih dimenzija kao i trijasu ^{[6.1],[6.14]}.

Kreda (K): Ova perioda je dobila naziv po beloj pisačkoj kredi koja se javlja kao jedna od facija u mlađim odeljcima ove periode a pod ovim nazivom pominje se prvi put od strane belgijskog geologa O. d'Halloy 1822. godine. Kreda traje od 79 miliona godina i to od kraja jure (pre 145 miliona godina) pa do kenozoika / paleogena (pre 66 miliona godina). U okviru krede razlikuju se dve epohe: donja i gornja kreda.

Osnovna karakteristika ove periode je finalni raspad Gondvane i Laurazije na kontinentalne blokove. Krajem krede imamo raspored kontinenata kao i danas samo što je Atlantik bio užji. Nije bilo leda na kalotama a južna Evropa i delovi male Azije su bili ogroman arhipelag.

U donjoj kredi nastavio se trend hlađenja. Postoje dokazi o snežnim padavinama u višim geografskim širinama gde je u planinskim delovima bila prisutna i glacijacija. Tropi su postali vlažniji nego tokom trijasa i jure. Nakon ovoga temperature su ponovo porasle tako da je klima tokom većeg dela trajanja krede bila relativno topla. Zagrevanje je najverovatnije nastalo kao posledica izražene vulkanske aktivnosti koja je proizvela veliku količinu ugljendioksida. Topla klima i velika proizvodnja magme je imala za posledicu visok nivo okeana koji je stvorio brojna plitka unutrašnja mora. Okeani i mora su bili naseljeni morskim reptilima, amonitima i rudistima dok su na kopnu i dalje imali dinosaurusi dominaciju. Flora (biljni svet) tokom starije/donje krede sličan je jurskoj vegetaciji dok se sredinom krede javljaju prve skrivenosemenice i sve više se šire u gornjoj kredi. Prisutne su i dalje foraminifere, krupni oblici morskih sundera i koralja, zatim brahiopodi i školjke imaju i dalje značajnu ulogu. Tu su još i puževi, cefalopodi (amoniti), belemniti, kičmenjaci, košljoribe, morski gmizavci (plesiosauroi) kao i džinovske morske kornjače, vodozemci (javljaju se prvi oblici sa repom). Tokom krede se razvijaju svi oblici dinosaurusu (gmizavaca). Javljaju se prve prave ptice koje još uvek imaju zube i kandže na krilima (kraj prednjih ekstremiteta). Ptice su direktni potomci dinosaurusu i to Tyrannosaurus rex. Prisutni su i sisari i to torbari i placentalni ili pravi sisari. Od biljaka javljaju se prve cvetnice.

Kraj krede se vezuje za udarac asetroida na području poluostrva Jukatan. Kao posljedica ovog udarca bilo je formiranje ogromnih cunamija, zatim došlo je do povećanja koncentracija mikročestica u atmosferi što je izazvalo formiranje kiselih kiša a takođe smanjilo intenzitet sunčevog zagrevanja. Manji dotok sunčeve energije uticalo je na nailazak perioda za izuzetno niskim temperaturama ^{[6.1],[6.15]}.

6.4.3.3 Kenozoik (Kz)

Kenozoik predstavlja treću i poslednju eru fanerozoika. Ova era nastupila je nakon mezozoika pre oko 66 miliona godina i traje još uvek. Reč kenozoik potiče takođe od grčkih reči *kainos* što znači nov i *zoi* što znači život ^{[6.1],[6.16]}.

U okviru kenozoika, idući od najstarijeg perioda, razlikujemo

- paleogen,
- neogen,
- kvartar.

U literaturi se može naići i na termin **tercijar**. Ovo je stari termin koji označava period od pre 66 miliona godina i trajao je oko 64 miliona, odnosno završio se sa početkom poslednjeg ledenog doba (pre oko 1.8 miliona godina). Dakle, tercijar obuhvata dve periode kenozoika, obuhvata paleogen i neogen.

Paleogen (Pg) je najstarija perioda koja je trajala ukupno 42 miliona godina. Sastoji se od tri epohe: paleocen kao najstarija epoha, zatim eocen i oligocen kao najmlađa epoha paleogena.

Paleocen je nastupio nakon kredno-tercijarnog izumiranja (kredno-paleogenskog), odnosno pre 66 miliona i trajao je oko 10 miliona godina. Osnovna karakteristika ove epohe je potpuno odsustvo dinosaurusu i drugih reptilskih grupa koje su bile prisutne tokom krede. Tokom paleocena otpočinje period oporavka biocenoze stim da ide u pravcu razvijanja i dominacije u početku malih placentalnih sisara. Od sisara tokom paleocena prisutni su bubojeđi, sitni preci kopitara, mesožderi i preci primata. Najveći i dominantni predatori početkom kenozoika (paleogena) su džinovske ptice. Za ovaj period kažemo da je to vreme kad su "ptice jele konje"

Od flore prisutne su skrivenosemenice koje se diverzifikuju i postaju dominantna grupa biljaka, zatim tu su prisutne cvetnice (lovor) kao i rodovi hrasta i javora. U okeanima i morima su dominirale ajkule. Raspored kontinenata tokom paleocena polako zadobija sadašnji raspored, stim da su svi kontinenti kao i potkontinent Indije bili odvojeni jedni od drugih. Afrika i Evroazija je bila razdvojene Tetisom. Tokom celog paleocena prisutan je trend zagrevanja tako da je prisustvo gustih šuma bilo i na polovima.

Nakon paleocena, pre 56 miliona godina nastupila je najduža epoha kenozoika - *eocen* koji je trajao oko 22 miliona godina. Početak eocena ima sličnu klimu kao i paleocen. Topli i vlažni klimat i dalje uslovljava prisustvo velikog rasprostranjenja prašuma i gustih šuma. Razlike u srednje godišnjim temperaturama po prostoru nisu bile velike. Sredinom eocena dolazi do formiranja hladne antarktičke struje što je dovelo do zahlađenja i perioda suvlje klime. Guste šume se povlače, gube svoju dominaciju a pojavljuje se najmlađa biljka na našoj planeti – trava. Nasuprot ovome, sisari koji su do tada dostizali maksimalnu težinu do 20 kg, doživljavaju svoj razvoj i kreću da dostižu svoje maksimalne veličine. Razlog ovoga je pojava ogromnih prostora pod travom (savane) zbog čega sisari izlaze iz šume i počinju da se razvijaju do oblika kako ih danas poznajemo (konji, slonovi, žirafe, kamile, velike mačke predatori, vukovi, glodari).

Krajem eocena dolazi do formiranja i godišnjih doba. Za kraj eocena i početak oligocena vezuje se ponovno izumiranje dela vodenog biljnog i životinjskog sveta (npr. drevni kitovi nestaju). Razlog ovog izumiranja su novonastale klimatske promene koje su išle u pravcu velikog globalnog zahlađenja a koje je imalo za posledicu formiranje zarobljavanje dela vodene površine u okviru leda (ledena severna i južna polulopta), što je izazvalo sniženje nivoa mora. Predpostavlja se da je uzrok ovog zahlađenja proširena vulkanska aktivnost ili više meteorskih uticaja koji su se dogodili u tom periodu (*Chesapeake bay* sa kraterom oko 40 km, zatim krater *Popigai* u centralnom Sibiru).

Nakon eocena, pre oko 34 miliona godina nastupila je epoha *oligocen* koja je trajala do pre 23.03 miliona godina. Što se tiče biocenoze koja je zastupljena u ovoj epohi, može se reći da ona predstavlja prelaz između paleogenske (eocena) i neogenske. Klima u oligocenu je znatno umerenija u odnosu na skoro tropsku klimu koja je bila karakteristična za eocen. Što se tiče flore, na prostoru Evrope još uvek imamo prisutne paleotropske biljne oblike ali polako primat dobijaju biljke karakteristične za današnju floru jugoistočne Kine i središnjih delova Severne Amerike.

Sisari se i dalje diverzifikuju dok evolucija papkara i kopitara ide ka povećanju dimenzija tela i smanjivanju broja prstiju. Papkari zadržavaju dva a kopitari jedan. Prisutni su nosorozi velikih razmera, biljojedi postaju sve veći, javljaju se pravi mesožderi koji postaju brži i snažniji (lavovi, risovi, tigrovi i vukovi). U Egiptu, nađeni su ostatci prvog mastodona kao i prvih majmuna.

Neogen (Ng) je geološki period koji je otpočeo nakon paleogena (pre 23.03 miliona godina) i trajao je do pojave kvartara odnosno do pre 2.58 miliona godina. Sastoji se od dve epohe

- miocenske kao starije, i
- pliocenske kao mlađe.

Tokom neogena raspored kontinenata je sličan sadašnjem rasporedu. Indijski potkontinent nastavlja da se sudara sa Azijom formirajući Himalaje, dok se krajem neogena Južna i Severna Amerika konačno spajaju Panamskom prevlakom, a Afrika se približava Evropi. Ovo je uticalo na morske stuje koje su do tada postojale. Na prvom mestu prekinute su tople struje koje su se kretale od Pacifika ka Atlantskom okeanu. Golfska struja dobija na značaju jer prenosi toplotu ka Arktičkom okeanu. Ovo je uslovalo nastanak globalnog zahlađenja tokom celog neogena i formiranje sve većih ledenih kapa na polovima. Kraj ovog zahlađenja završava se pleistocenskom glacijacijom.

Miocen je prva epoha neogena a proteže se od kraja oligocena (pre oko 23.03 miliona godina) pa do pliocena (pre oko 5.333 miliona godina). Tokom miocena klima je i dalje topla ali generalno je osetan pad temperature tako da tokom ove epohe postaje sve hladnije i suvlje. Ovaj trend ide u ovom pravcu sve do pojave pleistocenskih glacijacija. Kretanje kontinenata se nastavlja u pravcu postavljanja na današnji položaj. Afrički kontinent se sudario sa Evrozijom u tursko-arapskom regionu što je uzrokovalo nestanak Tetisa i izdizanje planinskih masiva u mediteranskom regionu. Posledica ovoga je generalni pad nivoa, čak i privremeno isušivanje Sredozemnog mora krajem miocena, što je uticalo i na pojavu aridnosti. Kopnena fauna, sisari i ptice su u velikoj meri zastupljeni, papkari i surlaši i dalje nastavljaju sa svojim razvojem. U okviru morske biocenoze prisutan je razvoj i dominacija kitova, foka i morskih algi.

Pliocen je geološka epoha u geološkom vremenskom periodu koja se proteže od pre 5.333 pa do pre 2.58 miliona godina. Ovo je druga i najmlađa epoha neogenog perioda u kenozojskoj eri. Klima pliocena nastavlja svoj trend opadanja temperature koji je trajao tokom miocena. Ovde treba ipak naglasiti da je globalna prosečna temperatura tokom pliocena bila za 2-3 °C viša nego danas, da su nivoi ugljendioksida tada bili na istom nivou kao i danas a da je globalno nivo mora bio za oko 25 m viši u odnosu na današnju kotu nivoa mora. Krajem pliocena Južna i Severna Amerika se spajaju panamskom prevlakom koja spajajući ova dva kontinenta prekida kretanje toplih vodenih struja ka Atlantskom okeanu. Ovo je imalo za posledicu rashlađivanje Atlantskog okeana, pa samim tim i globalno zahlađenje. Dolazi do formiranja ledenih kapa na polovima što utiče i na nestanak šuma u ovim delovima i formiranje stepa i savana. Zahlađenje je uticalo na opadanje nivoa mora što je stvorilo kopneni most između Azije i Aljaske (u delu današnjeg Beringovog moreuza) i mešanje do tada fizički odvojenih vrsta i rodova faune. Pomenuto spajanje Južne i Severne Amerike panamskom prevlakom takođe je dovelo do mešanja faune.

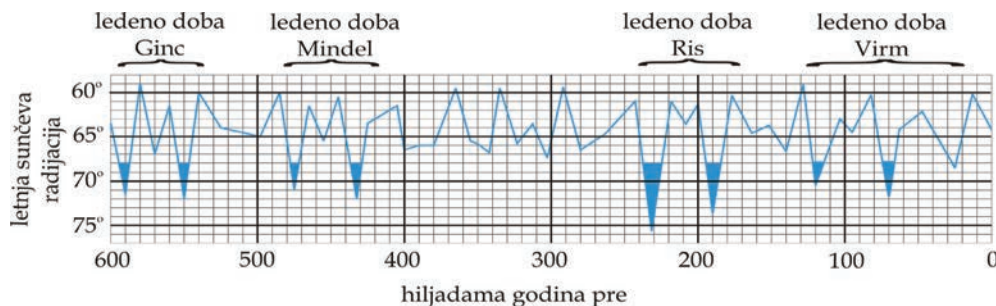
Kvartar je najmlađi geološki period koji je započeo završetkom pliocena (neogena) i traje još uvek (počeo pre 2.588 miliona godina). U okviru kvartara izdvojene su dve geološke epohe:

- pleistocen starija epoha
- holocen mlađa epoha.

Pleistocen koga još nazivamo i ledenim dobom je geološka epoha koja je trajala od 2.588 miliona godina pa do pre 11.7 hiljada godina. Kraj pleistocena vezuje se za kraj poslednjeg glacijalnog doba. Glavna karakteristika pleistocenske klime je više glacijalnih perioda tokom kojih po proceni je oko 30 % ukupne površine planete Zemlje bilo pokriveno ledom. Pored površina pod ledom, tokom ovih perioda bili su prisutni poja-sevi permafrosta širina i do nekoliko stotina kilometara. Srednja godišnja temperatura na ivici leda je bila oko -6°C , dok u delovima sa permafrostom iznosila je oko 0°C . Zbog velikih količina vode koja je bila zarobljena u ledu došlo je do velikih snižavanja nivoa mora. Smatra se da je nivo mora tada bio niži za oko 100 m u odnosu na današnji nivo. U toku pleistocena izdvojeno je više perioda glacijacije i interglacijacije. Broj se kreće od 4 do 11. Ovde ćemo pomenuti značajnija 4 ledena doba: Ginc, Mindel, Ris i Virm. Glacijalni i interglacijalni periodi su imali velikog uticaja na postojeći biljni i životinjski svet. Životinjski svet je imao velike migracije napuštajući delove sa većitim ledom tražeći uslove pogodnije za život. Od biljnog sveta najrasprostranjenija je bila tundra. Čovek, sličan današnjem javlja se u pleistocenu. Tačnije, evolucija roda *Homo* odvija se tokom pleistocena i kvartara. Današnji čovek je danas jedina vrsta ovog roda - *Homo sapiens*.

Kraj ledenih doba vezuje se za period od pre oko 10.000 godina kada su se glečeri i lednici povukli na oblasti i nadmorske visine gde su i danas prisutni. Sa ovim, formiraju se klimatsko-vegetacioni pojasevi kakve danas srećemo.

Holocen je poslednja geološka epoha koja još uvek traje. Nastupila je nakon poslednjeg ledenog doba i smatra se da je ovo interglacijalni period koji je nastupio posle Virm i sledećeg glacijalnog doba koje će se desiti u dalekoj budućnosti. Tokom holocena formirane su i nastale sve poznate ljudske civilizacije.



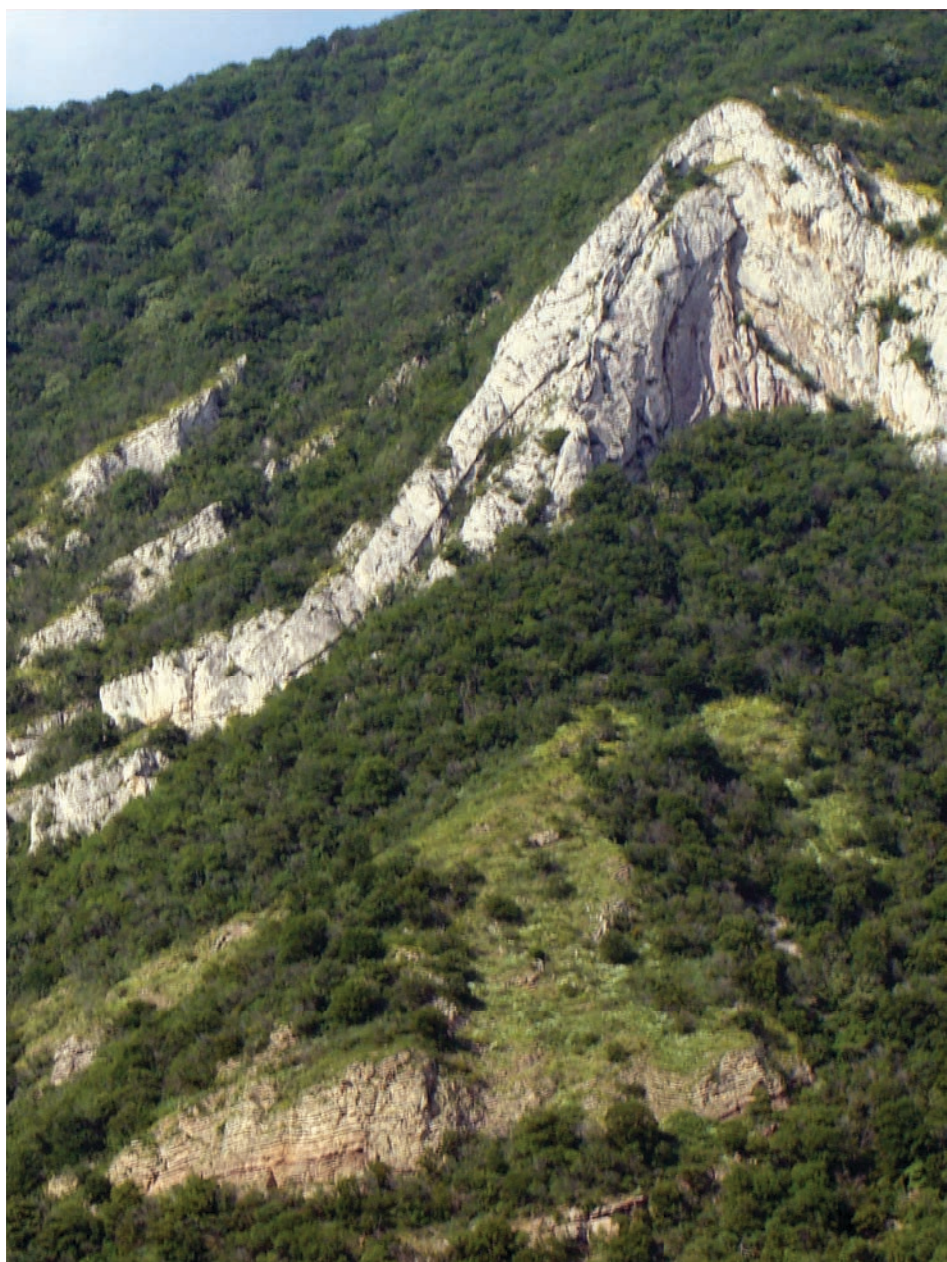
Slika 6.7: Izdvojena ledena doba koja su se desila tokom pleistocena ^[6.17]

Reference:

- [6.1] Rabrenović, D., Knežević, S., Rundić, Lj., 2003: *Istorijska geologija, Rudarsko geološki fakultet*, 268 str.
- [6.2] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Arhaik>
- [6.3] <https://ucmp.berkeley.edu/precambrian/proterozoic.php>
- [6.4] Paselk, R, 1998. *Cambrian*. Natural History Museum. Humboldt State University.
- [6.5] Wilson, M. A.; Palmer, T. J. 2006. *Patterns and processes in the Ordovician Bioerosion Revolution*, *Ichnos*. 13 (3): 109–112.
- [6.6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phanerozoic_Biodiversity.svg
- [6.7] DiMichele, W. A.; Hook, R. W., 1992. *The Silurian*. In Behrensmeyer, Anna K. (ed.). *Terrestrial Ecosystems Through Time: Evolutionary Paleocology of Terrestrial Plants and Animals*. pp. 207–10. ISBN 978-0-226-04155-1.
- [6.8] Smith, R., Hodgson, B., Ison, J., 2016. *A New Flora of Devon*. Exeter: The Devonshire Association. p. 1. ISBN 978 1 5272 0525 3.
- [6.9] Kazlev, M. A., 1998. *The Carboniferous Period of the Paleozoic Era: 299 to 359 million years ago*. Palaeos.org.
- [6.10] *Palaeos: Life Through Deep Time - The Permian Period*
- [6.11] <https://www.rosecityastronomers.net/newsletter-content/2017/4/1/imprints-milankovich-orbital-cycles-and-earths-ice-ages>
- [6.12] <https://www.britannica.com/science/Mesozoic-Era>
- [6.13] Cesare, E., 1992., *Planet Earth : Cosmology, Geology and the Evolution of Life and Environment*
- [6.14] Pieńkowski, G., Schudack, M. E., Bosák, P., Enay, R., Feldman-Olszewska, A., Golonka, J., Gutowski, J., et al., 2008. *Jurassic*. Yp.: McCann, T. *The Geology of Central Europe. Mesozoic and Cenozoic*. London: Geological Society.
- [6.15] Kielan-Jaworowska, Z., Cifelli, R. L.; Luo, Z. X., 2005. *Mammals from the Age of Dinosaurs: Origins, Evolution, and Structure*. Columbia University Press. p. 299. ISBN 9780231119184.
- [6.16] Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E.; Smith, D. G.; Smith, A. G., 1990. *The Chronostratic Scale. A Geologic Time Scale 1989*. Cambridge, England, U.K.: Cambridge University Press. p. 31.
- [6.17] https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2016/04/clip_image0061.jpg

7.

TEKTONIKA PLOČA I OSNOVE STRUKTURNE GEOLOGIJE

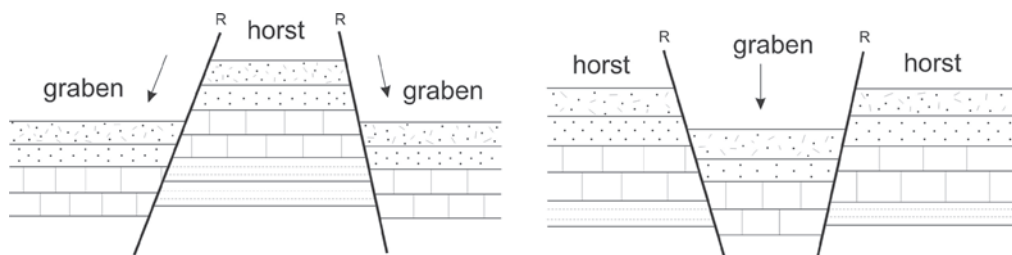


7. TEKTONIKA PLOČA I OSNOVE STRUKTURNE GEOLOGIJE

7.1 OPŠTE O TEKTONICI PLOČA

Tektonika znači (sa grčkog i latinskog) graditi. Površina planete Zemlje i njena unutrašnjost su u stalnom pokretu.

Oduvek je postojala potreba da se objasne procesi kao što su zemljotresi, vulkanizam i drugi. Tokom studija na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu i čitanja starije literature na ruskom i engleskom još 80-tih godina 20 veka se koristio, kod starijih autora termin geosinklinale. Kako se B. Vakanjac u početku svoje geološke karijere više bavio nastankom rudnih ležišta na "mikro" nivou, posmatrajući u mikroskopu rude, stene i promene stenskog materijala kao i rekonstrukcijom fizičko-hemijskih uslova nastanka ležišta mineralnih sirovina nije se udubljavao u potragu za "sveobuhvatnom" teorijom koja bi objasnila sve procese koji se dešavaju na planeti Zemlji. Situacija se promenila kad je otišao u Mongoliju gde se bavio istraživanjem ležišta urana u sedimentnim sistemima. Generalno objekat istraživanja su bile sredine nastale tektonskim pokretima, u smislu da su se pojedini delovi uzdizali - horst, a pojedini spuštali - graben. U spuštenim delovima se taložio materijal poreklom iz uzdignutih delova - horstova koji su se tokom dugotrajne tektonike 100 - 150 i više miliona godina u atmosferskim (eventualno plitkim morima) uslovima raspadali. Dakle, autor je morao da shvati uzroke pokreta koji su doveli do pomenutih horst - graben sistema. Posledice ovih pomeranja mogu biti globalne, kada se radi o kontinentima i okeanima, i mikro lokalne, kada se radi o pukotinama dimenzija 2 do 10 cm, nastalim u nekom stenskom materijalu.



Slika 7.1: Horst-graben struktura, horstovi su uzdignuti delovi a grabeni su spušteni delovi^[7.1]

Globalna, planetarna tektonika bi se uslovno mogla nazvati endodinamikom - dinamika uslovljena procesima unutar planete Zemlje, dakle pokreti nastali endogenim silama, za razliku od egzodinamike koja se bavi procesima uzrokovanim atmosferilija-

ma, vodom i drugim, koji pored endodinamike uglavnom oblikuju reljef. Prof. dr Luka Pešić je i svoje dve fundamentalne knjige u kojima obrađuje problematiku "Opšte geologije" nazvao jednu Endodinamika, a drugu Egzodinamika, nama se termini dopadaju.

Sušтина je da se litosferne ploče pomeraju. Pokretanje litosfernih ploča je uzrokovano pomeranjem toplote nastale u unutrašnjosti planete Zemlje ka njenoj površini - temperaturnim fluksom. Kada toplota dođe do površine remeti statiku litosfere i time dovodi do: 1. Razdvajanja - divergencije; 2. Podvlačenja jedne ploče pod drugu - konvergencije i subdukcije i 3. Transformnog kretanja litosfernih ploča jedne pored druge. Ova kretanja uzrokuju zemljotrese i vulkanizam o čemu će kasnije biti reči.

Kada se pogleda karta sveta i kada bi makazama isekli kontinente, mogli bi da uklopimo zapadni deo Afrike i istočni deo Južne Amerike, da spojimo Južnu i Severnu Ameriku i istočni deo Severne Amerike sa Evropom, poslednje ne baš idealno. Interesantno je da ovo nikome nije padalo na pamet do Alfreda Vegenera u prvim decenijama 20-og veka. Ideja je bila da se svi kontineti mogu uklopiti u jedan super kontinent, koji je postojao u prošlosti i koji se iz nekog razloga pokidao na manje delove što je stvorilo raspored kontinenata kakav danas poznajemo. Alfred Vegener je bio astronom i meteorolog i kada je predstavio svoju teoriju nije imao dovoljno dokaza da je i dokaže. Poznavao je Milutina Milankovića i bio je oženjen Elzom Kopen, ćerkom Vladimira Petrovića Kopena, koji je uspostavio klimatologiju kakvu danas poznajemo, dakle društvo iz istog kruga (Alfred Wegener, Vladimir Peter Kopen, Milutin Milanković).

Sa razvojem sonara na brodovima i podmornicama tokom i posle drugog svetskog rata, a sa eskalacijom hladnog rata došlo je do detaljnog kartiranja okeanskog dna i konstatovanja složenog reljefa na dnu okeana. Jedan od najvažnijih rezultata je uočavanje dubokih struktura - pukotina u Pacifiku i Atlantiku - riftova ili srednje okeanskih grabena. Na ovim mestima dolazi do razdvajanja duž dubokih rasednih sistema - pukotina, gde se izliva magma - materijal iz gornjeg omotača. Ovaj materijal očvršćava i gura okeansku koru na obe strane, suprotno od centralnog sistema raseda - rifta. Tako dolazi do pomeranja svih litosfernih ploča. Ovaj proces se dešava u svakom trenutku i trajeće dokle god planeta Zemlja bude imala generator toplote u svom jezgri.

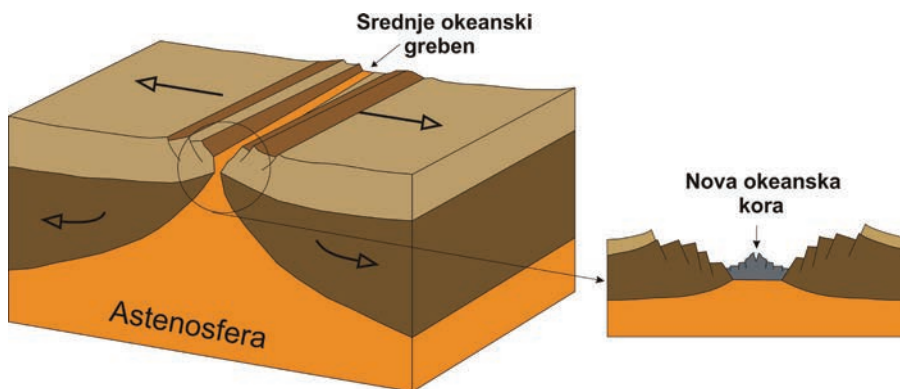
Kako je stena u čvrstom stanju, pomeranja stenskog materijala delovanjem jakih sila uz trenje koje nastaje na kontaktu stenskih masa litosfernih ploča, ne idu glatko. Kada sila prevaziđe statično stanje dolazi do naglih pokreta i oslobađanja velike količine akumulirane energije, ovo je osnova za nastanak zemljotresa. Takođe, na mestima gde se litosferne ploče podvlače jedna ispod druge, ili gde termalni fluks iz centralnih delova planete "udara" (mehanizam konvekcijske ćelije) na čvrstu stensku masu, nastaju preko vrućih tačaka vukani.

U literaturi se navode razni dokazi za teoriju tektonike ploča, sa našeg aspekta su imali smisla da se detaljno obrađuju pre 30 godina, ipak navešćemo glavne: 1. Granice kontinenata se uklapaju; 2. Stene na ivicama - obodima kontinenata su istog tipa i geneze; 3. Geološke strukture su slične i mogu se "ispratiti"; 4. Isti fosili se nalaze u okviru granica koje su na različitim kontinentima; 6. Paleomagnetizam - praćenje pravaca kristalizacije nekih minerala, npr. magnetita i drugih, imaju različite smerove u zonama nastalih emanacijom magme u oblastima divergentnih granica. Zainteresovani mogu ove dokaze detaljno da proučavaju. Danas postoje precizna merenja GPS sistemima i satelitima, a i rekonstrukcija npr. geologije i strukture samo Balkanskog poluostrva (koje je istorijski-geo-tektonski veoma složeno), kao i trenutni očigledni procesi kao što su emanacija pillow lava u okeanskim riftovima, sav vulkanizam na planeti Zemlji - posebno vulkan Krakatoa je odličan primer, odvajanje istočnog dela Afrike, zemljotresi u Peru i Čileu uzrokovani subdukcijom pacifičke (Naska) okeanske kore pod Južnu Ameriku i mnogi drugi su očigledne savremene situacije koje su u toku - događaju se sad i merljive su.

7.2 TIPOVI GRANICA

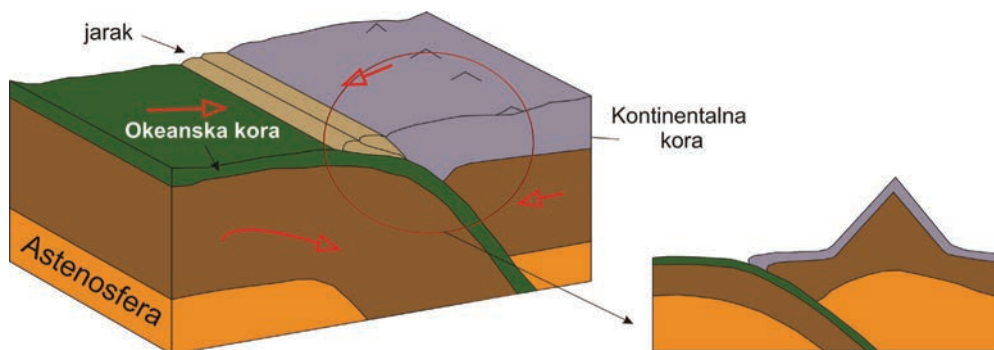
Kod tektonike ploča postoje 3 tipa granica: divergentna, konvergentna i transformna granica.

Divergentna granica nastaje kada se dve litosferne ploče kreću jedna od druge. Duž dubokih struktura - raseda - riftova se intruduje magma iz gornjeg omotača koja je ultrabazičnog sastava (ima najmanje SiO_2 u odnosu na ostale lave). Često se dešavaju povremeni zemljotresi duž rifta - dubokih struktura, dela sistema srednje okeanskih grebena. Lava koja se izliva iz riftova se naziva i pillow lava - jastučasta lava, zbog oblika koji nastaje pri očvršćavanju. Stene koje nastaju izlivanjem u gornjoj okeanskoj kori su uglavnom bazalti, crne su boje sa šupljinama, pod lupom i mikroskopski se vide ukršteni minerali i to se naziva intersertalnom strukturom. U donjoj okeanskoj kori nastaje gabro - zrnasta intruzivna stena. Tako nastaje nova okeanska kora. Brzina širenja može da iznosi i od 20 do 120 mm godišnje. Proučavanjem Fe-Ti oksida otkriveno je da je Zemljino magnetno polje relativno često menjalo smer u geološkoj prošlosti planete. Pored okeanske kore i poznatih dubokih riftova u Pacifiku i Atlantiku, divergentne granice su razvijene i na kontinentalnoj kori što se u ovom trenutku dešava na prostoru Albertine rifta i može da se prati od Afarske depresije, Viktorinijih jezera, Južnog Sudana do Mozambika preko jezera (od severa ka jugu) Turkana, Albert, Edvard, Kivu, Tanganjika i Malavi i završava u donjem toku reke Zambezi, tako da će se u jednom trenutku od Afrike odvojiti prema istoku prostor koji sada zauzimaju delovi Etiopije, Somalija, Uganda, Kenija, Tanzanija i severo-istočni deo Mozambika^{[7.2][7.3]}.



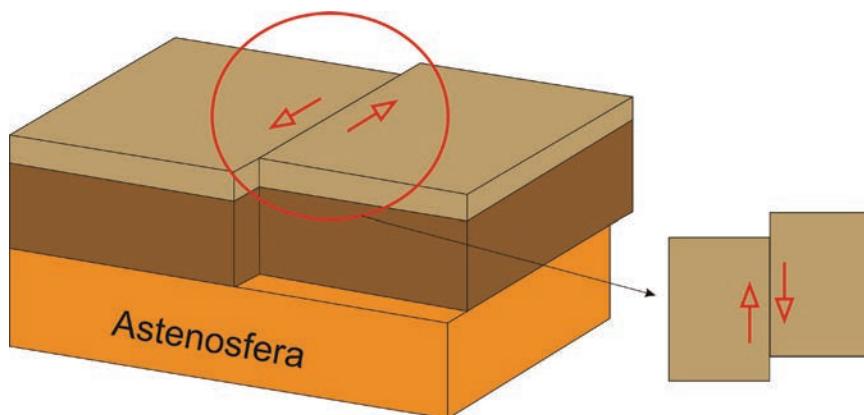
Slika 7.2: Šema divergentne granice, kada se tektonske ploče razdvajaju jedna od druge i dolazi do priliva magme iz gornjeg omotača na površinu planete Zemlje duž strukture razdvajanja ^[7.4]

Konvergentna granica nastaje kada se jedna tektonska ploča podvlači pod drugu. Ovaj proces se zove subdukcija a prostori gde se dešava su zone subdukcije. Moguće su varijacije: podvlačenje okeanske kore pod kontinentalnu koru, okeanske pod okeansku i kontinentalne pod kontinentalnu. U slučaju da dolazi do kolizije okeanske kore sa kontinentalnom, okeanska kora kao teža sa više Fe (izgrađena od peridotita, gabra i bazalta) se podvlači pod kontinentalnu - lakšu (izgrađena od metamorfita kiselog sastava i granita). Ploča koja se podvlači tone i pretapa se kad dođe do gornjeg omotača. Ako se radi o okeanskoj kori, rastopljeni materijal je sličnog sastava kao gornji omotač, ako je subdukovana ploča kontinentalna formiraju se mešane magme. Na mestima podvlačenja ili zonama subdukcije dolazi do pojave zemljotresa i vulkanizma. Procesom konvergencije i subdukcije nastaje "kolizija" kada se stvaraju planinski venci kao što su Himalaji uzrokovani "zabijanjem" indijskog podkontinenta u evro-azijsku ploču, kao i Alpi (na prostorima Balkana Dinaridi) koji su rezultat subdukcije afričke ploče pod evro-azijsku ploču. U procesu subdukcije može doći do raspadanja i nestanka subdukovane ploče. Tako na primer pri ispitivanju minerala magnetita Fe_2O_3 iz Timočkog magmatskog kompleksa (TMK) konstatovan je vanadijum što ukazuje na poreklo Fe iz gornjeg omotača. Jedan od primera subdukcije na našim prostorima je zatvaranje Tetisa koje je završeno krajem jure, kao rezultat su ofiolitski kompleksi gde su najpoznatiji predstavnici Zlatibor i Divčibare^{[7.2][7.3]}. U konkretnom slučaju i krajnje uprošćeno - zapadna strana sada prostor Bosne i Hercegovine se podvlačio pod sadašnji prostor Srbije i Makedonije (Grčke i Albanije).



Slika 7.3: Šema konvergentne granice, proces subdukcije kada se jedna tektonska ploča podvlači pod drugu tektonsku ploču. Na slici je prikazano da se okeanska ploča podvlači pod kontinentalnu ploču ^[7.4]

Transformna granica nastaje kada se tektonske ploče kreću jedna pored druge. Pravci koji određuju kretanje su ranije predisponirani rasedi i duž rasedne površine se ploče kreću - smiču jedna pored druge. Ovim procesom nastaju intenzivni zemljotresi. Jedan od najpoznatijih raseda i pojava ovog tipa je Sen Andres rased gde jedna pored druge se kreću - smiču Pacifička i Severno - Američka ploča. Pomenuto može da se dešava i sa okeanskim korom kada duž ovih raseda mogu da se kreću greben i rift ili rift i rift ^{[7.2][7.3]}.



Slika 7.4: Šematski prikaz transformne granice, kada dve tektonske ploče duž strukture se kreću paralelno jedna pored druge u različitim pravcima ^[7.4]

7.3 SUPERKONTINENTI

Tokom istorije razvoja planete Zemlje uzrokovano procesom tektonike litosfernih ploča nastajali su i razdvajali se super kontinenti. Poslednji od njih je bio Pangea. Postojao je po procenama stručnjaka od oko pre 300 do 180 miliona godina. O Pangei je pisao Alfred Wegener 1915. godine u svojoj knjizi "Poreklo kontinenata". Tokom perma pre oko 225 miliona godina Pangea je počela da se razdvaja što je u trijasu pre oko 200 miliona godina dovelo do pojave dve velike celine Gondvane i Lauroazije. Proces se nastavio do današnjeg dana sa rasporedom kontinenata i okeana kakve danas poznajemo. Kontinenti će se verovatno spojiti ponovo kroz otprilike 250 miliona godina i taj superkontinent se naziva Pangea Ultima, Pangea Proxima ili Neopangea.

U prošlosti su postojali i drugi superkontinenti. Džon Tuzo Vilson (John Tuzo Wilson) je uspostavio tzv. Vilsonov ciklus. Pretpostavke su da su postojali sledeći superkontinenti sa datim aproksimativnim starostima: Vaalabara - pre 3 milijardi godina, Ur nešto manje od 3 milijardi godina, Kenorland pre oko 2,72 milijarde godina, Columbia-Nuna - pre oko 2 milijarde godina, Rodinia - pre jedne milijarde godina, Panotia - pre 550 miliona godina, Pangea - pre 300 miliona godina, Lauroazija i Gondvana - pre oko 200 miliona godina.

Danas se Evroazijski kontinet smatra superkontinentom.

7.4 KONVEKCIJSKA ČELIJA

Generatorom tektonskih pokreta, tačnije procesom divergencije, čijim produktima se "guraju" druge litosferne ploče je kruženje vreline u:

1. Samo gornjem omotaču: vrelina u okviru gornjeg omotača od mezosfere kroz astenosferu i čvrsti deo gornjeg omotača "udara" u neki deo litosfere izazivajući pri tom nestabilnost i pucanje litosfere i na kraju izlivanje magme u tim prostorima
2. Od jezgra do litosfere: razlika je samo u teoriji da se vrelina generiše u jezgru, prolazi kroz sve strukture planete Zemlje, ide prema površini, udara u litosferu itd.

Konvekcijska ćelija se zove zato što u procesu reakcije termalnog fluksa, kao što je rečeno, dolazi do slabljenja litosfere na mestu gde vrelina dolazi do litosfere. Tektonskim pokretima neki delovi litosfere u zonama subdukcije - podvlačenja jedne litosferne ploče pod drugu dolaze (hladne) u zonu gornjeg omotača (gde je vrelo) i tu se pretapaju, pa nastaju sada mešane magme nastale od materijala iz gornjeg omotača i stopljenog materijala od subdukovane litosferne ploče.

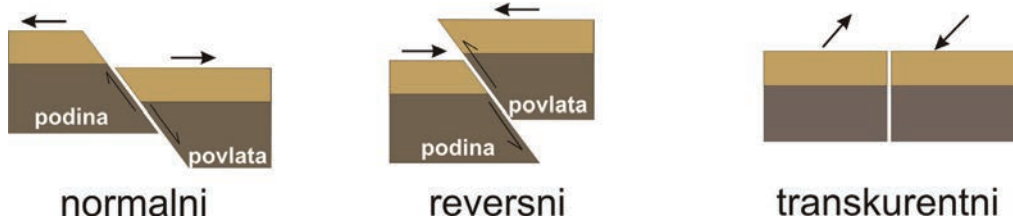
7.5 OSNOVNE INFORMACIJE O STRUKTURNJOJ GEOLOGIJI

Kako je dato u prethodnom tekstu litosfera je u stalnom kretanju i promenama. Ovim se bavi strukturna geologija. Stena je čvrst i naravno lomljiv materijal. Za neke stene da bi pukle je potrebna veća, a za neke manja sila. Videli smo da je osnova svih pokreta na planeti Zemlji tektonika ploča.

Strukturnom geologijom se proučavaju deformacije i istorija deformacija stenskih masa. Ovo je posebno važno, pored ostalog, u građevinarstvu i rudarstvu. Složenim merenjima se proučavaju deformacije, njihovi pravci, geometrija i intenzitet. Ranije se to radilo uglavnom kompasima i teodolitima, danas postoji niz razvijenih elektronsko-GPS-lasersko-kompjuterskih sistema kojima se prikupljaju i obrađuju informacije. Suština svih merenja je određivanje pravca pružanja, ugla pada i intenziteta deformacije. Uslovno najpoznatije pojave u strukturnoj geologiji su rased, nabori i folijacija.

Rased - Najvažnija deformacija u strukturnoj geologiji je rased. To je mesto koje je u stvari površina duž koje se kreću dve strane izgrađene od stenskog materijala - uprošćeno to je pukotina gde su se dve strane pomerile. Pomenuta površina ima svoj pravac pružanja i padni ugao i zove se "rasedna površ". Dve strane koje su se pomerile ili se i dalje pomeraju imaju svoje pravce kretanja koji se, takođe mere, i određuju se pravci pomeranja. Do formiranja raseda dolazi tako što na neku stenu deluje sila. Ona može da dovede do: 1. tenzija - kada se materijal razvlači, 2. kompresija - kada se materijal sabija i 3. smicanja - kada na (uprošćeno) "gornju" i "donju" stranu materijala deluju sile različitih pravaca. Svaki materijal trpi delovanje sile na sledeći način: 1. bez deformacija, 2. sa deformacijama i 3. na kraju kad dolazi do pucanja. Kod raseda je dakle došlo do pucanja stenskog materijala. Postoje i "samo" pukotine kada nije došlo do pomeranja stenskog materijala kao kod raseda. Od elemenata raseda smo spomenuli rasednu površ, osim toga, blok koji se nalazi iznad rasedne površi se zove "povlatni" blok ili krilo (hanging wall), a blok koji se nalazi ispod rasedne površi se zove "podinski" (footwall). Povlatni blok se kreće po podinskom - ovo se vidi po strijama na rasednoj površi^{[7.2][7.3]}.

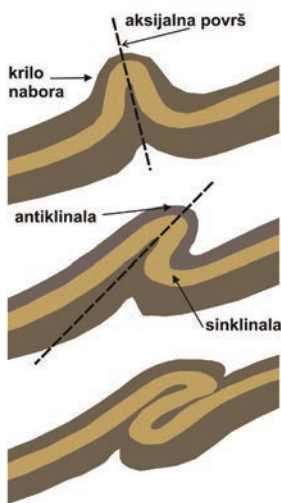
Postoji više podela raseda, nekada su kretanja jako komplikovana, ovde ćemo navesti samo: 1. normalni rased kada se povlatni blok kreće "dole", a podinski se kreće prema "gore" - blokovi raseda se razmiču i 2. reversni rased kada se povlatni blok kreće "gore", a podinski se kreće prema "dole" - blokovi raseda se kreću jedan prema drugom, 3. transkurentni kada blokovi raseda (povlata i podina) prolaze jedan pored drugog. Pravci "gore i dole" su uvek pod nekim uglom rasedne površi u odnosu na zamišljenu horizontalnu ravan koja preseca planetu Zemlju po ekvatoru. Rasedi su najizraženiji u područjima gde je intenzivno delovanje tektonike ploča, kao npr. Himalaji gde se Indijski potkontinent i dalje "zabija" u Euroaziju, u oblasti Mediterana gde se Afrika podvlači pod Euroaziju, vatreni prsten Pacifika i drugi^{[7.2][7.3]}.



Slika 7.5: Tipovi raseda ^[7.5]

Kod rasedanja na lokalnom i globalnom nivou je potrebno znati za horst i graben. Horst je tektonikom izdignuti blok, a graben je tektonikom spuštenu blok.

Nabori - Kada su stene plastične i sila nije previše jaka nastaju nabori. Elementi nabora su krila - strane nabora i šarnir - "vrh ili dno" nabora. U preseku se raspoznaju sinklinale i antiklinale. Nabora može biti jedan - ređe ili više - češće. Aksijalna površ je zamišljena ravan koja simetrično preseca nabor kroz šarnir ^{[7.2][7.3]}.



Slika 7.6: Nabori ^[7.1]



Slika 7.7: Smicanje u zelenim škriljcima rano paleozojske starosti, Huren Gol, centralna Mongolija (foto: B. Vakanjac)

Folijacija nastaje kada stenska masa pod uticajem neke sile ispuca u vidu manjih pukotina specifičnog oblika koje kasnije mogu biti ispunjene. Na osnovu njih se može rekonstruisati pravac sile koja je dovela do folijacije ^{[7.2][7.3]}.

Preporučena literatura:

1. <http://www.ndma.gov.pk/sep/books/b6.pdf> na engleskom jeziku
2. <http://www.mantleplumes.org/WebDocuments/Courtillot2003.pdf> na engleskom jeziku
3. https://www.researchgate.net/figure/Systems-diagram-examples-A-A-human-focussed-example-The-Structure-of-the-World-Model_fig10_322098218 na engleskom jeziku
4. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Great_Rift_Valley_map-sr.svg na srpskom jeziku

Reference:

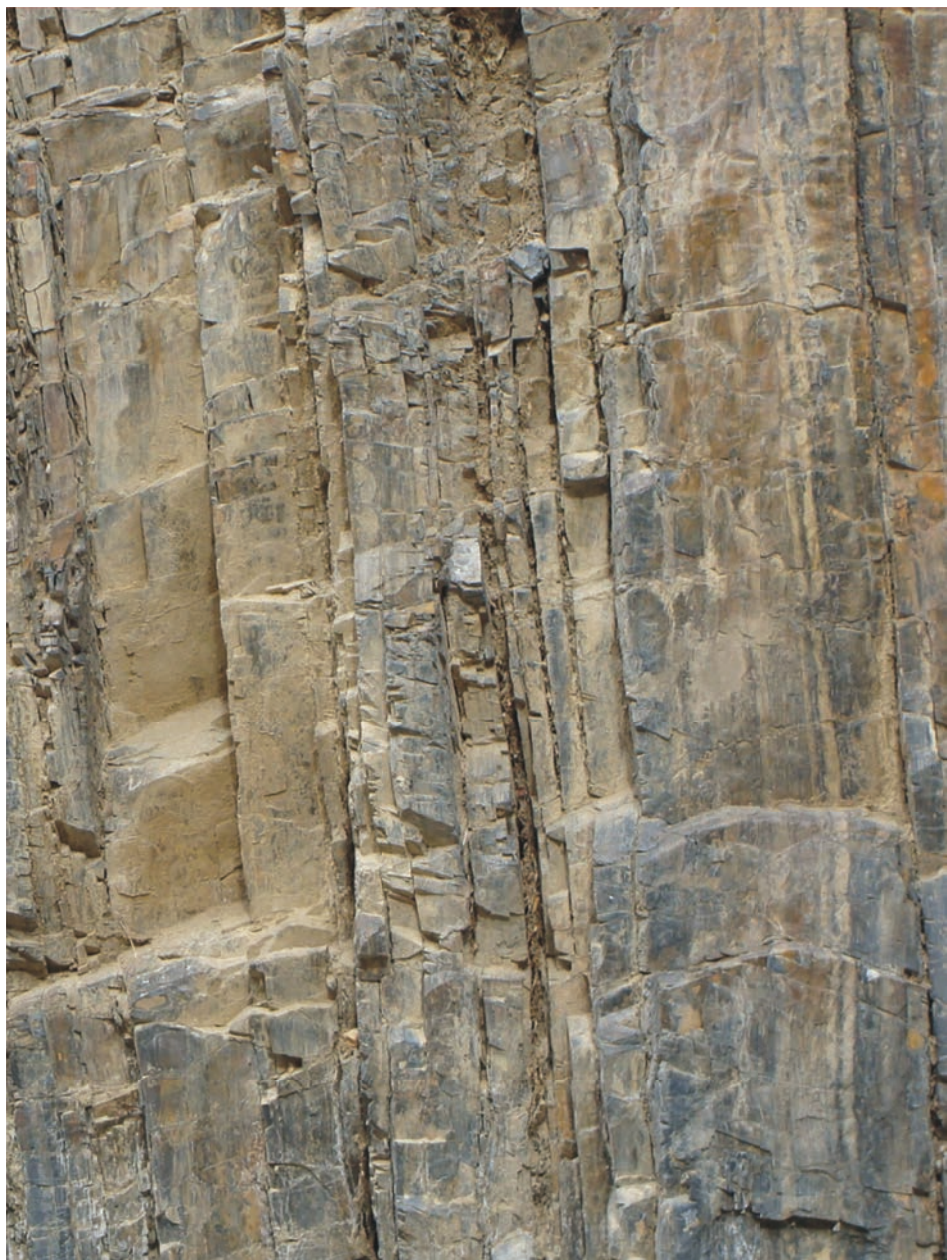
- [7.1] Petković, V. K., 1938: *Geologija i mineralogija, Kreditne i pripomoćne zadruge profesorskoga društva, Beograd*
- [7.2] Pešić, L., 2001: *Opšta geologija – Endodinamika, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [7.3] Marović, M., 2005: *Geotektonika, autorizovana skripta, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [7.4] <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html>
- [7.5] <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html>

Slike:

- 7.1 Modifikovano iz: Petković V. K., *Geologija i Mineralogija*, 193
- 7.2 Modifikovano sa: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html> ^[7.4]
- 7.3 Modifikovano sa: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html> ^[7.4]
- 7.4 Modifikovano sa: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html> ^[7.4]
- 7.5 Modifikovano sa: <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html> ^[7.5]
- 7.6 Modifikovano iz: Petković V. K., *Geologija i Mineralogija*, 193 ^[7.1]

8.

ZEMLJOTRESI



8. ZEMLJOTRESI

8.1 OPŠTI POJMOVI O ZEMLJOTRESIMA

Zemljotresi predstavljaju produkt izuzetno složenih procesa unutar ili na površini Zemlje. Glavni izazivač oscilovanja čestica unutar Zemljine kore može biti izazvan prirodnim ili veštačkim (čovek) uzročnicima. Prilikom oslobađanja unutrašnje energije Zemlje kao posledica se javljaju potresi na njoj površini. Za skup svih seizmičkih pojava upotrebljava se jedinstveni termin **seizmizam**.

Zemljotres (potres) nastaje tokom tektonskih aktivnosti (izazvanih konvekcijskim strujanjima u astenosferi), kretanjem blokova duž rasednih površina ili tokom različitih udara, a kao posledica se pojavljuju potresi na površini Zemljine kore različitog intenziteta^[8.1]. Pojava zemljotresa je veoma česta, međutim, većina zemljotresa koji se ispoljavaju na površini Zemlje su malog intenziteta i skoro neprimetni za čoveka, njihova pojava vezana je za relativno male površine kopnenih prostora ili okeanskog dna.

Prilikom izuzetno visokih pritisaka unutar Zemlje, na njoj površini dolazi do zemljotresa visokih magnituda i dislociranja tla. Ovakvi zemljotresi, jakog intenziteta, na Zemljinoj površini mogu izazvati pojavu cunamija, razornog morskog talasa. Procesu nastanka zemljotresa najčešće prethodi tektonska aktivnost ispod Zemljine kore i naprezanja stenske mase. Prilikom sučeljavanja dve tektonske ploče dolazi do naprezanja stenskih masa i onog momenta kada naprezanje pređe granicu elastičnosti stenske mase dolazi do njenog pucanja i klizanja duž raselina, a samim tim i nastanka potresa na površini Zemlje^[8.1].

Poreklo zemljotresa može biti prirodno (tektonika ploča, vulkanizam, kližišta) ili antropogeno (eksplozije, nuklearni testovi...). Bez obzira na njihovo poreklo reč zemljotres se koristi kako bi se opisao bilo koji seizmički događaj koji generiše seizmičke talase^[8.1].

Područje seizmičke zone okarakterisano je istim seizmološkim, seizmotektonskim i neotektonskim karakteristikama. To je prostor u kome se može očekivati ponavljanje zemljotresa slične i jedinstvene relacije magnitude i frekvencije.

8.2 PODELA ZEMLJOTRESA

Podela zemljotresa uslovljena je načinom njihovog postanka, te oni mogu biti **prirodni** ili **veštački**^[8.1]. Veštački zemljotresi nastaju usled antropogenog delovanja na površini Zemljine kore ili unutar nje, dok se prirodni zemljotresi dalje mogu podeliti na **spontane** i **izazvane**^[8.1]. Spontani zemljotresi nastaju prilikom kretanja litosfernih ploča, te se nazivaju tektonski zemljotresi, dok u grupu izazvanih zemljotresa spadaju **vulkanski** i **urvinski zemljotresi**^[8.1].

Tektonski zemljotresi nastaju pod dejstvom visokih pritisaka u stenskoj masi Zemljine kore. Pomeranjem velikih blokova Zemljine kore dolazi do stvaranja velikih pritisaka na stensku masu, njenog lomljenja i oslobađanja seizmičke energije u Zemljinoj kori. U zonama razilaženja tla zemljotresi su relativno retki i slabijeg su intenziteta, budući da je astenosfera tih područja još uvek žitka i male viskoznosti. U zonama subdukcije ploča, gde su ploče već ohlađene i očvrсле zemljotresi su najjači i najčešće se pojavljuju^[8.1].

Vulkanski zemljotresi nastaju u zonama aktivnih savremenih vulkana. Posledica su kretanja magme, a njihova pojava vezana je za snažne vulkanske erupcije i eksplozije vulkanskih gasova i para^[8.1].

Urvinski zemljotresi nastaju u zonama izgrađenim od krečnjaka, gipsa ili drugih lako rastvorljivih stena u kojima se formiraju pećine i jame različitih dimenzija. Potresi na ovim područjima izazvani su urušavanjem tavanica i bokova većih pećina i podzemnih prostorija^[8.1].

Veštački zemljotresi nastaju usled antropogenog delovanja čoveka na prirodnu sredinu. Najbolji primer indukovanih (veštačkih) zemljotresa jeste u oblastima gde se vrši podzemna eksploatacija. Prilikom formiranja dubokih bušotina, npr. za potrebe eksploatacije geotermalne energije, u iste se upumpava velika količina vode što dovodi do stvaranja seizmičkih talasa^[8.1]. Na žalost, veštačke seizmičke talase izazivaju i bombardovanja. Ukoliko se pogledaju zapisi seizmografa Republičkog seizmološkog zavoda iz II Svetskog rata, mogu se videti registrovani potresi izazvani bombardovanjem nacističke Nemačke 6. aprila 1941. godine kao i tokom savezničkih bombardovanja 1944. godine.

Rasedi predstavljaju zone mehaničkog diskontinuiteta stenske mase^[8.2]. **Upravo ovi diskontinuiteti predstavljaju najtipičnije zone pojave žarišta zemljotresa.**

Elastični odsek predstavlja period prikupljanja i oslobađanja seizmičke energije. U periodu prikupljanja energije dolazi do stvaranja elastičnih deformacija, te je trenje među pločama još uvek veće od napona. Do oslobađanja seizmičke energije dolazi u periodu kada napon prevaziđe trenje među pločama, te dolazi do odskoka^[8.2].

Jačina potresa uslovljena je različitim faktorima kao što su dubina hipocentra, građa Zemljine kore, količina oslobođene energije i udaljenost epicentra od površine Zemlje. Sa druge strane **intenzitet zemljotresa** determinisan je rušilačkim efektom na površini Zemlje. Jačina zemljotresa može se prikazati različitim skalama, međutim, u Evropi su u upotrebi najčešće skale MCS (Mercali – Cancani - Siebergova) i MSK-64 (Medvedev – Sponhauer – Karnik skala, 1964. god) skale koje prikazuju dvanaest različitih stepeni potresa^[8.1].

Magnituda zemljotresa predstavlja količinu energije oslobođene u samom hipocentru zemljotresa, a izražava se magnitudnom Rihterove skale koja se deli na devet stepeni^[8.1].

Pošto su seizmički potresi izuzetno složenog karaktera, postoji oblast nauke koja se bavi izučavanjem zemljotresa (uslovima njihovog nastanka, predviđanjem pojava kao i njihovim posledicama) i naziva se **seizmologija**.

Neki od jačih registrovanih potresa:

- Zemljotres u Skoplju (Makedonija), 26.07.1963., život je izgubilo oko 1000 ljudi^[8.3];
- Zemljotres u Kašmiru, 8.10.2005., stradalo je oko 90 000 ljudi, a povređeno je oko 110 000 ljudi^[8.4];
- Zemljotres u Indijskom okeanu, 26.12.2004., najjači potres ikada zabeležen s jačinom od 9,3 stepena po Rihterovoj skali. Kao posledica stvorenog cunamija život je izgubilo oko 250 000 ljudi^[8.5];
- Tjansanski zemljotres, 28.7.1976., najsmrtonosniji potres modernog čovečanstva, poginulo je oko 245 000 ljudi^[8.6];
- Šanksi potres (Kina), 1556. godine, smatra se najsmrtonosnijim potresom u istoriji čovečanstva, procenjeno je da je život izgubilo oko 830 000 ljudi^[8.7];
- Zemljotres u Čileu, 22.5.1960., potres je zahvatio površinu od oko 140 000 km², i smatra se najjačim zemljotresom ikada zabeleženim (9,5 stepeni Rihterove skale, 12 stepeni MKZ skale). Zemljište je potonulo za 2 m, oko 25 ostrva čileanskog arhipelaga u potpunosti je potopljeno, a izdigla su se nova ostrva. Gradovi u blizini epicentra potresa u potpunosti su nestali, dok su reke promenile pravac kretanja. Kao posledica ovog potresa vulkan Riniče je proradio nakon 40 godina mirovanja. Poginulo je oko 6 000 ljudi^[8.8].

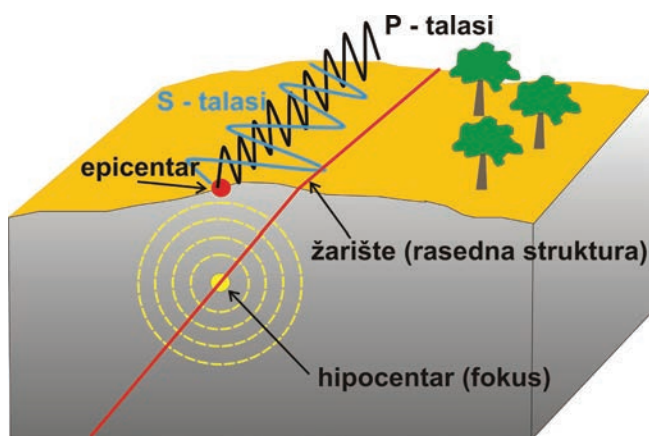
8.3 OBJAŠNJENJE NASTANKA ZEMLJOTRESA

Stres, tj. pritisak predstavlja vršenje sile na površinu stenske mase. Stenska masa u Zemljinoj kori poseduje elastični karakter pri delovanju sile. U zavisnosti od mehaničke karakteristike stena, elastično ponašanje stena će se drugačije ispoljavati, te može doći do „akumulacije“ stresa u stenskoj masi. Ukoliko ne dođe do preopterećenja (pucanja stenske mase), nakon prestanka dejstva sila stenska masa će se elastično vratiti u prvobitno stanje.

Procesi u Zemljinoj kori su najčešće kontinualnog i veoma intenzivnog karaktera, te nakon dostizanja kritične vrednosti dolazi do njenog pucanja. Nakon pucanja stenske mase sledi kretanje njenih blokova pri čemu se oslobađa velika količina energije koja se dalje prenosi, u vidu seizmičkih talasa, kroz okolne stenske mase. Ova kretanja mogu biti **horizontalnog** i **vertikalnog** karaktera^[8.2].

U okviru zemljotresa razlikujemo sledeće elemente^[8.1]:

- **Žarište** – Zone mehaničkog diskontinuiteta u Zemljinoj kori (zone rasedanja)
- **Hipocentar (Fokus)** – Početna tačka žarišta (mesto sprega sila)
- **Epicentar** – Središte hipocentra vertikalno projektovanog na površini Zemlje.



Slika 8.1: Elementi zemljotresa

8.4 SEIZMIČKI TALASI

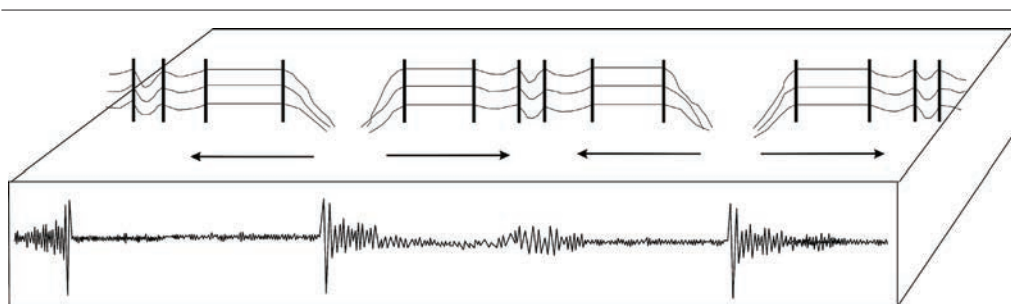
Kao što je već napomenuto seizmički talasi predstavljaju prenošenje velike količine oslobodene energije u Zemljinoj kori na okolne stenske mase. Ovo su elastični poremećaji čvrste stenske mase, kod kojih okolne čestice usled poremećaja, osciluju u okviru svojih kristalnih rešetki.

Razlikuju se dve osnovne vrste seizmičkih talasa^[8.9]:

- Seizmički talasi koji se kreću unutar Zemlje - body waves
- Površinski talasi – seizmički talasi koji se prostiru po površini Zemljine kore - surface waves

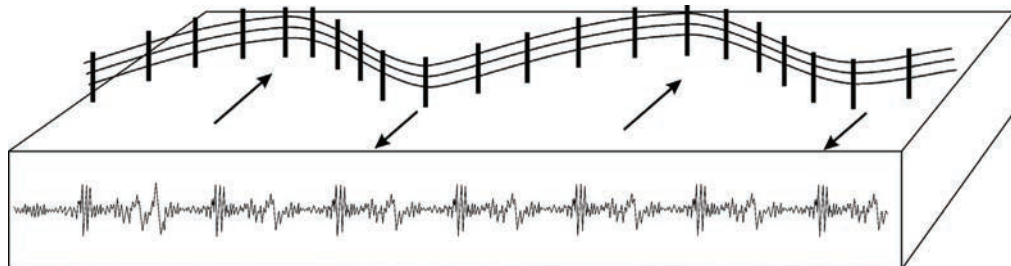
8.4.1 TIPOVI SEIZMIČKIH TALASA

Primarni talasi, P-Waves (prvi stižu): P talasi su talasi longitudinalnog karaktera. Oscilovanje čestica u prostoru uslovljeno je kretanjem u istom smeru koje ima i pružanje samog talasa. Mogu se kretati u svim sredinama (osim u vakumu), a brzina kretanja u čvrstim sredinama (stenama) im iznosi od 5 do 13,8 km/s. Karakterišu se kompresijom (sabijanjem) i dilatacijom (istezanjem) materijala kroz koji prolaze, a brzina im zavisi od gustine samog materijala. U vazduhu P-talasi se ponašaju slično zvučnim talasima^[8.9].



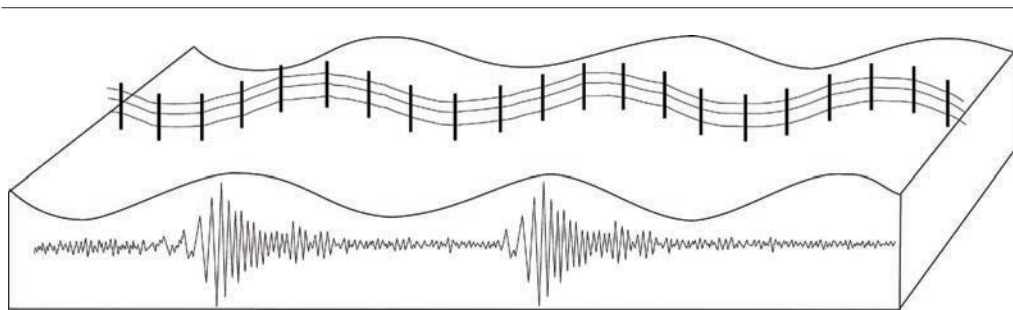
Slika 8.2: Primarni talasi^[8.10]

Sekundarni talasi, S-Waves (kasnije stižu): S talasi su transversalnog karaktera. Oni predstavljaju reakciju čvrste sredine na promene izazvane primarnim talasima. Čestice sredine osciluju u ravnima upravnim na smer kretanja talasa. S talasi se ne mogu prostirati kroz tečne i gasovite sredine, već samo kroz čvrste. Brzina sekundarnih talasa iznosi od 3,2 do 7,3 km/s, slabiji su od primarnih talasa, a seizmološke stanice ih registruju nakon primarnih talasa^[8.9].



Slika 8.3: Sekundarni talasi^[8.10]

Površinski talasi, Surface waves (poslednji stižu): Površinski talasi se prostiru isključivo u gornjim delovima Zemljine kore i sporiji su nego P i S talasi. Prilikom dolaska P i S talasa na površinu Zemlje veći deo njihove energije se reflektuje, te se dalje ta energija prenosi u vidu površinskih talasa na površinu Zemlje. Budući da ih karakterišu niske frekvencije, velike amplitude i dug period trajanja, oni predstavljaju najdestruktivniji tip seizmičkih talasa (amplitude oscilacija se povećavaju i do dva puta) ^[8.9].



Slika 8.4: Površinski talasi ^[8.10]

8.4.2 LOCIRANJE ZEMLJOTRESA

Seizmički talasi se kroz Zemljinu koru šire radialno, te nije moguće odrediti lokaciju izvora jednim seizmografom. Kako bi određivanje lokacije izvora bilo što preciznije u praksi se koristi tehnika grafičke triangulacije ^[8.11]. Grafičku triangulaciju omogućava postavljanje mreže od minimum tri seizmografa (seizmološke stanice). Dalje merenje se vrši na osnovu razlike nailaska P i S talasa. Poznato je da veća udaljenost stanice od epicentra prikazuje veću razliku u dolascima P i S talasa, te je moguće jednostavnim grafičkim prikazom projektovati kružnice oko mernih stanica. Prečnik kružnica predstavlja izračunatu razdaljinu stanica od izvora talasa. Formiranje kružnica se primenjuje za sve tri merne stanice, a njihov presek predstavlja hipocentar (epicentar) potresa ^[8.11].

8.5 INSTRUMENTI ZA MERENJE JAČINE ZEMLJOTRESA

Instrumenti koji se koriste za registrovanje potresa nazivaju se seizmografi. Osnovni princip funkcionisanja seizmografa jeste sistem inercije, tj. „protivljenje“ tela da promeni stanje svog kretanja ^[8.12]. Današnji seizmografi se karakterišu izuzetnom osetljivošću, pošto se signal pojačava elektronskim uređajima.

Seizmografi mogu registrovati vremensku istoriju potresa. Horizontalna pomeranja tla manifestuju se mehaničkim (ili nekim drugim) oscilacijama tega seizmografa koji se pomoću olovke prenose na traku koja se kreće ujednačenom brzinom (60 ili 120 mm i minuti).

Kod **optičkih seizmografa** oscilacije se prenose preko elektronskih sklopova i registruju se na fotoosetljivom papiru, dok **akcelerografi** (lat: acceleratio - ubrzanje) služe za merenje ubrzanja pri oscilovanju čestica tla^[8.12].

Pomoću seizmografa mogu se odrediti: smer širenja talasa, magnituda zemljotresa, tip rasedanja stenske mase, kao i razdaljina od hipocentra.

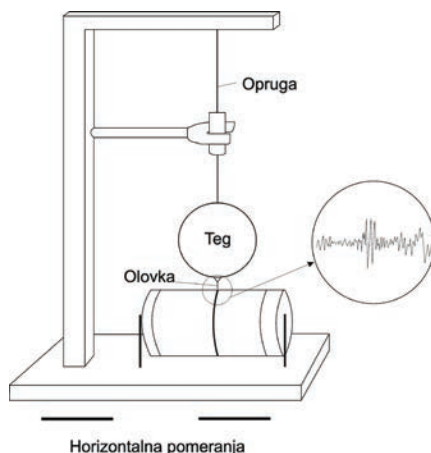
Kako bi se što preciznije locirala pozicija zemljotresa u praksi se najčešće koristi mreža seizmografa kao i metoda triangulacije.

Seizmoskopi su uređaji koji imaju mogućnost da registruju da li se zemljotres dogodio, i u nekim slučajevima njegovu amplitudu, pomoću čega se može odrediti intenzitet zemljotresa. Prvi poznati seizmoskop pronađen je iz oko 4000 godine pne. i potiče iz Kine. Služio je i za određivanje pravca iz kog su dolazili trusni talasi^[8.12].

8.5.1 INTENZITET I MAGNITUDA ZEMLJOTRESA

Intenzitet zemljotresa uslovljen je različitim faktorima kao što su dubina hipocentra, geološka građa Zemljine kore, količina oslobođene energije i mesta opservacije. Jačina zemljotresa može se prikazati različitim skalama, međutim najčešće se koristi MCS (Mercali – Cancani - Siebergova) skala koja numerički prikazuje dvanaest različitih stepeni intenziteta potresa.

Za određivanje magnitude (količine oslobođene energije u hipocentru) primenjuje se Rihterova skala. Ona predstavlja logaritamsku skalu koja se određuje na osnovu izračunavanja amplituda P i S talasa koje se registruju na seizmografu. Svako povećanje na skali (mereno u jediničnim vrednostima M5-M6) označava povećanje deset puta iznosa amplitude seizmičkog talasa. Dakle M6 će prikazati amplitudu talasa deset puta veću nego M5, dok će M7 prikazati amplitudu čak 100 puta veću od M5.



Slika 8.5: Seizmograf ^[8.13]

Tabela 8.1 Jačina zemljotresa (magnitude) izražena u Rihterovoj skali^[8.14]

Jačina zemljotresa	Posledice zemljotresa
1 ^o	Registrowanje zemljotresa moguće je samo instrumentima
2 ^o	Retko se primećuje u blizini epicentra
3 ^o	Opaža se u zatvorenom prostoru
4 ^o	Stvara manja oštećenja, primetan za većinu ljudi
5 ^o	Manja do umerena oštećenja, mogu ih svi osetiti
6 ^o	Umerena oštećenja objekata
7 ^o	Veliki potresi i oštećenja objekata
8 ^o	Izražena velika razaranja objekata

Tabela 8.2 Posledice zemljotresa u funkciji magnitude zemljotresa sa brojem zemljotresa koji se u toku godine registruju^[8.15]

Posledice zemljotresa	Magnituda	Broj zemljotresa godišnje
Registruju samo instrumenti	< 2,5	900 000
Stvara manje štete	2,5 - 5,4	30 000
Manje štete na objektima	5,5 - 6,0	500
Veće štete u urbanim područjima	6,1 - 6,9	100
Velike štete na objektima	7,0 - 7,9	20
Razorni zemljotresi, potpuno uništenje blizu epicentra	> 8,0	1 u svakih 5 - 10 godina

Tabela 8.3 Intenzitet zemljotresa uzražen u Merkalijevoj skali^[8.16]

Stepen	Naziv	Kratki opis karakteristika
1.	Neprimetan potres	Registruju samo instrumenti
2.	Jedva primetan potres	Vibriraju gornji spratovi visokih zgrada
3.	Lagan potres	Tlo blago podrhtava
4.	Umeren potres	Staklo i prozorska okna vibriraju
5.	Jak potres	Pomeraju se slike na zidu
6.	Prilično jak potres	Nameštaj po kući se pomera i pada, ljudi beže napolje
7.	Vrlo jak potres	Pojavljaju se pukotine na kućama, krovovi padaju
8.	Razoran potres	Značajno oštećenje objekata, tlo puca
9.	Pustošni potres	Teško oštećenje ili rušenje objekata, pojava klizišta i odrona
10.	Uništavajući potres	Rušenje mostova i brana, izbijanje podzemnih voda na površinu
11.	Katastrofalan potres	Rušenje zgrada i ostalih građevina, stvaranje velikih odrona
12.	Vrlo katastrofalan potres	Potpuno uništenje građevina, nestanak jezera, menjanje korita reka

Danas se određivanje magnitude zemljotresa vrši na osnovu opisnih istorijskih podataka, pri čemu se u obzir uzimaju dostupni podaci i geološka građa terena ispitivane zone. Na osnovu raspoloživih podataka moguće je rekonstruisati magnitude zadatog zemljotresa.

8.5.2 SEIZMIČKI MOMENT MAGNITUDE

Seizmički moment magnitude predstavlja preciznu kvantifikaciju zemljotresa. Ovom metodom se, prilikom određivanja snage potresa, u obzir uzima celokupna energija oslobođena duž cele rasedne zone. Razlika između ove metode u odnosu na Rihterovu jeste ta što se kod Rihterove za kvantifikaciju koristi tačka (žarište zemljotresa), dok seizmički moment magnitude koristi poligon (rasednu zonu) kao i fizičke osobine minerala područja gde je došlo do pojave potresa.

Primer seizmičkog momenta magnitude na zemljotresima vezanim za rased St Andreas u SAD.

8.6 SEIZMIČKI HAZARD

Zemljotresi spadaju u grupu prirodnih (geoloških) hazarda sa najvišim stepenom mortaliteta za vremenski period od godinu dana. Seizmički hazard ima karakter pojavljivanja bez ikakve najave i upozorenja, te je evakuacija ljudi često nemoguća.

Zemljotresi predstavljaju 90% ukupne oslobođene energije na planeti Zemlji i uzročnik su oko 80% svih nastalih šteta. Numerički, od oko 1000 većih potresa godišnje čak 20 označeno je magnitudom većom od 7 (Rihterova skala).

Kao posledica zemljotresa najčešće se ispoljavaju^[8.1]:

1. **Potresanje zemljišta** – Oscilovanje tla uzrokovano zemljotresima, ispoljava se u vidu kretanja ili potresa različitog intenziteta. Ovakvo pomeranje tla može biti neprimetno za čoveka u slučaju zemljotresa manjih magnituda, dok kod zemljotresa većih magnituda potresi su izuzetno osetljivi pa u nekim slučajevima čak i razorni.
2. **Klizišta** (pogledati poglavlje o geomorfologiji)
3. **Likvefakcija** – Likvefakcija tla izazvana je jakim potresima tla i kretanjem podzemnih voda u gornjim slojevima litosfere. Kod likvefakcije primetne su promene mehaničkih osobina tla, i pojava živog peska. Nekada dobro sortirani sedimenti, kao što je npr. pesak, usled potresa gube svoju čvrstoću, natapaju se vodom iz donjih slojeva litosfere i postaju tečni. Ova pojava je najčešće izražena u blizini reka, plaža ili dina, a može se pojaviti i u terenima izgrađenim od lesa i peska.

4. **Uništavanje infrastrukture** – Uništavanje infrastrukture događa se kod zemljotresa magnitude 5 ili više. Kod M5 počinju da se pojavljuju pukotine na objektima, pa sve do M8 gde je приметно potpuno uništenje kako infrastrukture tako i prirodnog okruženja.
5. **Požari** – primer: S. Francisco je 1906. godine pogođen zemljotresom magnitude 7,9 kada je veći deo grada uništen. Kao posledica zemljotresa razbuktao se požar koji je trajao tri dana i uništio sve ono što sam zemljotres nije uspeo. Od 400 000 stanovnika, oko 3000 je izgubilo život, dok je čak 225 000 ljudi ostalo bez domova.
6. **Cunamiji** – Cunami predstavlja zalivski talas, izuzetno velike kinetičke energije i razornog dejstva. Najčešće nastaju podvodnim zemljotresima visokih magnituda, mada mogu nastati i ostalim prirodnim ili veštački izazvanim pojavama. U prirodne spadaju podvodna vulkanska aktivnost, odronjavanje stenskih masa, udar meteorita, dok u veštačke (antropogene) se mogu ubrajati nuklearne probe ili različite eksplozije.

Prilikom nastanka cunamija dolazi do pomeranja delova okeana ili mora i stvaranja velikih vodenih masa koje se kreću ka obali. Kada na dnu mora dođe do velikih vertikalnih pomeranja tla (nekoliko metara), kao posledica dolazi do naglog skoka nivoa vode iznad razlomljenog područja (hipocentar zemljotresa). Ovako stvorena vodena masa dostiže brzine i do 900 km/h, međutim, u dubokim delovima okeana ona još uvek nije приметna usled male amplitude i velike talasne dužine. Kako se talas približava obali (pristiže u plitke delove priobalja) njegova brzina počinje naglo da se smanjuje, tako da je energija usmerana na izdizanje talasa koji mogu dostići visinu i do nekoliko desetina metara. Prema visini talasa mogu se razlikovati cunami (visina do 100 m) i megacunami (visina preko 100 m). Osim visine njihova osnovna razlika je ta što su megacunamiji najčešće izazvani različitim podvodnim odronima ili udarima meteorita, retko su zemljotresi izazivači istih.

8.7 PREDVIĐANJE ZEMLJOTRESA

Kao jedna od najznačajnijih prirodnih katastrofa pojava zemljotresa privlačila je pažnju ljudi još od antičkog doba. Nepoznavanjem geologije kao nauke i nedostatkom tehnologija, praćenje zemljotresa se svodilo na praćenje ponašanja životinja u određenim trusnim područjima, vođenjem statistike i gledanjem u zvezde. Tek kasnije, razvojem tehnologije i uspostavljanjem geologije kao nauke predviđanje zemljotresa postaje tačnije. Razvoj satelita omogućio je praćene svih potencijalnih trusnih područja u realnom vremenu.

Sateliti omogućuju registrovanje tektonskih pokreta u područjima od interesa na nivou od čak 1mm/1 godinu. Predviđanje zemljotresa moguće je na dugoročnom i kratkoročnom nivou.

Dugoročno predviđanje podrazumeva potpuno razumevanje tektonskog sklopa ispitivanog područja, kao i pojavljivanje seizmičkih aktivnosti kroz istoriju koji se često ponavljaju. Za dugoročno predviđanje zemljotresa od izuzetnog značaja je paleoseizmologija koja omogućava izučavanje zemljotresa koji su se dogodili u prošlosti. Pomoću paleoseizmologije moguće je utvrditi ritam ponavljanja zemljotresa određenog trusnog područja, čime se olakšava predviđanje nove pojave zemljotresa. Takođe od velikog značaja jeste praćenje zona koje su predisponirane za trusne pokrete, a na kojima već duže vreme nije došlo do seizmičke aktivnosti (Pacifički pojas), ovakve zone se nazivaju Seismic gaps^[8.17].

Kratkoročno predviđanje nije uspešno kao dugoročno predviđanje, a vrši se praćenjem elektroprovodljivosti i magnetizma stenske mase, koncentracije radona, blagog podrhtavanja tla, nivoa podzemnih voda. Tačnije, kratkoročno predviđanje prati anomalije kod ovih faktora^[8.17].

Prilikom predviđanja zemljotresa zone od interesa su margine litosfernih ploča koje mogu biti različite, a samim tim razlikuju se i tipovi zemljotresa duž istih.

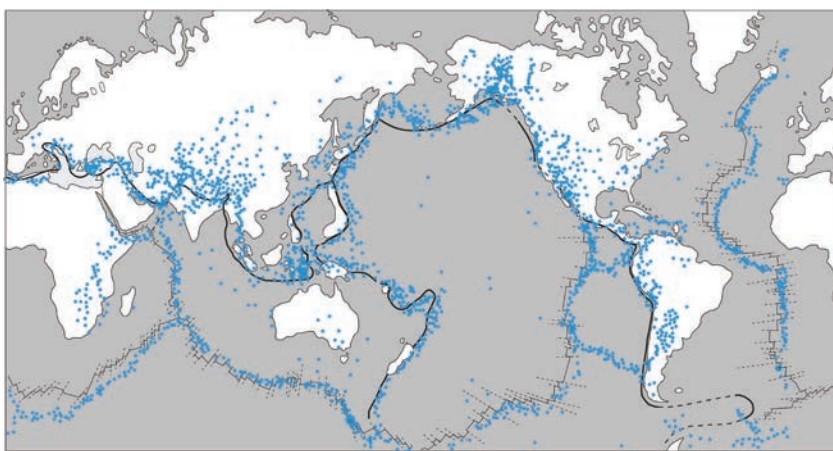
Divergentne granice – zemljotresi su slabog intenziteta, sa plitkim fokusom. Ovo se objašnjava time što u ovim oblastima dolazi do izdizanja magme koja pokazuje relativno plastična fizička svojstva, a takav materijal nije pogodan za manifestaciju snažnih zemljotresa^[8.18].

Transformne granice – Zemljotresi raspoređeni duž ovih granica su plitki do srednje dubine. Mogu biti vrlo snažni i razorni. Najpoznatiji primer je San Andreas rased iz Kalifornije (SAD) sa vrlo razornim zemljotresima (zabeleženi i u novijoj istoriji)^[8.18].

Konvergentne granice - Subdukcija - Zemljotresi su vrlo snažnog intenziteta. Možemo razlikovati plitke zemljotrese raspoređene duž dubokomorskog rova. Takođe, možemo detektovati i sve dublje i dublje potrese, raspoređene duž subdukovane litosferne (okeanske) ploče – “Beniof zona”^[8.18]. Ovo je poslužilo za određivanje geometrije subdukcije.

Tabela 8.4 Tabelarni prikaz najjačih zemljotresa koji su zabeleženi u prošlosti^[8,19]

Broj	Datum	Mesto	Magnituda
1	22. 06.1960	Valdivija Čile	9.5
2	26. 12. 2004.	Severna Sumatra Indonezija	9.3
3	27. 03. 1964.	Princ Vilijem Aljaska SAD	9.2
4	04. 11. 1952.	Kamčatka Ruska federacija	9.0
5	26. 01. 1700.	Kaskadia zona subdukcije	~9
6	31. 01. 1906.	Kolombo Ekvador	8.8
7	04. 02. 1965.	Ret ostrvo Aljaska SAD	8.7
8	11. 11. 1833.	Sumatra Indonezija	8.8-9.2
9	01. 11. 1755.	Lisabon Portugalija	~8.7
10	28. 03. 2005.	Sumatra Indonezija	8.6-8.7
11	09. 03. 1957.	Andreanof ostrvo Island SAD	8.6
12	16. 12. 1920.	Ningsi Gansu Kina	8.6
13	15. 08. 1950.	Asam indija, Tibet Kina	8.6
14	16. 12. 1575.	Valdivija Čile	8.5
15	12. 09. 2007.	Sumatra Indonezija	8.5
16	16. 10. 1737.	Kamčatka	~8.3



Slika 8.6: Prostorni položaj zabeleženih zemljotresa i vulkana na planeti Zemlji^[8,20]

Reference:

- [8.1] Pešić L., 1995.: "Opšta geologija – Endodinamika", Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [8.2] Radojević J., 1989.: "Mehanika stena", Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [8.3] Berg G. V., 1964.: "The Skopje, Yugoslavia earthquake, July 1963", American Iron and Steel Institute, New York
- [8.4] DAWN Newspaper, 2008.: "The great Quetta tragedy"
- [8.5] Walton M., 2005.: "Scientists: Sumatra quake longest ever recorded", CNN
- [8.6] <https://www.history.com/this-day-in-history/worst-modern-earthquake>
- [8.7] <https://www.britannica.com/event/Shaanxi-province-earthquake-of-1556>
- [8.8] <https://www.britannica.com/event/Chile-earthquake-of-1960>
- [8.9] Shearer P. M., 1999.: "Introduction to seismology", Cambridge University, press
- [8.10] <https://www.tribonet.org/tribology-of-earthquakes/>
- [8.11] <https://geoclass.wordpress.com/2009/09/21/odredivanje-epicentra-triangulacija/>
- [8.12] Carr A. D., 2003.: "History of seismology". International handbook of earthquake and engineering seismology, part A
- [8.13] <https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=seismograph>
- [8.14] Hanks C., Kanamori H., 1979.: "A moment magnitude scale", J Geophys Res 84, 2348-2350
- [8.15] Wald D. J., Jaiswal A., Marano K. D., Bausch D., 2011.: "Earthquake impact scale", Natural Hazards Review, DOI: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000040
- [8.16] Wood H. O., Neumann F., 1931.: "Modified Mercalli Intensity scale". Seismological society of America bulletin, v. 21, no. 4
- [8.17] Gates E. A., Ritchie D., 1994.: "Encyclopedia of earthquakes and volcanoes", Infobase publishing, New York
- [8.18] Marović M., 2005.: "Tektonika", Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [8.19] Johnston A., Halchuk S., 1993.: "The seismicity data base for the Global Seismic Hazard Assesment program", Annali di Geofisica, 36 (3–4): 133–151, pp. 140, 142 et seq
- [8.20] <https://platetectonicsalvin.weebly.com/earthquake-and-volcano-distribution.html>, modifikovano 2019

9.

MAGMATİZAM I VULKANİZAM



9. MAGMATIZAM I VULKANIZAM

Magmatizam je skup procesa i fenomena vezanih za aktivnost magme. Magma je tečni vrela silikatni rastop obogaćen teškoisparljivim (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , BaO , SrO , MnO , NiO , Cr_2O_3) i lakoisparljivim komponentama (H_2O , CO_2 , CO , H_2S i drugih) koje tokom puta do površine ili po izbijanju na površini prelaze iz tečnog u gasovito stanje. Kristalizacijom magme nastaju magmatske stene. Magma rastepe postoje u astenosferi, a i nastaju topljenjem delova mantla ili/i kore. Većina žarišta se nalazi na relativno plitkim dubinama od 15 do 250 km^{[9.1][9.2]}.

Primarne magme su bazičnog sastava (rastope obogaćeni sa Fe i Mn) koje su formirale okeansku koru, a kasnije, diferencijacijom i kontinentalnu koru (po principu Bowenove šeme kristalizacije).

Nastanak magme, formiranje magmatskih komora u litosferi i promena sastava magme na putu do površine, su važne pojave u razumevanju razvoja i funkcionisanja planete Zemlje. Evolucija magme i magmatski procesi doveli su do izgleda planete kakva je danas i donošenja komponenti neophodnih za razvoj života.

Kada magma dođe u kontakt sa litosferom dešava se:

1. Intrudovanje magme u oslabljene delove litosfere kada nastaju magmatske intruzije;
2. Nakupljanje magme u magmatskim komorama;
3. Izbijanje - izlivanje na površinu planete Zemlje, što se manifestuje izbacivanjem lave, vulkanskog pepela, gasova i para - ovo nazivamo vulkanizmom.

Vulkanizam je generisan procesima u zonama:

1. Divergencije, kada se litosferne ploče razdvajaju,
2. Subdukcije, kod konvergentnih granica,
3. "Hot spots" - vrućih tačaka, na mestima gde termalni fluks koji prolazi kroz magmu i izlazi - udara u litosferu. Ove pozicije su ispod litosfere i nalaze se na, u smislu sfere planete Zemlje, relativno istim mestima i preko njih klize litosferne ploče. Primer vrućih tačaka se lepo može videti kod vulkana Jelouston. Smatra se da su uzrok postojanja vrućih tačaka konvekcijske ćelije (primer Havaji).

Magma sadrže različite komponente, po sastavu se dele na: ultrabazične sa manje od 45% SiO_2 , bazične od 45 do 53% SiO_2 , srednje kisele ili intermedijalne sa 53 do 66% SiO_2 i kisele sa preko 66% SiO_2 ^[9.3].

Temperature magme se kreću od 1500 do 1000 °C. Treba imati u vidu da na najvišim temperaturama počinje kristalizacija rastopa sa najviše gvožđa. Uopšteno rastopi počinju kristalizaciju: dunitski na 1500 °C, peridotitski na 1400 °C, gabro i noritski 1250 °C, dioritski 1200 °C, sijenitski 1100 °C i granitski na 1000 °C^[9.3].

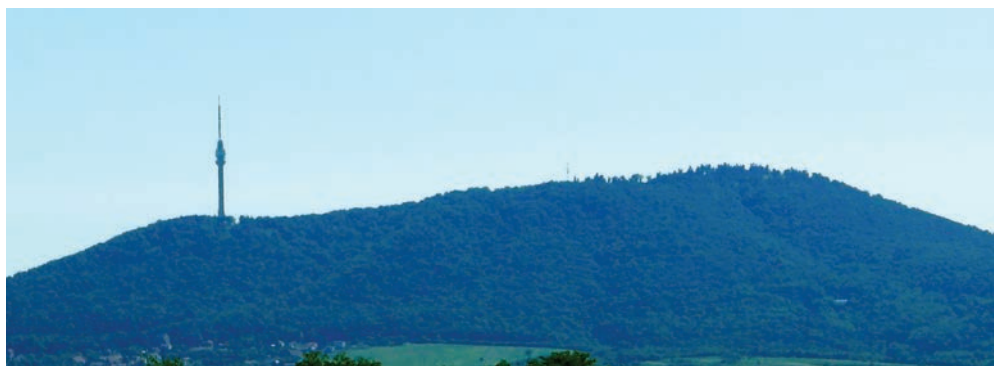
9.1 MAGMATSKJE INTRUZIJE

Intruzije nastaju kada se magma ohladi ispod površine Zemlje. Stene se nazivaju magmatskim intruzivima ili plutonima po rimskom bogu podzemnog sveta Plotonu. Ovi oblici se na površini mogu uočavati kao homogene uzdignute mase kao što je to slučaj sa Šećernom glavom u Rio de Žaneiru ili kao nakupine "kuglastog lučenja" raspadnutog granitnog materijala (Slika 9.1).

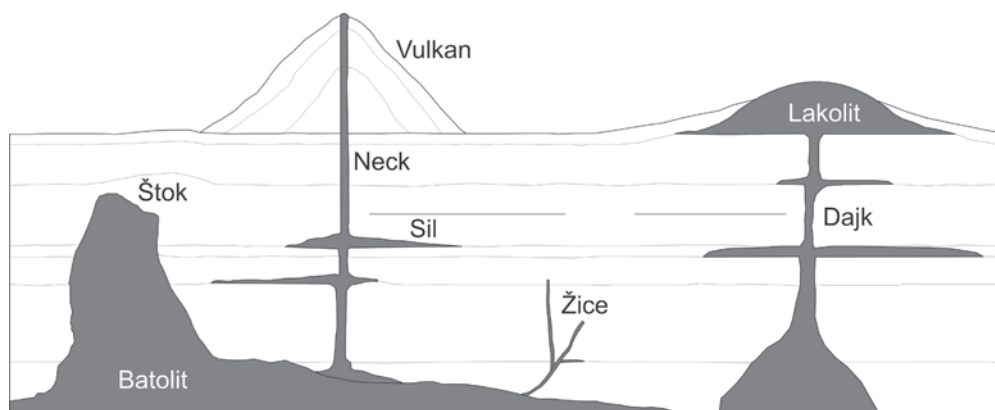


Slika 9.1: Granit - kuglasto lučenje, Centralna Mongolija (foto: B. Vakanjac)

Magmatske intruzije imaju sledeće oblike: batolit - velikih dimenzija i nepravilnog oblika, sil - pločastog oblika obično utisnut između sedimenata, žica - magmom ispunjena pukotina, nek (neck) - stub otporniji je na raspadanje od okolnih stena, dajk - nepravilno telo manjih dimenzija, još - lopoliti, bismaliti, etmoliti, lakoliti. Avala u blizini Beograda je lakolit.



Slika 9.2: *Slika Avale (foto: B. Vakanjac)*



Slika 9.3: *Šema karakterističnih magmatskih intruzivnih tela^[9.4]*

Intruzije kao i izlivne stene su različitog sastava. Magme sadrže različite komponente kako je ranije navedeno, a dele se po sadržaju SiO_2 . Pored SiO_2 magme različitog sastava mogu imati npr. manje ili više Fe ili Ti, ultrabazične i bazične magme imaju više Fe i Mg, kao i Ni i Cr od npr. kiselih koje imaju U i Th itd. Uvek imamo u vidu, što više SiO_2 i manje Fe magma je "kiselija" što manje SiO_2 sa uslovno više Fe, Ti, Mg magma je "bazičnija"^{[9.1][9.2]}.

Posebno značajna karakteristika intruzija je da su zrnaste strukture, to znači da su minerali razvijeni kao zrna, pakovana jedan do drugog, nema tzv. osnovne mase - stenskog materijala kada se okom ili lupom ne vide zrna.



Slika 9.4: Zrnasta struktura, ružičasto - kalijski feldspati, belo - natrijski feldspati, sivo - zrna kvarca, crno - hornblenda. Pukotina je ispunjena epidotom - zeleno, Centralna Mongolija (foto: B. Vakanjac)

Generalno magmatske intruzije se po sastavu elemenata i minerala dele na (od stena sa manje SiO_2 do stena sa više SiO_2): peridotite, gabrove, diorite, sijenite i granite.

9.2 VULKANIZAM

Vulkan predstavlja otvor (ili rupturu) u Zemljinoj kori, kroz koji istopljena stenska masa (lava), pepeo i gasovi bivaju izbačeni na površinu, gde se hlade i talože.

Vulkanizam su procesi uzrokovani kretanjem užarene magme - rastopa, koja postoji ispod litosfernih ploča u gornjem omotaču (astenosferi) i njenim izlivanjem na zemljinu površinu.

Smatra se da je termin vulkan nastala od imena ostrva Vulcano koje se nalazi u Tirenskom moru, takođe postoji i rimski bog vatre Vulcanus. Vulkanologija je jedna od oblasti geologije a geolozi, stručnjaci koji se bave ovom disciplinom se nazivaju vulkanolozima.

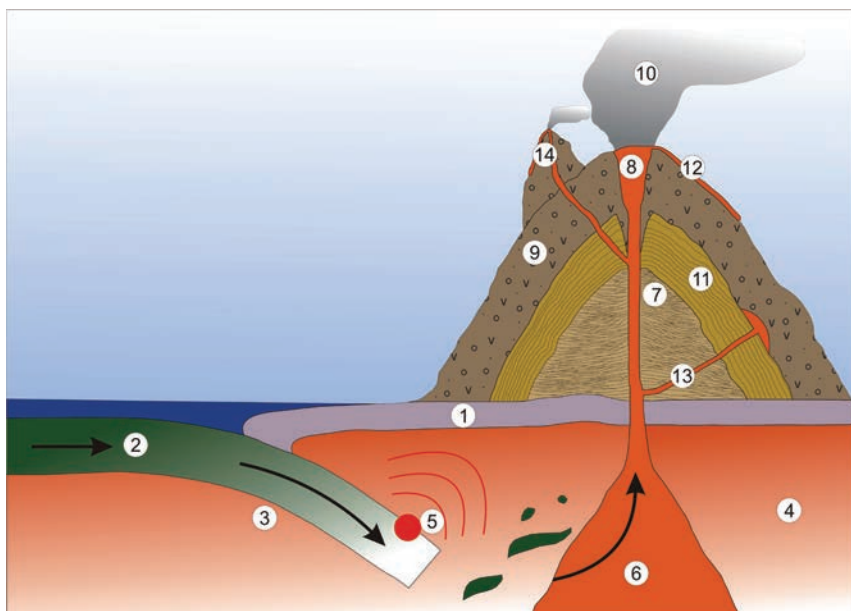
Pored neposrednog efekta na životnu sredinu koji se ogleda izbacivanju piroklastičnog materijala i lave, devastacije i katastrofa kao što se dogodilo sa Pompejom i Herkulanomom 79 godine naše ere, postoje i posredni efekti koji se manifestuju promenom

klime zahlađenjem, nekada i na više godina, uzrokovano izbacivanjem velike količine sumporne kiseline i vulkanskog pepela u atmosferu. Ovo dovodi do smanjenja intenziteta sunčevog zračenja. Pomenuto postoji u letopisima za 535-536 godinu naše ere - "nedostatak hleba, leto bez sunca, suva magla", a poklapa se sa povećanom koncentracijom sumpora u uzorcima leda sa Antartika i Islanda u slojevima koji odgovaraju toj starosti.

Generalno postoje, u najširem smislu vulkani sa nekom vrstom kupe ili dome i super vulkani. Kupe mogu biti uzrokovane različitim karakterom vulkana, lavama različitog sastava i samim tim viskoziteta, piroklastičnim materijalom, pozicijom vulkana. Kada se vulkanska kupa uruši ili raznese nastaju oblici koji se nazivaju kaldere. Super vulkani su objekti koji mogu da izbace više hiljada kubnih kilometara materijala i time globalno ugroze ili promene životnu sredinu.

Pored lave produkti vulkana su piroklastiti (piroklastične stene i materijal - prašina, pepeo, pesak, lapili, bombe, blokovi) i kao što je ranije napomenuto gasovi i pare.

U smislu sastava lave podela je slična kao i kod intruzivnih stena, izvršena je po sadržaju SiO_2 . Po istom principu, ali sada vulkanske - izlivne stene se dele na, po redu od onih sa najmanje SiO_2 i najviše Fe do onih sa najviše SiO_2 , bazalte, andezite, dacite, trahite i riolite^{[9.1][9.2]}.



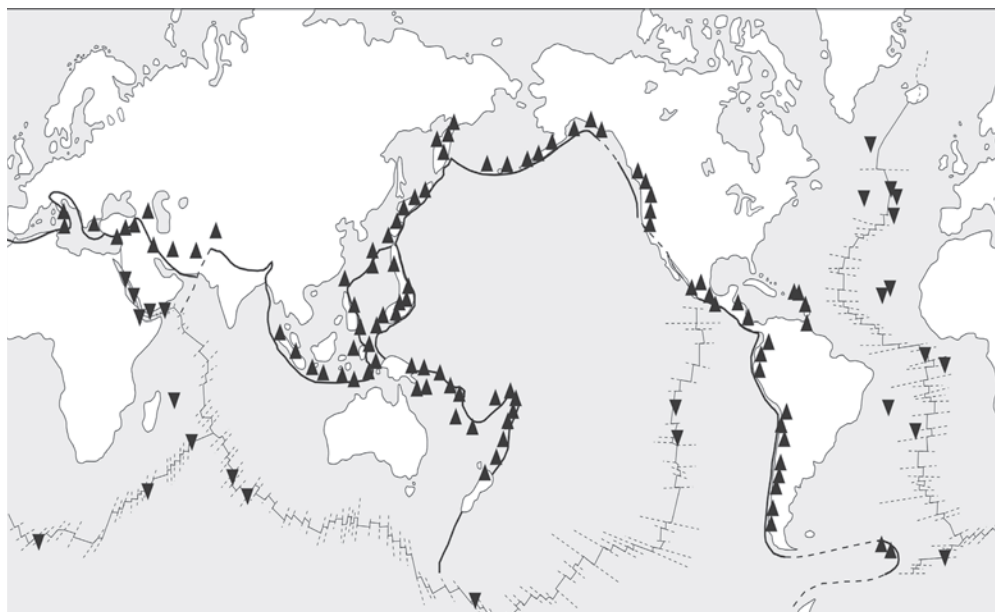
Slika 9.5: Šema vulkana, 1. kontinentalna kora, 2. okeanska kora, 3. zona subdukcije, 4. gornji oмотаč, 5. zona pretapanja, 6. magmatska komora, 7. pajp, 8. grlo ili grotlo vulkana, 9. slojevi lave, 10. oblak gasova i pepela, 11. slojevi očvrslog vulkanskog pepela, 12. tok lave, 13. dajk, 14. bočni otvor^[9.5]

9.3 NEKI PRIMERI I RASPORED VULKANA NA PLANETI ZEMLJI

Na svetu je oko 600 aktivnih vulkana. Najveći broj vulkana se nalazi u "Vatrenom pojasu Pacifika" 418 vulkana, zatim u Sredozemno - transazijskoj oblasti i Atlantsko - okeanskoj oblasti.

Vulkan Taal na Filipinima - Bulkang, kako ga naziva lokalno stanovništvo je relativno blizu Manile. Aktivan je i danas. Smatra se da se erupcije događaju od bar 140.000 godina do danas (1911, 1965-1977, česta je seizmička aktivnost). Ima karakterističan oblik vulkana, a u grotlu je jezero. Tokom naše posete vulkanu 16. 10. 2009. sa kolegom geologom Jun Roviljosom, videli smo fumarole i često se osećao sumpor vodonik. Kupa je izgrađena od piroklastita, intenzivno hidrotermalno izmenjenog sa brojnim trakama i koncentracijama limonitisanog materijala.

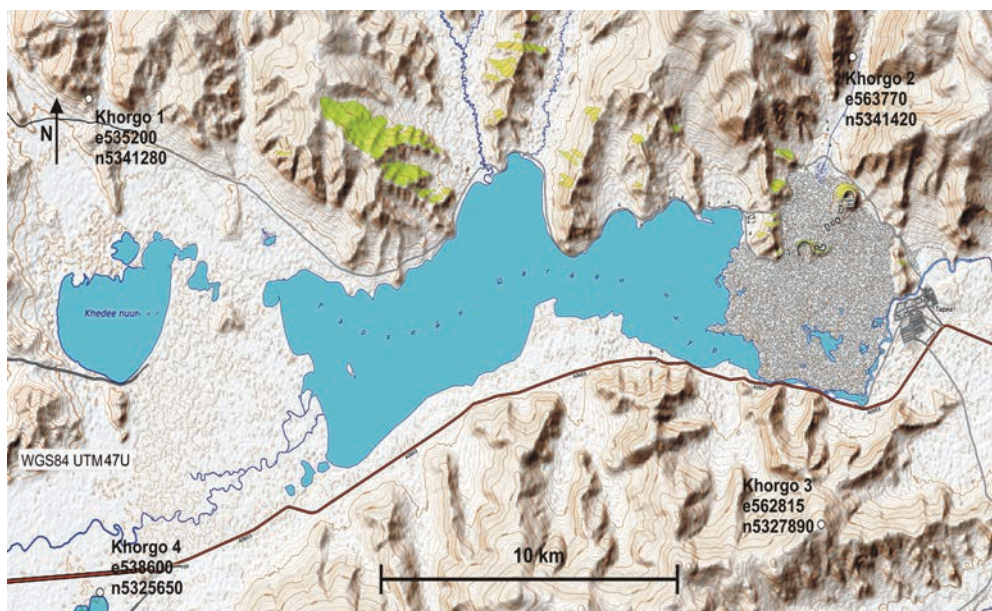
Vulkan Khorgo u Mongoliji smo posetili 26 i 27.08.2008. Nalazi se u oblasti Arkhangaj, a u okviru Tarijat Čulut vulkanskoj zoni. Ima manju tipičnu kupu, grotlo, veliku količinu rasutih fragmenta bazalta, ali je karakterističan po stvrdnutim klobucima koji su dekametarskih dimenzija pa izgledaju kao male pećine formirane u bazaltu. Po bazaltnoj lavi (crna sa rupicama od gasova, dosta sveža) zaključujemo da je na tom mestu intenzivna jaka tektonika i da će vukan verovatno biti aktivan i u budućnosti. Pored vulkana je Belo jezero (Тсаран нуур), gde je turistički kamp.



Slika 9.6: Prostorni raspored vulkana na planeti Zemlji ^[9.6]



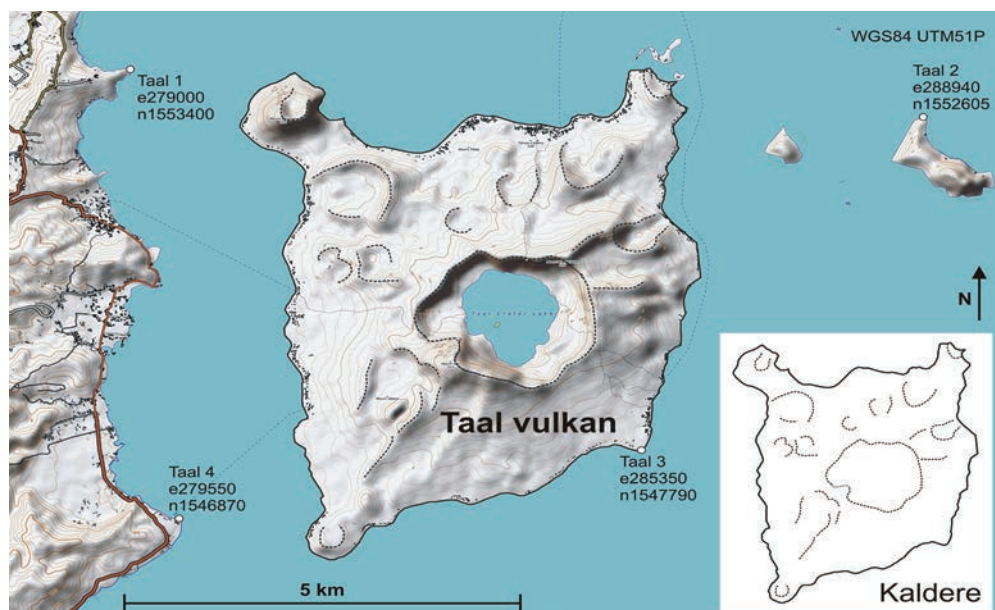
Slika 9.7: Vulkan Khorgo sa izlivima baltne lave (levo), vulkan Taal (desno) Google Earth print screen



Slika 9.8: Vulkan Khorgo na topografskoj karti OSM-OTP sa koordinatama



Slika 9.9: Vulkan Khorgo (levo), kameni - bazaltni klobuci (desno) (foto: B. Vakanjac)



Slika 9.10: Vulkan Taal na topografskoj karti OSM-OTP sa koordinatama i naglašenim kalderama



Slika 11: Vulkan Taal (levo), fumarola vulkana Taal - crna tačna u centru fotografije (desno)
(foto: B. Vakanjac)

9.4 VULKANSKI HAZARD

Najveće opasnosti pri vulkanskim erupcijama su izbacivanja piroklastičnog materijala i vulkanskih gasova posebno sumpordioksida i sumporvodonika koji u kontaktu sa vodom u atmosferi prelazi u sumpornu kiselinu.

Piroklastični materijal je vulkanski pepeo (sitnozrni fragmenti mono i polimineralnog sastava), lapili - usijani fragmenti dimenzije šljunka i vulkanske bombe - veći fragmenti koje izbacuje vulkan tokom erupcije. Posebno su u ovom slučaju značajne kisele magme sa preko 63% SiO_2 . Ove magme postaju pri visokim temperaturama i pritiscima eksplozivne i piroklastični tokovi, koji se nazivaju tefra uništavaju sve na svom putu, mogu putovati brzinama oko 100 km/h, ali i do 700 km/h. Temperature mogu dostići do 700 °C i mogu se mešati sa vodom. Slojevi ohlađenog piroklastičnog materijala se nazivaju tuf. Naslage tufa, na primer kod vukana Jelouston (Yellowstone), mogu biti debeli i do 400m i pokrivati površinu do oko 7500km². Piroklastični materijal dospeva u atmosferu nekada do visine od par desetina kilometara, može da pređe velika rastojanja i može se u zavisnosti od erupcije da zadrži godinama i decenijama u atmosferi. Poznati su slučajevi obustavljanja avionskog saobraćaja iznad zona sa vulkanskim erupcijama i emanacijama piroklastičnog materijala^{[9.1][9.2][9.7]}.

Sumporna kiselina koja nastaje kao posledica vulkanskih erupcija, u suštini sprečava prolazak sunčevog zračenja. Pri velikim erupcijama izbačen vulkanski pepeo i sumporna jedinjenja - kasnije sumporna kiselina, u dužem vremenskom periodu mogu da utiču na klimu i da generalno smanje temperaturu i količinu sunčevog zračenja.

Dakle, dovodi do zahlađenja, što može imati katastrofalne posledice po poljoprivredu. U tom slučaju došlo bi do globalne gladi. Pretpostavlja se da su se takvi događaji dešavali više puta u ljudskoj istoriji, a kao jedan od dramatičnih je erupcija vulkana Toba pre 73000 (75000) godina, koji je doveo skoro do eksterminacije ljudske populacije. Smatra se da je preostalo 7000 do 10000 jedinki homo sapins-a i da je iz tog razloga ljudski genom unificiran bez obzira na rasu. Smatra se da su neke od erupcija koje su dovele do globalnog poremećaja klime npr. još Ilapongo u sadašnjem El Savadoru u VI veku n.e. i Mount Tarawera u XIV veku n.e. posle koje je došlo do dugotrajnih kiša i verovatno da je posredno uzrokovao na širenje kuge u Evropi zbog loših prinosa, hladnog vremena i pojave glodara u naseljima.

Bazaltne lave uglavnom formiraju tokove koji nisu brzi i moguće ih je izbeći za razliku od piroklastičnih emanacija. Tokovi bazaltne lave mogu uništiti kuće, spaliti poljoprivredne useve, šume i uništiti plaže kao što je poznat slučaj na Havajima - Kapoho Bay.

9.5 POZNATE VULKANSKE ERUPCIJE

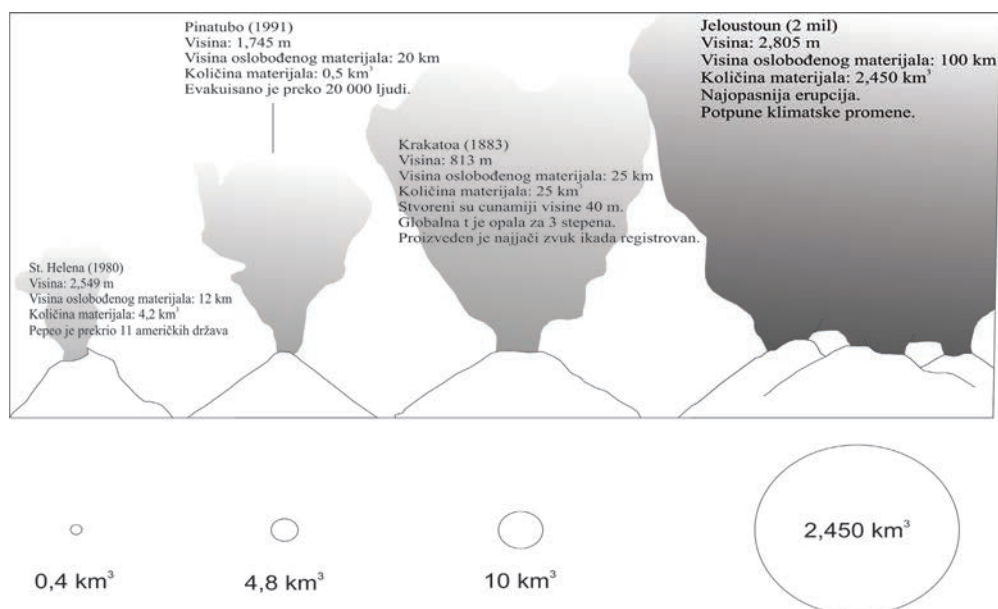
Do danas se dogodio veliki broj vulkanskih erupcija. Tačnije to se događa skoro svakodnevno ako uzmemo u obzir izlivanje "pillow" lava u okeanskim riftovima. Na ovom mestu navešće se neke poznate i dobro opisane.

Izlivanje bazalta na području današnjeg Sibira pre 250 miliona godina: Na kraju Paleozoika, geološke ere koja je trajala oko 290 miliona godina, krajem Perma - pre oko 250-251 milion godina, na sibirskoj platformi, je došlo do globalne emanacije bazaltne lave u trajanju od oko milion do dva miliona godina^[9,8]. Smatra se da je mehanizam konvekcijske ćelije tj. vruće tačke doveo do ove pojave (videti "mantle plume"). Danas je 7 miliona kvadratnih kilometara prekriveno bazaltnom lavom i za orijentir može se uzeti grad Norilsk. Kao rezultat, između ostalog, na ovom prostoru su stvorena velika ležišta nikla, bakra i paladijuma, koje eksploatiše kompanija Norilsk-Nikel. Ovaj događaj je izazvao najveće masovno izumiranje živog sveta, od kada postoji život na planeti Zemlji. Problem nije bio samo izlivanje bazaltne lave, nego su dodatno bili zapaljeni slojevi uglja ispod sedimanata, tako da je planeta Zemlja nezamislivo dugo bila obavijena gasovima - jedinjenjima sumpora, ugljenika i vulkanskom prašinom. Pored mnogobrojnih živih vrsta u moru i na kopnu, izumrle su i "sinapside" vrsta reptila, da bi se mnogo kasnije tokom Mezozoika razvili dinosaurusi, koji su postali dominantne životinje. Postoje i teorije, po Marku Boslou (Mark Boslough), da je udarac meteorita u prostor sada grada Šangsi u Kini mogao da mehanizmom interferencije udarnih talasa dovede do pucanja litosfere i vulkanizma na prostoru Sibira.

Super erupcija vulkana Toba: Toba kaldera (Indonezija) je razvijena, kao i mnogi drugi vulkani u zoni subdukcije. U ovom slučaju se australijska ploča podvlači pod evroazijsku. Sistem Toba kaldera i jezera se pruža pravcem severozapad - jugoistok dužine oko 100km, širine oko 30km. Rekonstruisano je više super erupcija. Poslednja se dogodila pre oko 75000 godina. Smatra se da je izbačeno oko 2800 kubnih kilometara materijala i više milijardi tona sumporne kiseline što je dovelo do zahlađenja u trajanju od 1000 godina. Ovo je imalo za posledicu unificiranje ljudskog genoma tzv. efekat grlića flaše "population bottleneck"^[9.9].

Erupcija Vezuva i uništenje Herkulanuma i Pompeje: Prostor sadašnje Italije se nalazi u okviru područja intenzivne subdukcije gde se u suštini afrička ploča podvlači pod evroazijsku ploču. Kroz središnji deo Italije razvijena je struktura, pravcem pružanja severozapad - jugoistok duž koje se događaju česti zemljotresi. Postoje 4 aktivna vulkana, od ukupno 14. Jedan od njih je Vezuv u blizini grada Napulja, aktivan je i danas. Zabeležene su brojne erupcije, poslednja sa ljudskim žrtvama je bila u martu 1944, ali najpoznatija je ona iz 79 godine naše ere (24/25 avgusta ili oktobar/novembar) kada su uništeni i pokriveni piroklastičnim materijalom gradovi Herkulanum i Pompeja. Pre ove erupcije dogodio se snažan zemljotres početkom ferbruara 62 godine naše ere. Relativno tačan broj žrtava nije utvrđen. U Herkulanumu, koji je bliži Vezuvu, su nađeni skeleti i kosti koje su delimično ugljenisane što ukazuje na temperaturu od oko i nešto preko 400 °C. U Pompeji, koji je dalje od Vezuva u odnosu na Herkulanum, su nađeni prazni prostori u piroklastičnom materijalu koje je ispunio gipsom Giuseppe Fiorelli u drugoj polovini 19 veka. Ovo ukazuje da su na poginulima ostala tkiva i da je piroklastični materijal bio manje zagrejan, ispod 300 °C. Na ljudskim ostacima se nisu videli tragovi agonije i pretpostavlja se da se smrt dogodila brzo usled termalnog šoka. Poznato je da je između ostalih poginuo i Plinije Stariji, rimski istoričar, prirodnjak i komandant. Informacije o erupciji su stigle preko njegovog nećaka Plinija Mlađeg. Interesantno je da u neposrednoj blizini Vezuva danas živi oko 3.000.000 ljudi^[9.9].

Erupcija vulkana Krakatoa: Vulkan Krakatoa - ostrvo se nalazilo na području Indonezije. Od maja do kraja avgusta 1883. godine čula se jaka tutnjava iz vulkana. Na tom prostoru je Sundski prolaz između Jave i Sumatre, frekventni pravac za brodove. Povremeno bi se video plovuac (piroklastični materijal) na moru. Pre podne 27. avgusta 1883. ostrvo je razneto u snažnoj erupciji koja je izazvala i cunami. Poginulo je 36000 ljudi, verovatno i više, ne od eksplozije i piroklastičnog materijala nego od cunamija. Danas je na tom mestu ostrvo Rakatu. Anak Krakatu - sin Krakatoe se uzdiže na poziciji raznetog vulkana i sigurno je da će do erupcije doći ponovo. Vulkan se nalazi na tektonski jako složenom mestu, rascepu gde je uključeno više raseda-ruptura. Pre ove erupcije dogodila se erupcija 1680. godine koja je navodno izbacila 5 puta više materijala - 19km³ nego erupcija iz 1883. Oblak prašine se zadržao više godina u atmosferi, doveo je do blagog pada temperature i izazvao efekat fascinantnih zalazaka sunca što su ovekovečili slikari William Ascroft, Edvard Munch, William Turner i drugi^[9.9].



Slika 9.12: Šematski prikaz izbačenog materijala kod poznatih vulkana i erupcija ^[9.10]

Preporučena literatura:

1. Convection hot spot

<https://sites.google.com/a/lewistonpublicschools.org/earth-systems-science-website---grade-9/home/1st-semester/plate-tectonics/-reference-materials/tectonic-chart/convection-current-hot-spot>

2. Mount Vesuvius Boiled Its Victims' Blood and Caused Their Skulls to Explode

<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/mount-vesuvius-boiled-its-victims-blood-and-caused-their-skulls-explode-180970504/>

3. Pompeiians Flash-Heated to Death—"No Time to Suffocate"

<https://news.nationalgeographic.com/news/2010/11/101102/pompeii-mount-vesuvius-science-died-instantly-heat-bodies/>

Reference:

- [9.1] Jovanović, V., Srećković-Batočanin, D., 2006: *Osnovi geologije*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
- [9.2] Đorđević, V., Đorđević, P., Milovanović, D., 1991: *Osnovi petrologije*, Nauka, Beograd, Beograd
- [9.3] Leuthold, J., Lissenberg, J. C., O'Driscoll, B., Karakas, O., Falloon, T., Klimentyeva, D. N., Ulmer, P., 2018.: *Partial melting of the lower oceanic crust at spreading ridges*, *Frontiers in Earth Sciences, Petrology*, 6(15): 20p
- [9.4] <https://slideplayer.com/slide/3908702/>
- [9.5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Volcano>
- [9.6] <https://www.quora.com/How-are-volcanoes-distributed-and-where-are-they-located>
- [9.7] Milovanović, D., Boev, B., 2001: *Zemlja, tektonika ploča i magmatizam*, Nauka, Beograd, Beograd
- [9.8] Yadong, S., Joachimski, W., Jiang, C., La, W., 2013: *Lethally Hot Temperatures During the Early Triassic Greenhouse*, *Science, USA* 338 (6105)
- [9.9] Pyle, D. M., 2000.: *Sizes of volcanic eruptions*, *The Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, London, pp 263-269
- [9.10] *Volcano eruption pover comparsion* (https://www.youtube.com/watch?v=8QSl_t65wnw)

Slike

- 9.3 Modifikovano sa: <https://slideplayer.com/slide/3908702/> ^[9.4]
- 9.5 Modifikovano sa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Volcano> ^[9.5]
- 9.6 Modifikovano sa: <https://www.quora.com/How-are-volcanoes-distributed-and-where-are-they-located> ^[9.6]
- 9.12 Modifikovano sa: https://www.youtube.com/watch?v=8QSl_t65wnw ^[9.10]

10.

MINERALOGIJA



10. MINERALOGIJA

10.1 ISTORIJA RAZVOJA MINERALOGIJE (I PETROLOGIJE)

Kratak prikaz naučnika koji su se bavili mineralogijom: Teofrast III vek pre nove ere, Aristotel IV vek pre nove ere, Plinije stariji (poginuo pri erupciji Vezuva 79 godine naše ere), Ibn Sin- Avicena IX vek naše ere, Šen Kuo XI vek naše ere - napisao je knjigu Eseji o bazenu iz snova, Georgius Agricola (Georg Bauer) XVI vek - napisao je knjigu Bermannus Sive de re Metallica Dialogus, Bernardo Cesia XVII vek uvodi termin Mineralogija, Mihail Lomonosov, XVIII vek, daje osnove za fizičko-hemijska proučavanja minerala, Rene Just Haji, XVIII vek, se bavi građom kristala, William Nicol, XIX vek, uvodi polarizacioni mikroskop u determinaciju minerala i stena - subjektivno rečeno glavni alat u mineralogiji i petrologiji, Wilhelm Conrad Röntgen otkriva X zrake kojima se ispituje (pored ostalog) kristalna rešetka minerala, Hans Busch otkriva 1926. elektromagnetna sočiva a 1928. Ernst Ruska i Max Knoll prave prvi elektronski mikroskop, dalje je rad, iskustvo i zanat, čime se došlo do fundamentalnih otkrića u nauci o planeti Zemlji. Kao i kod petrologije, najvažnije je naučiti prepoznavati minerale golim okom, lupom, binokularnom lupom i mikroskopom sa polarizacijom, prozračne minerale u propuštenom svetlu, a neprozračne u odbijenom svetlu.

10.2 NASTANAK PRVIH MINERALA

U ranom svemiru, pre zvezda, nije bilo minerala jer su jedini dostupni elementi bili vodonik, helijum i litijum u tragovima (videti poglavlje "Nastanak Sunčevog sistema i planete Zemlje"). Formiranje minerala postalo je moguće posle sintetizovanja težih elemenata u zvezdama - ugljenika, kiseonika, silicijuma i azota. U materijalu izbačenom iz crvenih džinova i eksplozijama supernovih moguće je nastanak "zvezdane prašine" - jako sitnih minerala formiranih na temperaturama iznad 1500 °C. Da se podsetimo, beli patuljak je izgrađen uglavnom od kiseonika i ugljenika. Kada beli patuljak uđe u binarni sistem sa velikom zvezdom ili drugim belim patuljkom (smatra se da se ovo događa jako retko) stvaraju se uslovi za nastanak supernove tipa Ia gde od trenutka fuzije gvožđa nastaju endotremni uslovi - zvezda se urušava, nastaju teži elementi i sve ovo se eksplozijom supernove izbacuje u svemir. Pri ovim uslovima nastaju prva jednostavna jedinjenja u kristalnom stanju - prvi minerali. Sa aspekta životne sredine, važno je da pratimo C - ugljenik, jer na planeti Zemlji je razvijena tzv. ugljenična forma života (carbon form of life)^[10.1].

Ovi minerali se mogu naći u međuzvezdnim zrnima ugrađenim u primitivne meteorite zvane hondriti, koji su u osnovi kosmičke "sedimentne stene". Hondriti su kameni (nemetalni) meteoriti koji nisu modifikovani zbog topljenja ili diferencijacije rastopa matičnog tela.

Nastaju kada se razne vrste prašine i sitnih zrnaca koji su bili prisutni u ranom Sunčevom sistemu akumuliraju i tako nastaju primitivni asteroidi. Hondriti su najčešći tip meteorita koji pada na Zemlju u iznosu od 85,7% do 86,2%. Njihovo proučavanje daje važne podatke za razumevanje porekla i starosti Sunčevog sistema, sintezu organskih jedinjenja, poreklo života i prisustvo vode na Zemlji. Jedna od njihovih karakteristika je prisustvo **kondrula** ili **hondrula** okruglih zrnaca izgrađenih od različitih minerala gde su kondrule 20% do 80% zapremine hondrita. Hondriti su se spajali, sudarali rasli i tako pravili veća tela^[10,1].

Broj prvih minerala je oko deset. Pošto dijamant ima visoku temperaturu kristalizacije (oko 4400 °C), verovatno je bio prvi mineral koji se formirao. Slede grafit, oksidi - rutil (TiO_2), korund (Al_2O_3), spinel (grupa minerala variabilnog hemijskog sastava oksida Mg, Fe, Cr, Al), hibonit ($(\text{Ca,Ce})(\text{Al,Ti,Mg})_{12}\text{O}_{19}$), karbidi - moisanit, jako redak mineral (SiC), nitridi - jedinjenja gde je azot u oksidacionom stanju minus 3 (N^{-3}) predstavljeni u ovom slučaju sa osbornitom (TiN - titanijum nitrid) i silicijum nitridom (Si_3N_4) i silikati: forsterit (Mg_2SiO_4) i silikatni perovskit (MgSiO_3). Ovi tzv. "ur-minerali" su bili u molekularnom - gasnom oblaku iz kojih je stvoren Sunčev sistem.

Danas je na planeti Zemlji (novembar 2018) poznato 5431 mineralnih vrsta.

10.3 MINERAL I KRISTAL

Mineral je hemijsko jedinjenje u čvrstom i kristalnom stanju. Neorganskog ili organskog su sastava. Mogu nastati prirodnim putem ili sintetički. U ovoj knjizi ćemo se baviti neorganskim prirodno nastalim mineralima.

Čvrsta materija može biti u kristalnom ili amorfnom stanju. Veze u čvrstom stanju su molekulske, metalne, jonske i kovalentne.

Kristal je trodimenzionalno čvrsto telo izgrađeno od atoma, molekula ili jona koji su u kristalu pravilno raspoređeni. Raspored atoma, molekula ili jona u kristalu određuje njegovi kristalnu rešetku. Geometrijski elementi kristala su pljosni, ivice i rogjevi. Kristalizacija je proces u kome se čestice kristala pravilno pakuju i grade kristalnu strukturu. U prirodi kristali minerala nastaju iz 1. gasova - sublimacijom, 2. rastvora - kada postane prezasićen i gubi npr. vodu, 3. očvršćavanjem iz rastopa - npr. minerali stena iz magme, 4. iz čvrstog stanja: a. iz gela - npr. prelaskom stakla u kvarc i b. iz amorfnih ili sitnozrnih agregata nastaju krupniji kristali. Kristalizacija se odvija u dva glavna koraka. Prvo je nukleacija, pojava kristalne faze ili od prezasićenja rastvora ili od pada temperature u rastopu. Drugi korak je poznat kao rast kristala, što je povećanje broja uređenih - pakovanih čestica i dovodi do kristalnog stanja.

Važna karakteristika ovog koraka je da labave čestice formiraju slojeve na površini kristala kada nastaju pukotine, pore, a mogu da se uhvate i razne nečistoće (materija drugačijeg sastava) ^[10.2] ^[10.3].

U geologiji se smatra da kada se proces kristalizacije odvija polako i kada postoji dovoljno prostora u kome kristali mogu da neometano rastu, nastaju lepi veliki primerci idiomorfni kristala.

Po pravilnosti kristali se dele na: idiomorfne - pravilne, hipidiomorfne - delimično pravilne i hipidiomorfne - nepravilne.

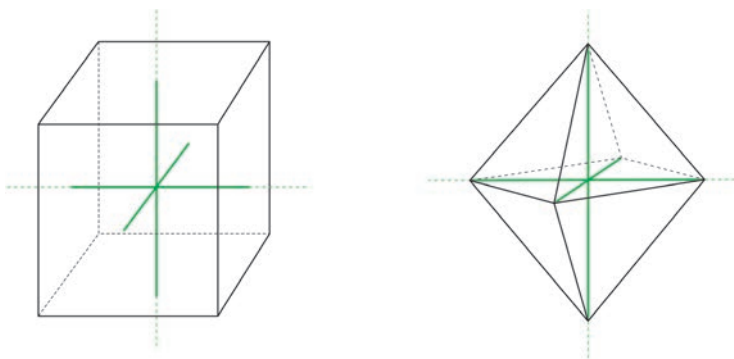
10.4 SIMETRIJA KRISTALA I KRISTALNI SISTEMI

Simetrija je pravilno preslikavanje nekog oblika u odnosu na ravan ili osu oko koje bi se oblik obrtao. Uprošćeno i ne baš isto, kao kada bi ono što vidimo u ogledalu - ravan, bilo, onako kako vidimo ali u materijalnom trodimenzionalnom stanju. Kristal može imati proste i složene oblike. Zamislimo prost oblik - rogalj. Ako npr. kroz dva rogla nekog kristala provučemo zamišljenu liniju, tj. uhvatimo ga između palca i kažiprsta (ako je prikladne veličine) i počnemo da ga lagano rotiramo, neki oblik - izabrani rogalj, će se pri rotaciji ponavljati, nekad posle pune rotacije, a nekad posle nekog ugla - pređenog luka. Tokom rotacije se može pojaviti više puta u jednom krugu. Simetrija se može određivati pomoću: ose, ravni ili tačke. **Kristali imaju simetriju.** Elementi kristala pri rotaciji oko ose, refleksiji u odnosu na neku ravan ili u odnosu na neku tačku imaju simetriju. Ova geometrijska elaboracija kristala i nije od velikog značaja u nauci o životnoj sredini, mnogo je važniji npr. sastav minerala i njegovo moguće raspadanje, distribucija u stenama i drugo. Ipak ovo je važan deo u mineralogiji kod determinacije minerala preko njegovih kristalnih oblika ^[10.3] ^[10.4] ^[10.5]. U literaturi će se naći termin **sistema** za kristalni sistem u kome se kristal nalazi. Obično se u srpskom jeziku koristi termin sistem za više pojmova. Na engleskom je termin **crystal system, crystal family**. Na ruskom je singonija sinonim za kristalizacioni sistem npr. гексагональная сингония. U ovoj knjizi ćemo koristiti termin sistem.

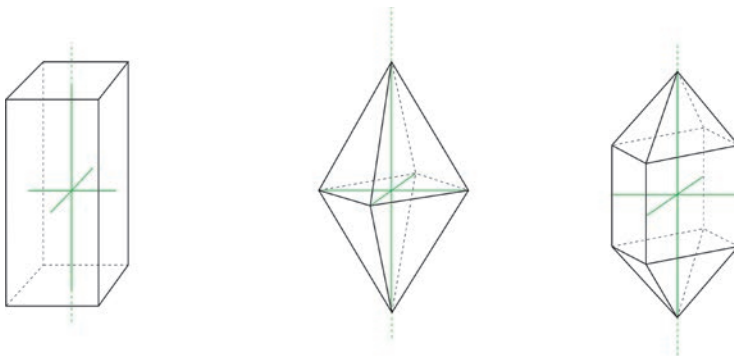
Iz pomenutog proizilazi klasifikacija kristala na kristalne sisteme, ima ih sedam, to su ^[10.3]:

1. Teseralni - primeri su halit (NaCl) i pirit (FeS₂);
2. Tetragonalni - primer je cirkon (ZrSiO₄);
3. Heksagonalni - primeri su grafit (C) i molibdenit (MoS₂);
4. Romboedarski - primeri su korund safir (Al₂O₃ plav zbog primesa Fe i Ti), korund rubin (Al₂O₃ crven zbog primesa Cr) i kalcit (CaCO₃);
5. Rombični - primeri su olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄) i barit (Ba(SO)₄);
6. Monoklinični - primeri su sfen (CaTiSiO₅) i ferberit (FeWO₄) i
7. Triklinični - primeri su albit (NaAlSi₃O₈) i halkantit (Cu(SO₄)·5H₂O).

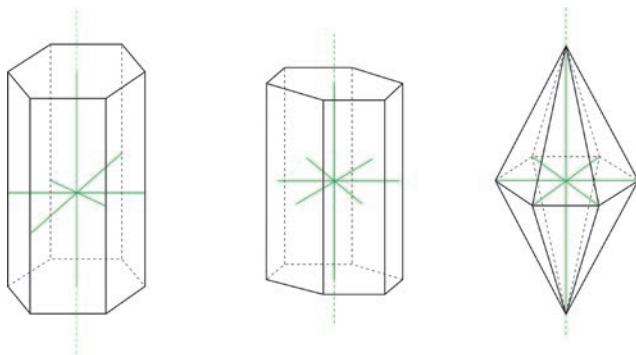
Navedeni primeri minerala u sistemima su dati tako da se prikaže i njihova genetska i hemijska raznovrsnost u okviru sistema. Na primer, teseralni halit i pirit niti nastaju niti se mogu naći zajedno u prirodi, kao i npr. olivin i barit.



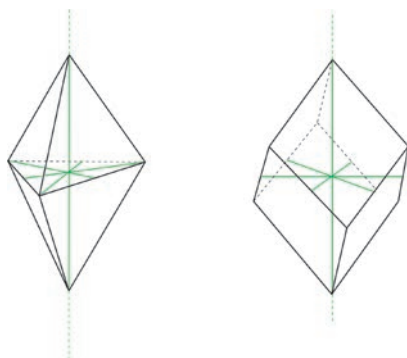
Slika 10.1: *Teseralni kristalni sistem* ^[10.5]



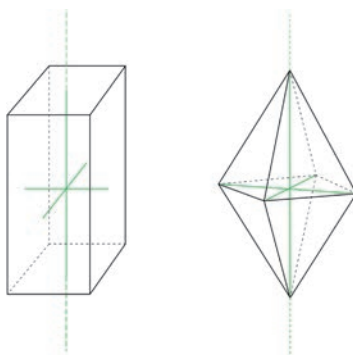
Slika 10.2: *Tetragonalni kristalni sistem* ^[10.5]



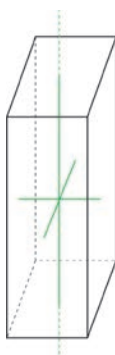
Slika 10.3: *Heksagonalni kristalni sistem* ^[10.5]



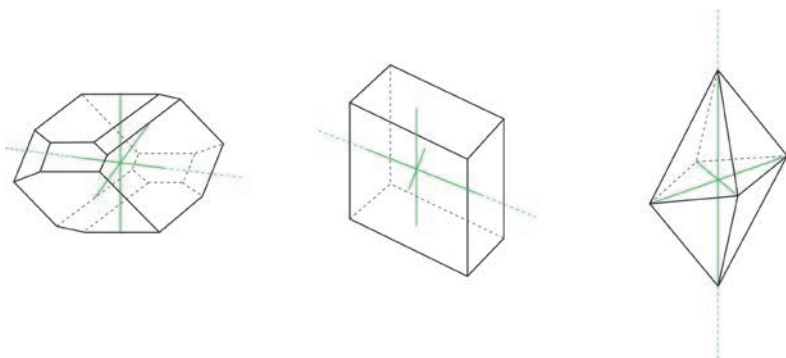
Slika 10.4: Romboedarski kristalni sistem ^[10.5]



Slika 10.5: Rombični kristalni sistem ^[10.5]



Slika 10.6: Monoklinični kristalni sistem ^[10.5]



Slika 10.7: Triklinični kristalni sistem ^[10.5]

10.5 FIZIČKE OSOBINE MINERALA

To su: boja, sjajnost, prozračnost, tvrdina, cepljivost, specifična težina, miris, ukus i drugi.

Boja je deo reflektovanog vidljivog dela spektra koji nije apsorbovan od objekta koji se posmatra, tako je i sa mineralima - cinabarit koji je crven (sulfid žive) ili kovelin koji je plav (sulfid bakra) u stvari apsorbuju ostale delove spektra, a reflektuju crvenu, odnosno plavu ^{[10.2][10.4][10.7]}.

Sjajnost je količina reflektovane svetlosti - pljosni pojedinih kristala ili neki metalni minerali npr. pirit mogu da reflektuju mnogo svetlosti, postoje instrumenti za merenje refleksije ali uzorak mora pre toga da se pripremi za merenje (iseče i ispolira) ^{[10.2][10.4][10.7]}.

Tvrdina minerala je važna karakteristika, često se koristi u determinaciji. Mineralog Fridrih Moh (Friedrich Mohs) je osmislio skalu od najmekšeg do najtvrdjeg minerala ^{[10.2][10.4][10.7]}.

Tabela 10.1 Tvrdine minerala o Mohs-u ^[10.6]

Tvrdina po Moh-u	mineral	formula	apsolutna tvrdina
1	Talk	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	1
2	Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2
3	Kalcit	CaCO_3	14
4	Fluorit	CaF_2	21
5	Apatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}^-, \text{Cl}^-, \text{F}^-)$	48
6	Feldspat ortoklas	KAlSi_3O_6	72
7	Kvarc	SiO_2	100
8	Topaz	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}^-, \text{F}^-)_2$	200
9	Korund	Al_2O_3	400
10	Dijamant	C	1500

Prozračnost je karakteristika minerala da propušta svetlost. Neki kao što su kvarc, dijamant, rubin i drugi, propuštaju svetlost u neobrađenom stanju, većina stenskih minerala propušta svetlost kada se tanko izbrusi i tada se mikroskopski ispituju, većina metalčnih minerala ne propušta svetlost^{[10.2][10.4][10.7]}.

Cepljivost je karakteristika minerala da se razdava pod dejstvom neke sile, dobar primer je liskun muskovit kod koga se krupni fragmenti mogu razdvajati kao ploče, pa je korišćen umesto stakla za prozore^{[10.2][10.4][10.7]}.

Specifična težina prikazuje gustinu minerala kod neke standardne zapremine - najčešće kubnog centimetra, određuje se koliko cm³ istiskuje vode, uglavnom se ne koristi kod determinacije minerala^{[10.2][10.4][10.7]}.

Neki minerali imaju *miris* i *ukus*, u podzemnoj eksploataciji sulfidnih minerala se jako dobro oseća njihovo prisustvo, neka jedinjenja arsena mirišu na beli luk, halit je slan, druge soli su gorke^{[10.2][10.4][10.7]}.

10.6 KLASIFIKACIJA MINERALA

Ima ih više. Najčešća je po hemijskom sastavu koju ćemo prikazati ali i ovde postoje varijeteti kao i mnogo podklasa u okviru glavnih grupa. Osim po hemijskom sastavu postoje podele na: petrogene minerale - oni koji grade stene, rudne - koji grade ležišta metala, paragenetske minerale (i njihove asocijacije) - one koji nastaju jednovremeno u istim fizičko - hemijskim uslovima, po tipomorfizmu - podela minerala koji nastaju u karakterističnim procesima i druge. Dva geologa - mineraloga su dala slične šeme klasifikacije minerala po hemijskom sastavu - James Dwight Dana i Karl Hugo Strunz. Spomenuli bi ovde i klasifikacije koje su definisali akademik Ivan Kostov - bugarski mineralog i Danilo Babič, prof. Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu, ali ćemo poslednje dve prepustiti profesionalnim geolozima. Sledi klasifikacija po hemijskom sastavu tzv. Nickel - Strunz sa Milovom hijerarhijskom šemom (ovde pojednostavljena):

1. Elementi (prirodni, samorodni) nastali u prirodi sa specifičnom mineralnom strukturom;
- 2a. Sulfidi, selenidi, teluridi, arsenidi, antimonidi, bizmutinidi;
- 2b. Sulfo soli, sulfoarseniti, sulfoantimoniti, sulfobizmutiti, ...;
3. Halogenidi (halidi);
4. Oksidi - oksidi, hidroksidi, arseniti (i antimoniti, bizmutiti, sulfiti, seleniti i teluriti);
5. Karbonati i nitrati;
6. Borati (prefiksi subklasa - nezo, soro, ciklo, ino, filo i tekto - borati);

7. Sulfati, selenati, telurati (još i hromati, molibdati i volframati);
8. Fosfati, arsenati, vanadati;
9. Silikati (prefiksi subklasa nezo, soro, ciklo, ino, filo i tekto - silikati, uključujući i germanate);
10. Organski minerali.

Napomena: *Ovaj prikaz nije idealna podela, o klasifikacijama minerala ima puno radova i literature, cilj je da se prikažu elementi i tipovi jedinjenja koja izgrađuju minerale.*

10.7 NEKI KARAKTERISTIČNI MINERALI I NJIHOVE OSOBINE OD ZNAČAJA ZA NAUKU O ŽIVOTNOJ SREDINI

Kod opisa nekih karakterističnih minerala pridržavaćemo se pomenute klasifikacije po hemijskom sastavu. Više će biti prikazani minerali sa gvožđem jer je dobar indikator raznih procesa koji se u prirodi dešavaju. Neki minerali kao što su realgar i auripigment nose arsen - poznati polutant. Grupa feldspata (silikati) je jako raširena – to su najčešći minerali u magmatskim stenama, koji su podeljeni u grupe u zavisnosti od sastava, a pri njihovom raspadanju nastaju gline – koje su opet važne kao mineralna sirovina i minerali gлина su zastupljeni u skoro svim tipovima zemljišta. Borate, sulfate i organske minerale ćemo u ovoj knjizi da izostavimo, a na kraju poglavlja, u preporučenoj literaturi se nalazi spisak knjiga koje zainteresovani mogu da pogledaju.

10.7.1 ELEMENTI

Samorodno zlato – je produkt raspadanja stena i minerala u kojima primarno nastaje. Zlato je često u asocijaciji sa sulfidima Pb, Zn i Cu. Ima ga pored ostalog u kvarcnim žicama^[10.3]. Kako je hemijski rezistentno u procesima nastanka stena i ležišta (hidrotermalnih sulfida metala) ne pravi “klasična” hemijska jedinjenja nego prirodne legure elektruma - sa srebrom ili kao silvanit - sa srebrom i telurom. Pri raspadanju stena i sulfidnih ležišta metala u atmosferskim uslovima sitna zrna zlata se oslobađaju i najčešće se uz pomoć vode transportuju. Samorodno zlato je dosta mekano i pri transportu zrnima se menja oblik, a i ima osobinu da se zrnca lepe i tako grade veća. Na mestima gde vodotok gubi brzinu, zrnca zlata padaju na dno, ali i kroz talog šljunka i peska jer je zlato teško, a dno reke uvek trpi vibracije. Postoje i endogena ležišta zlata različite geneze i odavde se danas dobija najveća količina zlata. U procesu dobijanja i prerade zlata poznati su procesi amalgamacije – kada se materijal sa zlatom meša sa živom, zlato pravi amalgam sa živom dok se preostali materijal odstranjuje, amalgam se izlaže visokoj temperaturi gde živa odlazi kao para, a ostaje zlato, jasno je da su živina isparenja štetna. Pri cijanizaciji (cijanidi su jedinjenja ugljenika i azota) i jako su

otrovnja) se materijal sa Au usitni, pomeša sa vodom i napravi mulj, ili je to ostatak od rafinacije bakra. Sledi višefazni postupak gde se ovi muljevi mešaju sa cijanidima (Na cijanidima), potom se dodaje Zn i na kraju sa sumpornom kiselinom (ili elektrolizom) se dobija zlato, krajnje "otrovnja" tehnologija.

10.7.2 SULFIDI

Pirit je sulfid gvožđa – FeS_2 . Čest je u prirodi. Genetski je mineral „lutilica“ (termin prof. dr Petra Zarića) zato što može da nastane u raznim uslovima. Može se naći kao pravilne kocke različitih dimenzija – teseralni sistem – oblik je heksaedar, ređe i češće kao nepravilan. Redovan je u polimetalničnim sulfidnim ležištima Cu, Pb i Zn i drugih. Mogu nastati krupne koncentracije do nekoliko centimetara - decimetara u žicama. Pirit je štetna i neizbežna komponenta u sulfidnim ležištima metala. Jednovremena sabirna kristalizacija je preko gela proces, kada hidrotermalni rastvor sa puno kompleksnih jona metala, sumpornih jedinjenja i H^+ jona, naglo dođe u uslove smanjenog pritiska i temperature. Voda momentalno ispari a ostatak se „obori“ kao gusta smeša nerazdvojenih sulfidnih jedinjenja. Odmah po obaranju u smeši nastaju procesi kristalizacije različitih sulfida. Nastali kristali sulfida npr.; Fe – pirita, Cu i Fe – halkopirita, Pb – galenita, Zn – sfalerita, pa i CuAsS – enargita i drugih, mogu biti jako sitni, prorasli, da se ne mogu razdvojiti ni mlevenjem. Ovo se zovu refraktarne rude, čijom preradom se nikad u potpunosti ne mogu izdvojiti korisne komponente npr. pomenuti Cu, Pb i Zn. Gvožđe se ne dobija iz sulfidnih minerala. Pirit može da se javi i u nekim magmatskim stenama u veoma malim količinama (akcesorni minerali). Na kraju nastaje u egzogenim uslovima u redukcionim sredinama, npr. u ležištima uglja. Pirit u atmosferskim oksidacionim uslovima reaguje sa vodom pa nastaje sumporna kiselina (kao i od drugih sulfida metala). Ona je slaba, ali kontinualnim stvaranjem i distribucijom u životnu sredinu može da učini veliku štetu. Po raspadanju pirita ostaje hidroksid gvožđa limonit^{[10.3][10.5][10.8]}.

Halkopirit je sulfid bakra i gvožđa (CuFeS_2), žute je boje. Kristališe tetragonalno. B. Vakanjac je video u bar 500 rudnih preparata halkopirit, kao i u bar 200 uzoraka iz bušotina i nikada lično nije video idiomorfni (pravilni) halkopirit. Može da nosi zrna elektruma, razna druga izdvajanja od kojih je karakteristično izdvajanje sfalerita koje se zove sfaleritski krst. Gradi agregate i sa bornitom – takođe jedinjenje Cu, Fe i S, ali je bornit ređi, ružičaste boje i ima više bakra (63%) od halkopirita (34,6%)^{[10.3][10.5][10.8]}. Takođe, u jako malom iznosu halkopirit može da sadrži srebro, zlato, kadmijum, kobalt, cink i druge elemente. Ima ga u Majdanpeku, Boru, rudniku Rudnik i drugim.

Galenit je sulfid olova (PbS). Kristališe teseralno kao oktaedar. Svetlo sive je boje, idiomorfni oblici su česti. U rudnoj mikroskopiji je etalon za belu boju. Može da sadrži velike količine argentita (Ag_2S)^{[10.3][10.5][10.8]}. Ima ga u Trepči, rudniku Rudnik, Lece i drugim.

Sfalerit je sulfid cinka (Zn, Fe)S. Kristališe teseralno. Može biti crn kada ima puno Fe, zelenkast (iz Leca), crvankast (iz ležišta Čoka Marin – južno od Majdanpeka, severno od Bora). Česta je pojava izdvajanja kapljičastog halkopirita u masi sfalerita^{[10.3][10.5][10.8]}. Redovna je pojava u svim ležištima metala na prostoru Srbije, Makedonije, Grčke i Bugaske.

10.7.3 HALOGENIDI

Halit, kamena so, kuhinjska so (NaCl) kristališe teseralno. Uglavnom je bela, mada može biti ružičasta ili plavičasta. Nastaje iz rastvora. Neophodna je za život i moraju da je unose svi sisari (velike količine su naravno štetne). Najpozantije ležište kamene soli u blizini je u Tuzli.

10.7.4 OKSIDI

Magnetit je oksid gvožđa (Fe_3O_4) formula baš nije tako jednostavna ali se može ovako prikazati. Kristališe teseralno, nekada je razvijen u vidu kocki. Metalčno sive je boje. Magnetičan je. Na osnovu magnetita iz okeanske kore je dokazana inverzija polariteta magnetnih polova. Važna je ruda gvožđa. Nastaje na različite načine. U magmatskim stenama, bazaltima i drugim, je redovan akcesorni mineral. Magnetit može nastati i procesom metasomatoze - promenom olivina, piroksena i amfibola. Poznata je magnetna anomalija kod grada Kursk u Ruskoj federaciji, na prostoru jednog od najvećih rudnika na svetu. Smatra da se ovde nalazi 4% rezervi svetskog gvožđa. Ležište je u metamorfitima i pre paleozojskim granitima^{[10.3][10.5]}. Kod čoveka nađen je u mozgu (između ostalog u hipokamusu, delu mozga gde se odvijaju procesi učenja i pamćenja).

Hematit je takođe oksid Fe (Fe_2O_3). Kristališe romboedarski. Kao i magnetit jako je raširen na Zemlji, a i na Marsu. Nastaje kao akcesoran u bazičnim stenama, visoko temperaturnim hidrotermalnim tvorevinama i tada je metalčno tamno siv. Crveni ili mrko-crveni hematit nastaje pri hidrotermalnim izmenama minerala sa Fe i u sedimentnim procesima. U rudnoj mikroskopiji je česta pojava korozije magnetita hematitom po ivicama i ravnima cepljivosti^{[10.3][10.5]}. Nekad je prepoznatljive, karakteristično lističaste građe.

10.7.5 KARBONATI

Kalcit je uobičajni konstituent sedimentnih stena, ali ne nastaje samo sedimentno. Dominantan je u svim krečnjačkim masivima na planeti Zemlji. Formule je CaCO_3 . Kristališe romboedarski. Postoje još dve polimorfne modifikacije kalcita aragonit i vaterit. U različitom nivou je prozračan, posebno je interesantan islandski kalcit koji dvojno prelama svetlo i u geološkim polarizacionim mikroskopima se koristi kao „Nikolova“ prizma – polarizator. Nastaje endogeno i egzogeno. Posebno su lepi hidrotermalno nastali kalciti iz Trepče. Kalcit je često jedan od glavnih sastojaka ljušturica marinskih organizama.

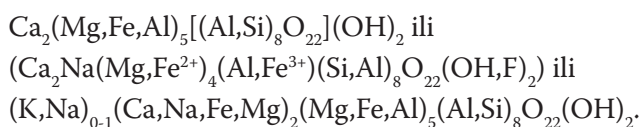
10.7.6 FOSFATI

Apatit je u stvari grupa minerala, deo formule je $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ ali su to još F, Cl i OH tako da je formula $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ ili npr. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$. Kristališe heksagonalno. Nastaje tokom intruzivnog procesa, sedimentno (marinski), metamorfno i iz guana. Boje je od zelene – zeleno plave – zeleno sive – sive a koje će biti boje zavisi od uslova nastanka i primesa. Važan je za proizvodnju fosfora. Sedimentne koncentracije u pustinjskim sredinama se koriste za proizvodnju superfosfata i redovno nose neku količinu urana i radionukleida koji ostaju na poljoprivrednim površinama tretiranim superfosfatima. Na osnovu mnogih proučavanja od 3,2 do 221,0 ppm (grama po toni) radionukleida je prisutno u superfosfatnim fertilizatorima. Smatra se da u nekim poznatim poljoprivrednim oblastima na planeti se trenutno nalaze desetine tona radionukleida sa uranom, koji naravno ulaze u lanac ishrane^{[10.2][10.9]}.

10.7.7 SILIKATI

Silikati su velika grupa različitih minerala. U Zemljinoj kori, to su najzastupljeniji minerali. Ima više podela silikata. Po hemijskom sastavu su to soli silicijumove kiseline. Pored Si i O silikati mogu da sadrže Al, Fe, Ca, Mg, Na i K i druge. Podeljeni su na grupe. U poglavlju o petrologiji prikazan je redosled kristalizacije silikata iz magmatskog rastopa. Ovde ćemo prikazati neke česte i važne predstavnike.

Amfiboli su grupa silikata sa Fe i/ili Mg, kristališu monoklinočno (12) i rombično (3). Prisutan je, pored ostalog, u magmatskim bazičnim i u srednje kiselim stenama. Tipični predstavnik hornblenda ima sledeću formulu^{[10.2][10.9][10.10]}:



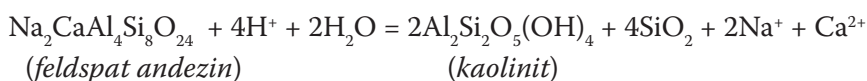
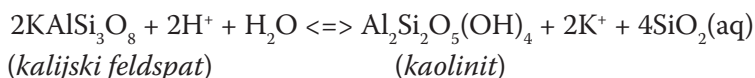
Formule se razlikuju i namerno su ovako prepisane iz raznih izvora, diskusija o tome kako i zašto je, u suštini za mali broj profesionalnih mineraloga. Suština je da shvatimo da je to silikat sa O, OH, Al, Ca, Fe i Mg, pa eventualno K i Na.

Može da sadrži TiO_2 , pa je kod hidrotermalnih procesa koji razaraju primarne femske minerale (Fe-mske ili mafic minerals - silikati sa Fe), interesantno je pratiti šta se sa titanom događa od izluživanja iz hornblende. Tako u uslovima dominantnog fugasiteta kiseonika od Ti nastaje neorutil, dalje do leukoksena - prostora ispunjenih sitnim razbijenim rutilima u hidrotermalno izmenjenoj stenskoj masi. Često od gvožđa izluženog iz hornblende u andezitima Timočkog magmatskog kompleksa (TMK, ležišta bakra od Majdanpeka do Bora) nastaju pirit, halkopirit ili magnetit u zavisnosti od ravnoteže sistema.

Tako da alterisana - hidrotermalno izmenjena hornblenda je centar kristalizacije Fe i Cu-Fe sulfida i Fe oksida. Praćenjem ovih procesa se rekonstruiše nastanak nekih sulfidnih ležišta.

Feldspati su veoma rasprostranjeni, tačnije najdominantnija grupa silikata u magmatskim stenama. Čine, težinski, 41% kontinentalne kore. Formule su generalno: KAlSi_3O_8 ili $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ili $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Kako vidimo sastav se razlikuje. Najvažnija karakteristika je da postoji sistem Al-Si-O, da može da se menja K, Na i Ca. Na osnovu ove osobine su podeljeni na grupe: 1. alkalni feldspati sa K ili K i Na (eventualno kod nekih izostaje Al) i 2. plagoklasi sa Na ili Na i Ca ili samo sa Ca. Kalijski feldspat - ortoklas je ružičast, varijetet ortoklasa amazonit je zelenkast. Graniti sa puno ružičastog feldspata su obično malo više radioaktivni. Albit - plagioklas sa Na je kao što mu je ime znači beo ima i skoro prozračnih, bitovnit - plagoklas sa Na i Ca je beo do žućkast. Važno je znati da što su magmatske stene bazičnije tj. što imaju manje SiO_2 to su feldspati u njima sa Ca, zatim sa Ca i Na, srednje kisele sa Na i kisele sa najviše SiO_2 npr. graniti su sa K feldspatima^{[10.2][10.9][10.10]}.

Gline su minerali koji nastaju uglavnom raspadanjem feldspata. Oko 90% glina je nastalo od alkalnih feldspata (mogu još od muskovita-liskun, perlita i drugih). Takođe čine veliku grupu minerala. Dele se na kaolinske, montmorilonit-smektit-ske, ilitske i hloritske. Sve ove grupe su nastale raspadanjem nekih prethodnih primarnih silikata. Gline se nazivaju još i hidratizani alumoslikati. Na donje dve formule prikazan je nastanak kaolinita pri delovanju vode i H^+ jona^{[10.2][10.9][10.10]}.



Kaolin je mineral gline, ime je dobio po kineskom terminu "Kao-Ling" što bi u bukvalnom prevodu značilo "visoki greben". Kristališe triklinično. Najviše liči na sitne pločice koje se ne mogu videti golim okom ni optičkim mikroskopom (mogu elektronskim). Koncentracije kaolinita su bele, ređe sivkastih ili žućkastih nijansi. Važna je mineralna sirovina, ima širok dijapazon upotrebe od keramike do kozmetike.

Kvarc je posle feldspata sledeći mineral po koncentrisanosti u Zemljinoj kori. Hemijski sastav je SiO_2 . Postoje dve modifikacije α -kvarc i β -kvarc. Alfa (α) je nastao na temperaturi od preko 573°C - kristališe heksagonalno, a beta (β) kvarc ispod 573°C - kristališe romboedarski. Poznat je i kao "gorski kristal". Uglavnom je prozračan do mutno beo, može da ima primese i onda je žut-citrin, ljubičast-ametist, crn-čadavac, plavi, roze...

Nastaje endogeno magmatski - u intruzivnim i vulkanskim kiselim stenama, hidro-termalno i metamorfno. Beta kvarc je jako postojan u atmosferskim uslovima i često je glavni mineral u mnogim peskovima i sedimentnim stenama - peščarima. Lepi primeri kvarca se koriste kao poludrago kamenje, kvarcni pesak ima široku upotrebu u industriji stakla i keramike i veliku primenu ima u elektronskoj industriji kao kvarcni oscilatori^{[10.2][10.9][10.10]}. Neke vrste kvarcnih kristala imaju piezoelektrična svojstva; razvijaju električni potencijal nakon delovanja mehaničkog stresa. Ovaj mehanizam se koristi za veoma tačna merenja vrlo malih promena mase u mikro balansu kvarcnog kristala.

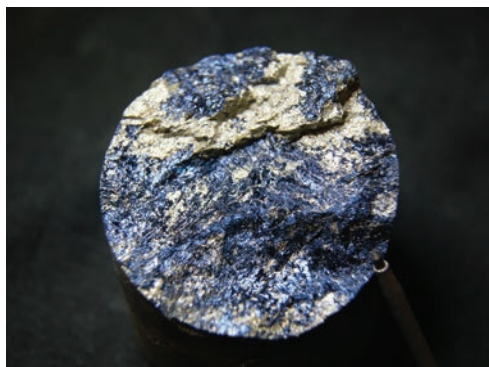
10.7.8 PRIMERI MINERALA PRIVATNE KOLEKCIJE B. VAKANJCA I R.KONDŽULOVIĆA



Slika 10.8: Pirit (8 cm) (foto B. Vakanjac)



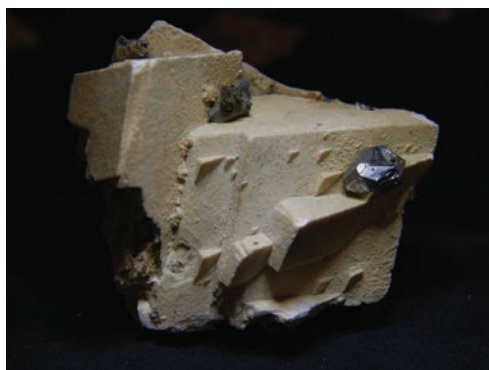
Slika 10.9: Sferalit (metalično crno) sa kalcitom (belo) (6cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 10.10: Kovelin (plavo) sa piritom (žuto) (foto: R. Kondžulović)



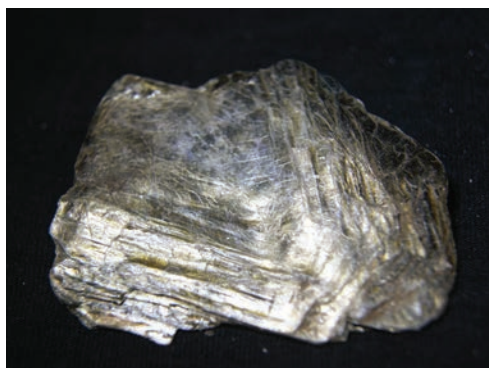
Slika 10.11: Getit (6 cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 10.12: *Feldspat (krem žuto) sa zrnima galenita (sivo) (12 cm) (foto B. Vakanjac)*



Slika 10.13: *Kalcit (8 cm) (foto B. Vakanjac)*



Slika 10.14: *Liskun (6 cm) (foto: R. Kondžulović)*



Slika 10.15: *Korund (4 cm) (foto B. Vakanjac)*



Slika 10.16: *Kvarc (9 cm) (foto B. Vakanjac)*



Slika 10.17: *Ametist (ljubičasti kvarc) (4 cm) (foto B. Vakanjac)*



Slika 10.18: Beril (2.5 cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 10.19: Turmalin (3 cm) (foto B. Vakanjac)

Preporučena i korišćena literatura:

1. *Condie, Kent C. (2015). Earth as an Evolving Planetary System. Academic Press. p. 360. ISBN 9780128037096.*
2. *Housecroft, C. E.; Sharpe, A. G. (2008). Inorganic Chemistry (3. izd.). Prentice Hall. ISBN 978-0-13-175553-6*
3. *Hazen, R. M.; Papineau, D.; Bleeker, W.; Downs, R. T.; Ferry, J. M.; McCoy, T. J.; Sverjensky, D. A.; Yang, H. (1 November 2008). "Mineral evolution". American Mineralogist. 93 (11–12): 1693–1720.*
4. *Ione Makiko Yamazakia , Luiz Paulo Geraldo, 2003: Uranium content in phosphate fertilizers commercially produced in Brazil, Pergamon, Applied Radiation and Isotopes 59 (2003) 133–136*
5. *Robert M. Hazen, 2010: "Mineral Evolution". Scientific American, Carnegie Science.*
6. *La composición de la Tierra: el modelo condritico in Planetología. Universidad Complutense de Madrid"*
7. *Calvin J. Hamilton (Translated from English by Antonio Bello). "Meteoroides y Meteoritos" (in Spanish).*
8. *Marco Pasero, ed. (2018): "The New IMA List of Minerals – A Work in Progress", version of November 2018. Published by the International Mineralogical Association (IMA), Commission on New Minerals Nomenclature and Classification (CNMNC)*
9. *Mills, Stuart J.; Hatert, Frédéric; Nickel, Ernest H.; Ferraris, Giovanni (2009). "The standardisation of mineral group hierarchies: application to recent nomenclature proposals". Eur. J. Mineral. 21: 1073–1080. doi:10.1127/0935-1221/2009/0021-1994*

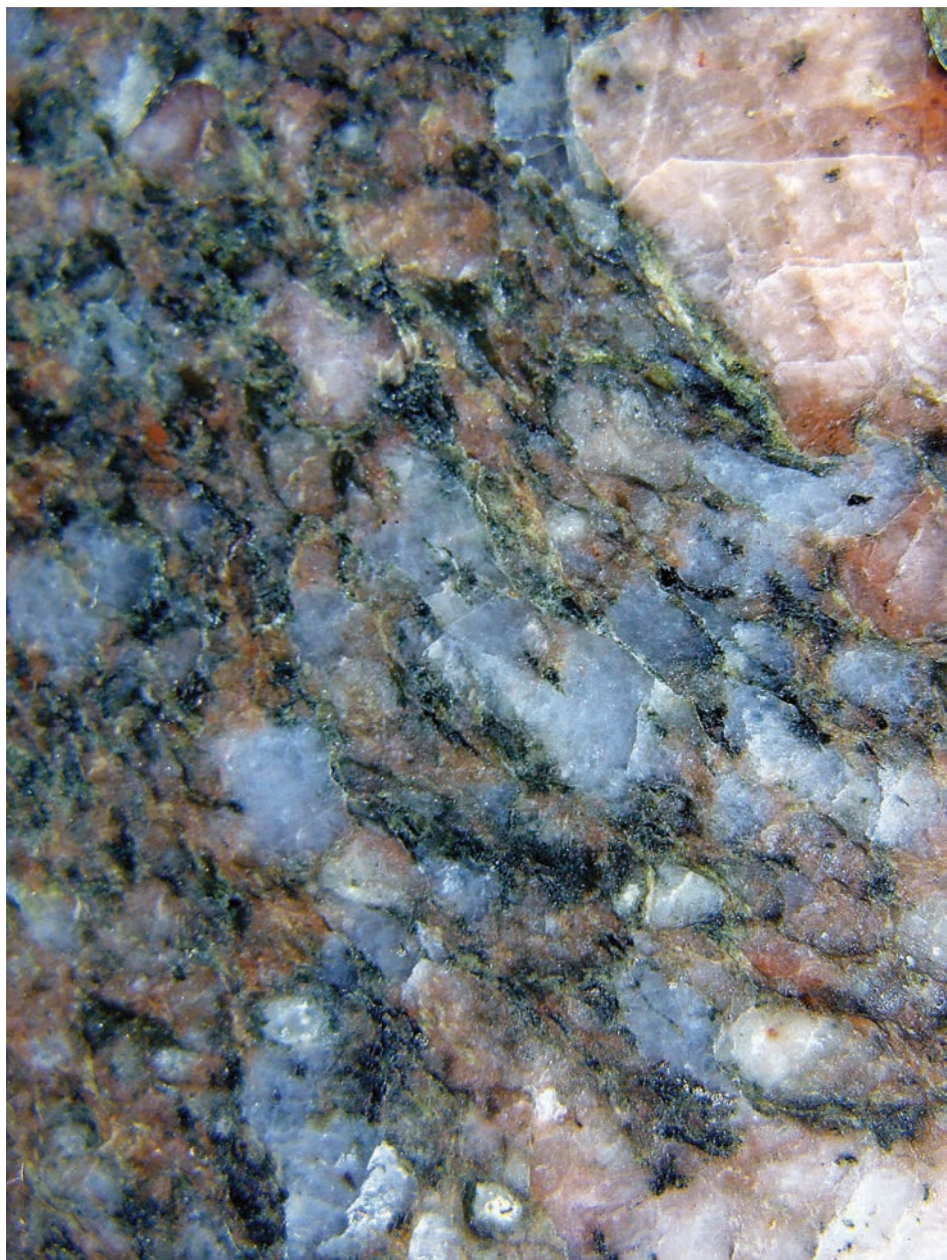
10. *Magnetite Nano-Particles in Information Processing: From the Bacteria to the Human Brain Neocortex* - ISBN 9781-61761-839-0
11. Zecca, Luigi; Youdim, Moussa B. H.; Riederer, Peter; Connor, James R.; Crichton, Robert R. (2004). "Iron, brain ageing and neurodegenerative disorders". *Nature Reviews Neuroscience*. 5 (11): 863–873. doi:10.1038/nrn1537. PMID 15496864
12. Anderson, Robert S.; Anderson, Suzanne P. (2010). *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Cambridge University Press. p. 187.

Reference:

- [10.1] Bischoff, A., Geiger, T., 1995: *Meteorites for the Sahara: Find locations, shock classification, degree of weathering and pairing*. *Meteoritics*. 30 (1): 113-122. doi:10.1111/j.1945-5100.1995.tb01219.x. ISSN 0026-1114
- [10.2] Babič, D., 2003: *Mineralogija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [10.3] Костов, И. 1993: *Минералогия, Техника, София, 734с.*
- [10.4] Logar, M., 2000: *Sistematika silikata, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [10.5] Petković, V. K., 1938: *Geologija i mineralogija, Kreditne i pripomoćne zadruga profesorskoga društva, Beograd*
- [10.6] Pasero, M., ed. 2018: *The New IMA List of Minerals – A Work in Progress, version of November 2018. Published by the International Mineralogical Association (IMA), Commission on New Minerals Nomenclature and Classification (CNMNC)*
- [10.7] Nesse, W. D. 2000. *Introduction to Mineralogy*. New York, Oxford University Press
- [10.8] Vaughan, D. J., Craig J. R. 1978: *Mineral chemistry of metal sulfides, Cambridge University Press, Cambridge: ISBN 0-521-21489-0.*
- [10.9] Đorđević, V., Đorđević, P., Milovamović, D., 1991: *Osnovi petrologije, Nauka, Beograd*
- [10.10] Protić, M., 1984: *Petrologija sedimentnih stena, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*

11.

PETROLOGIJA



11. PETROLOGIJA

11.1 OPŠTE INFORMACIJE I PRIMARNA MAGMA

Petrologija je nauka o stenama. Kada bi sklonili svo zemljište, pustinje, okeane, mora i mulj sa dna okeana i mora ostale bi stene. Proučava se izgled, distribucija, sastav stena - minerala i elemenata, njihov nastanak - geneza i mnogo drugih karakteristika. Na osnovu toga se određuje karakter i geohemija tla, starost planete Zemlje, traže se rudna ležišta, u građevinarstvu se stene ispituju kao podloge za gradnju, kao materijali i drugo. Stene su osnova svega na planeti Zemlji. Zemljišta su fragmenti raspadnutih stena sa biocенозом razvijenom u tim sredinama - sva poljoprivreda na planeti postoji zbog regolita - u suštini raspadnutog stenskog materijala. Sve zgrade, mostovi, brane, putevi su vezani za proučavanje stena.

Na početku ovog poglavlja treba da shvatimo, koliko je moguće, nastanak prve stene i sastav prve magme na planeti Zemlji. Napominjemo da su ovde prikazane informacije koje su sa našeg subjektivnog stanovišta preko 80% tačne, razlog za preostalih "nesigurnih" 20% je što ne možemo da se vratimo 4 do 4,5 milijardi godina unazad i da uzmemo uzorak i što ne znamo šta je danas tačno sastav planete Zemlje npr. na kontaktu gornjeg omotača - tačnije njegovog donjeg dela "astenosphere" i mezosphere (sigurno je da ima Si, O i Fe i još svega ostalog u nekim procentima, promilima, ...). Da bi došli do toga potrebno je da se razmotre dve stvari:

1. Očvršćavanje magme sa Bovenovom šemom kristalizacije i
2. Mogući sastav "prve-primordijalne" stene na Zemlji.

Ranije je pomenuto da se prvo formiraju sulfidi Fe, Ni i Cu koje se nazivaju likvidni segregati - nisu u čvrstom kristalno-mineralnom stanju - to postaju kasnije kad se sistem "smiri", od Fe-S nastaje pirotin, od Ni-S nastaje pentlandit, od Fe-Cu-S nastaju halkopirit i varijeteti. Odmah posle, a i možda sinhrono nastaju kristalizacioni diferencijati - oksidi Fe, Cr i Ti. Od Fe-O nastaju magnetit i hematit, od Fe-Ti-O nastaju titanomagnetiti, od Cr-O-Fe i drugog nastaju hrom spineli (pokupe pored Cr, Fe i O još Mg, Al i druge elemente). Oksidi preostalih Cr i Ti koji su u mineralima stvorenim u ovom procesu uvek nose neku količinu Fe. Kao što je rečeno ove dve "faze" (1. likvidni segregati i 2. kristalizacioni diferencijati) prve očvršćavaju, tonu kroz primordijalni rastop i primarna magma više nije ista, umanjena je za neku količinu Fe, Cr, Ti i O kao i Cu, Ni i S.

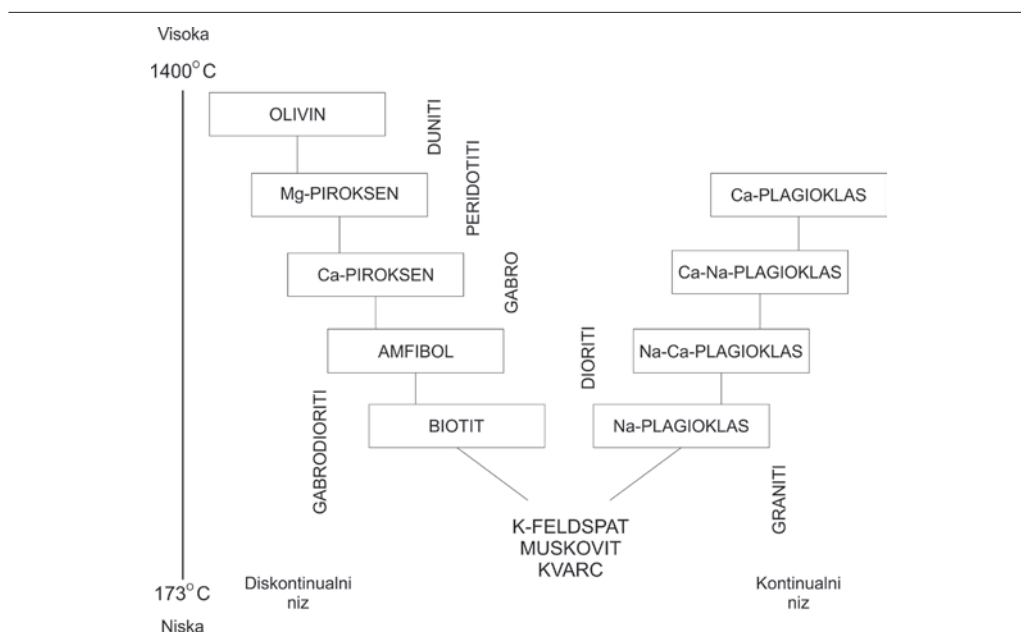
Prvo se događa (uprosćeno) eutektik - polučvrsta smeša, zatim, iz eutektika sa padom temperature i pritiska dešava se diferencijacija jedinjenja/mineralna i/ili elemenata. Dakle, videli smo da se smanjuje koncentracija Fe, Cr, Ti, Cu, Ni, S i O iz primarne

magme, dok je Zemlja bila vrela i delimično - recimo - homogena. Homogena je relativno, zato što u trenutku formiranja prvog kvadratnog centimetara primordijalne stene na površini proto Zemlje je već počela i bila u toku diferencijacija proto magme sa likvidnim segregatima i kristalizacionim diferencijatima, koji su se kretali ka centru planete zbog gravitacije. Sigurno su tu bila i jedinjenja U, Th i drugih - Ni, Co, Cr, Pt, Au., elemenata koji su takođe "putovali" kroz usijanu proto magmu prema centralnim delovima planete.

11.1.1 OČVRŠĆAVANJE MAGME SA PRIKAZOM BOVENOVE ŠEME KRISTALIZACIJE

Norman Bowen je početkom XX veka počeo sa eksperimentima, kojima je spraseni stenski materijal grejao do tačke topljenja, a zatim hladio na odabrane temperature. Ovo je dovelo do sledećih zaključaka:

- Kristalizacionih asocijacija - dokaza i razloga zašto su neki minerali i elementi u asocijaciji - ovo se kasnije razvilo u genetsku mineralogiju i nauku o parageneza-minerala i elemenata (parageneza minerala je mineralna asocijacija nastala jednovremeno u definisanim fizičko-hemijskim uslovima).
- Redosleda kristalizacije minerala, tj. da postoje fizičko-hemijski razlozi zašto ne mogu da jednovremeno kristališu npr. piroksen i kvarc. Razlikuju se dva niza diskontinualni i kontinualni. Na vrhu oba niza nalaze se minerali koji nastaju na najvišim temperaturama, u dnu niza su minerali koji nastaju na uslovno niskim temperaturama.



Slika 11.1: Bovenova šema kristalizacije^[11.1]

Pojašnjenje Bovenove šeme kristalizacije - slika 11.1:

- Desni diskontinualni niz su minerali sa gvožđem, redosled je: olivin $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, piroksen $(\text{SiO})_4[\text{Mg,Fe,Ca}]$, hornblenda(amfibol) $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5[(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ i biotit $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.
- Levi kontinualni niz prikazuje plagioklase od onih sa Ca, preko Ca-Na plagioklasa do Na plagioklasa, od: anortita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, preko smeše albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ i anorthita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; do albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.
- Na najnižim temperaturama, nastaju - srednji - donji niz: ortoklas KAlSi_3O_8 , muskovit $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2$ i kvarc SiO_2 .

Kada se prati temperatura od najviših ka nižim, a uzimajući u obzir mineralni sastav, slede tipovi magmatskih stena (intruzivne, izlivne): ultrabazične (peridotiti i komatiti), bazične (gabro i bazalt), srednje kisele (dioriti i andeziti) i kisele (graniti i rioliti).

Od 50-tih godina XX veka intenzivno su se vršili eksperimenti nastanka raznih mineralnih asocijacija.

11.1.2 MOGUĆ SASTAV "PRVE-PRIMORDIJALNE" MAGME I STENE NA ZEMLJI

Danas jedini dostupni "uslovno" primarni magmatski materijal je bazaltna lava koja se izliva u zonama divergencije u okeanima. Sastav ove magme ne može da bude isti kao primordijalne iz gore navedenih razloga primarne diferencijacije, takođe i zbog kontinualnog parcijalnog ili potpunog topljenja materijala koji je subdukcijom dospao do astenosfere, a možda i mezosfere. Dakle, pokušaćemo sa rekonstrukcijom.

Peridotiti su kompaktne zelene-tamnozeleno-crne zrnaste stene koje su nastale u gornjem delu gornjeg omotača, gde su i dominantne. Imaju manje od 45% SiO_2 . Sadrže dosta Mg, izgrađeni su od olivina, piroksena, amfibola, Ca feldspata (anortita), hromita i drugih. Veoma čest produkt koji je nastao od peridotita tokom zatvaranja okeana je serpentinit. Dakle ispod litosfernih ploča, a posle Mohorovičićevog diskontinuiteta se nalaze peridotiti. Kako su litosferne ploče iscepkane u tektonske ploče i dele se na okeanske sa više Fe i manje SiO_2 i kontinentalne sa više SiO_2 , logičan zaključak je da se sa donje strane litosfernih tektonskih ploča, bez obzira na vrstu nalaze slojevi peridotita. Varijeteti su dunit, verlit, harzburgit i lerzolit (dominantan mineral je olivin, kod dunita preko 90%, zatim piroksen). U kimberlitima, stenama koje se iz gornjeg omotača intruduju, mogu se naći fragmenti peridotita, tu se istražuju koncentracije iridijuma i osmijuma i proučava se potencijalni sastav primarne magme^{[10.2][10.3]}.

Komatiti su jedne od najstarijih stena na planeti - starosti su haden (hadean) -arhaik i proterozoik. To je vulkanit nastao od materijala iz gornjeg omotača i imaju 18% ili više MgO. Imaju malo silicijum dioksida, K i Al, a relativno mnogo Mg. Dobio je ime po reci Komati iz Južne Afrike. Tope se na 1600°C što je više u odnosu na sve druge "sadašnje" poznate magmatske stene. Smatra se da je to zato što je planeta Zemlja u vreme stvaranja komatita bila toplija, a gornji omotač i do 250 °C vreliji nego danas. Izgrađen je od olivina sa dosta Mg, piroksena, anortita i hromita. Konstatovani su kumulati - to su koncentracije "teških" minerala koje tonu kroz rastop i uslovno rečeno u "dnu" sistema prave nagomilanja^{[10.2][10.3]}.

Serpentin - **izmenjeni peridotit** - je dobio ime po latinskom nazivu za zmiju - serpens. Obično su tamno-crno-zeleni, često su magnetični. Imaju različite teksture, ako su nastali od olivina - serpentin it onda su mrežaste, ako su nastali od piroksena - bastit onda su u vidu nepravilnih zona. Česta su zrna ispucanih hrom-spinela. Tokom procesa serpentinizacije iz olivina i piroksena se izlučuje Fe koje je sada u vidu agregata magnetita i hematita i razvijeni su kao mreža ili sitna zrna po izmenjenoj masi prethodnog peridotita. Stena apsorbuje veliku količinu vode, povećava joj se zapremina i uništava struktura. U suštini za transformaciju olivina i piroksena kao glavnih minerala u peridotitima potrebna je voda i povišena temperatura. Mogu se pratiti u zonama od više hiljada kilometara gde su nastali kao rezultat zatvaranja okeana pri čemu su isčupani fragmenti peridotita sa okeanskom korom - sada serpentiniti - razbacani duž zone zatvaranja. U Srbiji (spomenuto je ranije, ali sad ponavljamo u drugom kontekstu) su najpoznatiji primeri Zlatibor i Divčibare (i drugi) ^{[10.2][10.3]}.

Gabro je intruzivna bazična stena. Zrnaste je strukture. Izgrađen je od Ca plagioklasa (grupa feldspata, konkretno labrador i bitovnit) kao i piroksena (monokliničnog), amfibola i olivina (kada se zove olivinski gabro). Kao akcesorni minerali česta su jedinjenja Fe, Ti i O, kao što su titanomagnetiti, magnetit i ilmenit. Okeanska kora je u najvećoj meri izgrađena od gabra^{[10.2][10.3]}.

Bazalt je poreklom iz gornjeg omotača. Nije ekskluzivno vezan samo za zone divergencije, prilično je česta pojava kod raznih vulkana. Izliva se na mestima intenzivne tektonike. Bazaltne lave imaju temperaturu oko 1100 - 1200°C. Bazalt je bazična izlivna stena koja nastaje iz lave sa dosta Mg i Fe. Izgrađen je od Ca feldspata, piroksena, eventualno olivina i u malim količinama magnetita, titano-magnetita i ilmenita. Na osnovu pravaca kristalizacije magnetita u bazaltima izlivenim u zonama divergencije su pronađeni obrti magnetih polova na Zemlji. Bazalti koji nastaju u srednje okeanskim grebenima se nazivaju MORB (Mid Ocean Ridge Basalt - Srednje Okeanski Rov Bazalti) ^{[10.2][10.3]}.

Cilj prikaza gore navedenih stena: komatita, peridotita, serpentinita i bazalta je da se pokuša rekonstrukcija sastava primordijalne magme. Tokom protekle 4,5 milijarde godina procesi prikazani Bovenovom šemom kristalizacije su se događali kontinualno i danas se događaju. Likvidni segregati i kristalizaconi diferencijati i danas "tonu" i nastaju iz rastopa prvi (ako ima "vremena" tj. ako rastop - magma relativno brzo ne dođe do površine, postane lava i izlije se).

U magmi prvo očvršćavaju jedinjenja koja se tope na najvišim temperaturama, jedinjenja sa Fe i drugim metalima i čim se to desi magma menja svoj sastav, proces se nastavlja i pri tom se fizičko-hemijski uslovi menjaju. Ovaj proces traje dok na kraju ne kristalizuje kvarc. Ovo se događa od pre 4,5 milijardi godina do trenutka kada čitate ovu rečenicu i dešavaće se ubuduće.

Tokom vremena i procesom diferencijacije magme, se prvo izdvajaju Fe sa jedinjenjima, zatim, kao što smo videli iz Bovenove šeme kristalizacije, silikati sa Fe i Mg, rastop se osiromaši sa Fe, ali sa Si i O. To nije više isti rastop kao pre izdvajanja Fe. Izdvaja se Mg, pa Ti i redom. Takozvani bazicitet primarne magme se smanjuje, ona postaje kiseliya, raste koncentracija silicijum dioksida. Magma postaje gušća. Silicijum dioksid ili SiO_2 je jako rašireno jedinjenje na planeti Zemlji. Poznato je kao kvarc kada je u kristalnom stanju (kvarcni satovi, mikro procesori ...) i kao staklo kada je u amorfnom stanju (prozori, optika ...). Interesantno je da su uran, torijum i kalijum "ostali" "na kraju" u kiseloy magmi (graniti/roliti-lipariti, kasnije sledi opis) iako su uran i torijum "poprilično" teški elementi. Postoje teorije da je Zemljino jezgro vrelo zbog raspada radioaktivnih elemenata. To bi značilo da su U i Th kao i Fe delom gravitacijom otišli ka centru Zemlje, a delom zaostali, gde su posle dugotrajnog procesa diferencijacije primarne magme kao "ostatak" donešeni na površinu sa kiselom granitskom magmom (punom SiO_2 i K) ^{[10.2][10.3][10.4]}.

Tokom vremena litosfera se diferencirala. Gravitaciona i hemijska diferencijacija je počela odmah po definisanju sfere planete Zemlje uz moguću promenu sastava ako je bilo sudara sa hipotetičkom planetom Tejom. Nastala je okeanska kora - slična po sastavu "starim" stenama i peridotitu - stena iz gornjeg dela gornjeg omotača i magmi koja je iz astenosfere, kora sa više Fe i Mg i manje SiO_2 . Dalje tokom dugog perioda diferencijacije nastaje i kontinentalna kora sa više silicijum dioksida, sa više npr. K, manje Fe i Mg i koja je specifično lakša ^{[10.2][10.3][10.4]}. Zaključujemo da je primarna magma bila slična bazaltnoj sa možda nešto više Fe i SiO_2 - deluje paradoksalno sa aspekta gore napisanog, ali tokom vremena "dobar" deo Fe je otišao prema centru planete, a SiO_2 je procesima diferencijacije otišao u kontinentalnu koru. **Znači danas nema primarne magme, možemo samo da rekonstruišemo sa nekom verovatnoćom, uz savremene metode sastav primordijalne magme.**

11.2 METODE ISPITIVANJA STENA

U suštini najvažnije je naučiti, prepoznati stenu makroskopski, lupom, binokularnom lupom i optičkim mikroskopom. Postoji niz hemijskih i instrumentalnih metoda za određivanje pojedinih karakteristika stena npr. koncentracije karakterističnih oksida, ili Na i K u feldspatima itd.

Postoji brojna literatura koja se bavi problematikom makroskopske i mikroskopske determinacije stena, kao i instrumentalnih metoda determinacije ispitivanih komponenti. Danas sa mogućnostima interneta naveli bi sajt "Alex Streckeisen" gde su dati makroskopski i mikroskopski snimci velikog broja petrogenih minerala i stena.

11.3 PODELA STENA

Stene se generalno dele na magmatske, sedimentne i metamorfne.

Prethodni tekst se uglavnom bavio magmatskim ultrabazičnim i bazičnim stenama. Sedimentne stene nastaju od raspadnutog materijala bilo kojih stena. Metamorfne stene takođe, nastaju od bilo kojih stena koje dođu u dublje delove Zemlje pa se menjaju pod delovanjem pritiska i temperature ili u kontaktu sa vrućim intruzijama koje lokalno menjaju stene sa kojima su u kontaktu. U tekstu koji sledi pridržaćemo se pomenute klasifikacije.

11.3.1 MAGMATSKE STENE

Magma stene nastaju procesom diferencijacije magme. Napomena: tokom svojih školovanja, autori su učili po sledećem konceptu: karakteristike magme - temperatura, pritisak, viskoznost, diferencijacija, asimilacija, uticaj dubine, način pojavljivanja, lučenje i sklop magmatskih stena - to je u redu, međutim, kada počinju grupe magmatskih stena - počinje se od granita. Granit nije prva očvrsla magmatska stena. Prvo očvršćavaju peridotiti (ono ispod Mohorovičićevog diskontinuiteta pa ih nalazimo posle počupane i izmenjene kao serpentinite).

Kao što je rečeno u poglavlju o vulkanizmu generalno postoje dva tipa magmatkih stena: intruzivne i izlivne (ekstruzivne). Intruzivne znači one koje su se utisnule u strukturno oslabljenje delove litosfere i izlivne - ekstruzivne, su one koje su nastale izlivanjem magme - sada lave na površinu planete^{[10.2][10.5]}. Ovde moramo da pomenemo i piroklastični materijal koji je produkt vukanizma.

Da pojednostavimo:

I. Prva podela je po mestu nastanka^[10.2]:

1. Intruzije - u oslabljene delove Zemljine kore se utiskuju - intruzivne stene – imaju zrnastu strukturu,
2. Ekstruzije - lava sa piroklastičnim materijalom - koja se izliva na površinu Zemlje – vulkanske stene nastale očvršćavanjem lave imaju porfirsku strukturu, zrna minerala i osnovnu masu (jako sitna mineralna zrna) i
3. Žične stene – ispunjavaju pukotine i procepe u Zemljinoj kori, a minerali imaju karakterističnu, uslovno rečeno – usmerenu građu.

II. Druga podela je po sastavu: magmatske stene se dele na^[10.2]:

1. Ultrabazične,
2. Bazične,
3. Srednje kisele i
4. Kisele.

Podela je izvršena po sadržaju SiO_2 ^[10.2]: ultrabazične imaju ispod 45%, bazične od 45 – 52%, srednje kisele (intermedijarne) 52 – 66% i kisele sa preko 66% SiO_2 .

U nastavku teksta ćemo prikazivati paralelno intruzivne i ekstruzivne stene magmi karakterističnog hemijskog sastava, žične varijetete nećemo posebno obrađivati.

Ultrabazične (ultra mafic) magmatske stene – peridotiti i komatiti i bazične (mafic) magmatske stene gabro i bazalt

O ultrabazičnim i bazičnim stenama, kao i njihovom poreklu je dosta rečeno u prethodnom tekstu. Da se ovde ne bi ponavljali, da rezimiramo ultrabazične intruzivne stene su peridotiti, a izlivne komatiti. Ovde ostajemo delom na nivou teorije zato što se peridotiti nisu intrudovali u litosferu, ali da bi imali zrnastu strukturu trebalo im je mirno tektonsko okruženje. Komatiti su jako stari, a opet izloženi atmosferilijama. Lako je definisati izlivne stene, imaju osnovnu masu, tako da su komatiti kao ultrabazični i bazalti kao bazični predstavnici su se izlili na površinu Zemlje. Bazična intruzivna stena je gabro, može lepo da se vidi u knez Mihajlovoj ulici u Beogradu koja je popločana Jablaničkim gabrom^{[10.2][10.6]}.

Srednje kisele stene (intermedijarne) - dioriti, andeziti, daciti i trahiandeziti

To su stene sa 52 do 63% SiO_2 . Intruzivne se zovu dioriti, a izlivne andeziti, daciti, trahiandeziti. Dioriti, kao i druge intruzivne stene, imaju zrnastu strukturu. U mineralnom sastavu srednje kiselih stena obično dominira plagioklas plus piroksen i/ili hornblenda. Magnetit, cirkon, apatit, ilmenit, biotit i granat su tipični akcesorni minerali^{[10.2][10.7]}.

Diorit je intruzivna magmatska stena, izgrađena od silikatnih minerala plagioklasa - feldspati (obično andezita), biotita, hornblende i / ili piroksena. Hemijski sastav diorita je srednje kiseli - intermedijarni. Diorit je obično sive do tamno sive boje, a često ima i zelenkaste nijanse. Razlikuje se od gabra po tipu plagioklasa; plagioklas u dioritu je bogatiji sa Na a siromašniji sa Ca. Diorit može da sadrži male količine kvarca i tada je dacit. Cirkon, apatit, titanit, magnetit, ilmenit i sulfidi su akcesorni minerali^{[10.2][10.7]}.

Andezit je izlivni ekvivalent intruzivnog diorita. Karakteristični su za zone subdukcije. Ime andezit potiče od planinskog lanca Anda. Kod nas je razvijen u Timočkom Magmaškom Kompleksu - TMK, gornje kredne je starosti, ima ih i mlađih oligocensko-miocenske starosti u okviru magmatskih sistema koji su razvijeni na prostoru Srbije sa pravcem pružanja SSZ-JJI. Srednje kisele izlivne stene slične andezitu koje imaju fenokristale kvarca se zovu daciti^{[10.2][10.7]}.

Kisele stene – graniti i rioliti

Svima je poznat termin granit. Reč "granit" dolazi od latinske granule - zrna. To je zrnasta stena različitih nijansi: bele, ružičaste ili sive, koje su rezultat mineralnog sastava, ako ima puno K-feldspata onda je ružičast i tada je verovatno više radioaktivan. Svi graniti nose neku, malu količinu radioaktivnih komponenti, uran, torijum i kalijum 40. Retko mogu biti povišeno radioaktivni i tada se nazivaju "vrući". Granit je tipična vrsta magmatske intruzivne stene zrnaste strukture. Sadrži 20% - 60% kvarca, a najmanje 35% feldspata koji je sa K, zatim liskuna, hornblende i drugih minerala^{[10.2][10.3][10.6]}.

Smatra se, na osnovu višedecenijskih istraživanja, da graniti nastaju na dva načina: 1. frakcionom kristalizacijom primarne magme gde se vremenom izdvajaju Fe, Mg, Ti, Ca i Na – ostaje rastop koji se osiromašuje sa ovim komponentama i 2. Pretapanjem donjeg dela kontinentalne kore pri visokim temperaturama i pritiscima.

Postoji još podela na sledeće tipove granita: I (igneous – magmatskog porekla), S (sedimentnog porekla – pre pretapanja), M (nastali frakcionom kristalizacijom), A (nastali parcijalnim pretapanjem) i H (hibridni tipovi – mešanih pretopa i/ili materijala nastalog frakcionom kristalizacijom).

Rioliti imaju preko 69% SiO₂. Ovo su izlivni varijeteti granitnih magmi. Mineralni sastav je kvarc, sanidin i plagioklas, akcesorini su apatit, cirkon, sfen i drugi. Mogu biti prisutni biotit i hornblenda.

11.3.2 SEDIMENTNE STENE

Sedimentne stene su uglavnom nastale od fragmenta raspadnutih stena koji su transportovani na manju ili veću udaljenost gde su se fragmenti koncentrisali – deponovali pa potom očvrslili – litifikovali. Očvršćavanje fragmenata pri nastanku sedimentnih stena se zove dijageneza. Fragmenti mogu biti različitih dimenzija i sastava. Od jako sitnih fragmenata skoro prašine nastaju alevroliti, od jako krupnih breče. Sedimentne stene mogu nastati i iz rastvora, kao npr. koncentracije kamene soli (kuhinjske NaCl). Izumiranjem živog sveta nastaju organogeni sedimenti i u njima se mogu videti ostaci životinja i biljaka (ljušturice, polen...). Smatra se po Klarku 1924, da čine 5% litosfere (prvih 16km), a 75% površine planete Zemlje. Od toga, glinci, peščari, krečnjaci i dolomiti su najzastupljeniji. Sedimentne stene mogu nastati u dubokim okeanskim sredinama – krečnjaci pri mirnim uslovima i sedimentaciji, u kontinentalnim sredinama kada se kod horst – graben struktura, horstovi uzdižu noseći sa sobom intruzive, magmatske stene i metamorfite pa se sve te stene raspadaju i pune graben strukture i u kontinentalno marinskim sredinama – deltama gde se koncentriše terigeni materijal različite granulacije i sastava i lagunama gde dolazi do koncentracije organskog materijala. Fragmenti koji su duže transportovani su zaobljeni, a oni koji su kraće transportovani su oštih ivica^[10.8].

Raspadanje stena

Proces sedimentacije počinje raspadanjem stena. Sve vrste stene se raspadaju. Ono može biti fizičko i hemijsko.

Fizičko raspadanje se dešava iz više razloga: 1. Delovanjem unutrašnjeg pritiska – mehaničkom eksfolijacijom kada magmatska stena dođe u površinske uslove, pa je unutrašnji pritisak u steni dovoljno jak da na površini dovodi do raspadanja; 2. Termalnom ekspanzijom – kada se stene izložene velikoj vrućini pa minerali povećavaju zapreminu; 3. Temperaturne oscilacije, ako je na nekom prostoru leti maksimalna temperatura +40 °C, a zimi -25 °C to je ukupno 65 stepeni, ali pomnoženo sa npr. 5 miliona godina – 5 miliona oscilacija, to dovodi do znatnog slabljenja kohezije u steni; 4. Smrzavanjem vode u prslinama i pukotinama u zimskim periodima kod npr. kontinentalne klime; 5. Delovanjem korenja biljaka; 6. Abrazijom kada fragmenti, šljunak i pesak nošeni vodom ili gravitacijom, otkidaju pri sudaru fragmente stene; 7. Rastom kristala u prslinama, npr. halita u kontaktu sa morskom vodom i 8. Pomeranjem tla, zemljotresima – što je jako retko^[10.8].

Hemijsko raspadanje stena se dešava u zavisnosti od hemijskog sastava stene i u toku vremena: 1. Reakcijom alumosilikata (posebno grupa feldspata - uprošćeno) kada se Ca, Na i K u reakcijama sa H^+ jonima, CO_2 , O_2 i vodom u suštini reaguju i izlužuju se čime se razara kristalna rešetka feldspata i nastaju hidratizirani alumosilikati tj. minerali glina; 2. Svi minerali koji nose Fe bez obzira da li su to sulfidi, oksidi ili silikati su podložni hemijskom raspadanju opet sa H^+ jonima, O_2 i voda reaguju ili sa Fe ili sa S iz sulfida ili sa Mg i Ca iz fenskih stenskih minerala ili samo sa Fe iz oksida; 3. Rastvaranje soli vodom; 4. Rastvaranje krečnjaka reakcijom vode i ugljen dioksida kada nastaje ugljena kiselina (H_2CO_3). Da napomenemo da voda u prirodi nikada nije neutralna – pH 7 i da nikad nije apsolutno čista, bez rastvorenih komponenti, dakle uvek je u stvari rastvor koji je u manjoj ili većoj meri reaktibilan^[10.8].

Po S. Goldiču (Goldich), kao što postoji Bowenova šema kristalizacije, tako postoji šema minerala koji su rezistentni u atmosferskim uslovima do onih koji se lako raspadaju. Prikazaćemo redosled od najrezistentnijih do najslabijih: 1. Minerali bez Fe - kvarc, muskovit, K feldspati, Na feldspati, Ca feldspati; 2. Minerali sa Fe – biotit, amfiboli, pirokseni, olivini.

Transport raspadnutog materijala

Raspadnuti materijal se transportuje kao klastičan – fragmenti različitih dimenzija i hemijski kao rastvori i koloidi.

Kod transporta klastičnog materijala treba imati u vidu: 1. veličinu fragmenta – klasta, 2. agens ili medijum (voda, vetar...) i 3. silu – za velike fragment potrebna je npr. bujica, za prašinu slab vetar.

Vrste transporta klastičnog materijala su: 1. Gravitacijom kada se oslabljeni stenski materijal otkine i skotrlja ili padne sa litice. Pri tome udara o stenu na svom putu kada se stena mrve na kontaktu udara. Na nekim mestima se mogu od takvog materijala formirati sipari; 2. Vodom koja u prirodi uvek nosi fragmente od mulja, a kada su bujice, komade stena težine i više tona. Putem klasti različitih dimenzija i tvrđine udaraju dno reke i lome bedrok. Kada rečni tok izgubi na snazi, transportovani materijal se deponuje u dnu korita ili na obalama. 3. Glečerima – ledom se mogu transportovati veliki komadi bez diferencijacije po veličini i obliku. Pri svom kretanju glečeri lome i guraju veliku količinu materijala; 4. Vetrom se transportuju relativno sitne čestice, mogu da formiraju pustinjske oblike reljefa i mogu da budu nošene daleko (žute kiše koje vetrovima iz Sahare stižu do Srbije i dalje)^[10.8].

Transport rastvorenog materijala se odvija kao rastvor ili kao koloid. Iz rastvora soli kristališu iz prezasićenih rastvora. Kod koloida je potrebno da nestane naelektrisani omotač oko čestica, što se dešava kada se koloid nađe u kontaktu sa jakim elektrolitima, suprotno naelektrisanim česticama ili nestankom vode – sušenjem.

Očvršćavane – litifikacija – dijageneza sedimentnih stena

Litifikacija se dešava iz više razloga u zavisnosti kakav materijal očvršćava. Ako je klastičan, potrebno je da se smanje slobodni međuprostori između fragmenata i da eventualno povišeni pritisak i/ili neki rastvor "pomogne" proces dijageneze.

Termin dijageneza se koristi za opisivanje hemijskih, fizičkih i bioloških promena koji se događaju sa sedimentnim materijalom posle početnog taloženja. Ovim procesima se koncentrisan nataložen materijal konsoliduje u kompaktnu, čvrstu stenu. Mlade sedimentne stene (kvartarne) su uglavnom nekonsolidovane. Sa povećanjem koncentracije transportovanog materijala raste i pritisak. Sedimentni materijal je često prožet podzemnim vodama (slanim ili slatkim). U vodama se nalaze i drugi rastvori koji se mogu istaložiti ili vode mogu rastvarati sediment. Smanjivanje poroznosti uz prisustvo dodatog materijala ili rastvora se zove cementacija. Sa vremenom dolazi do formiranja kompaktnog materijala zbog pritiska. Tada se iz sistema istiskuje voda, a neka zrna mogu biti samlevena ili rastvorena^{[10.8][10.9]}.

Podela sedimentnih stena

Sedimentne stene se dele^[10.10]:

1. po genezi – načinu postanka,
2. po sastavu - mineralnom i hemijskom,
3. po nivou litifikacije i
4. po dimezijama zrna.

Ima i drugih klasifikacija, zainteresovani mogu da ih pogledaju u raznim knjigama koje se bave petrologijom i sedimentnim procesima.

Genetska klasifikacija sedimentnih stena: 1. Mehanički (klastični) sedimenti nastali od fragmenata različitih dimenzija; 2. Hemijski sedimenti nastali iz rastvora različitog sastava i 3. Sedimenti organogenog porekla^[10.10].

Klasifikacija po sastavu: dele se na (prikazaće se najčešće stene): 1. Silikatne sedimente, uglavnom je tu glavni mineral kvarc (nikad nije samo kvarc), kvarc je zato što je najrezistentniji kod površinskog i atmosferskog raspadanja, a ima ga relativno puno na površini planete Zemlje. Stene su: alevroliti, peščari, breče i konglomerati; 2. Karbonatni sedimenti – uglavnom krečnjaci. Izgrađeni su uglavnom od kalcita, aragonita, dolomita; 3. Evaporiti – nastali iz prezasićenih rastvora: neki karbonati, hloridi - halit (kuhinjska so) i sulfati – gips i anhidrit; 4. Organogeni sedimenti: ugalj i uljni škriljci; 5. Sedimenti nastali od silicije. U ovom slučaju SiO_2 je rastvoren kao koloid, ne kao pravi rastvor, transportovan i po promeni uslova izgubio je deo ili svu vodu i prešao u čvrsto stanje, npr. opal ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$), pored opala tu su još rožnac i kalcedon; 6. Sedimenti bogati sa Fe. Gvožđe je poprilično prisutno u stenama i sve što se vidi, kad se npr. kopa bunar da je crvenkasto, braonkasto ili žućkasto u zemljištu – ovo je zbog hidroksida i oksida gvožđa. Koncentracije Fe iz npr. Fe bogatih sedimenata tokom vremena može da menja svoje statuse: oksidacija-redukcija ($\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$), lateritizacija ($2\text{HFeO}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$), piritizacija (u reakciji sa sumporom koja može da se događa i bez povišene temperature, nastaje FeS_2 – pirit); 7. Fosfatni sedimenti, uglavnom nastaju u marinskim uslovima, danas su to poznata ležišta fosfata u pustinjama izgrađenim od apatita - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$ (sa mnogo primesa i radionukleida), iz kontinentalnih margina, zatim iz kostiju, iz guana - fosfor može biti remobilisan i obogatiti druge sredine^{[10.9][10.10]}.

Klasifikacija na osnovu litifikacije: dele se na: vezane – čvrste (peščari, krečnjaci), poluvezane - polučvrste – neke gline i nevezane – ne očvrsle (pesak, šljunak)^{[10.9][10.10]}.

Klasifikacija na osnovu dimenzija zrna: dele se na: psefite dimenzija preko 2mm, psamite od 0,05 do 2mm, alevrite od 0,005 do 0,05mm i pelite dimenzija manjih od 0,005mm^{[10.9][10.10]}.

Mineralni sastav sedimentnih stena i glavni tipovi sedimentnih stena

Generalno se minerali u ovim stenama dele na autigene – minerale nastale od primarno nataloženog materijala i alotigene – minerali koji su prethodno bili na mestu dijagenese ili su tu dospeli kasnije.

Ispostaviće se kod prikaza pomenute klasifikacije da se neki pojavljuju i kao autigeni i kao alotigeni, mogu da se razlikuju po karakteru, obliku, sastavu, ali time se bave profesionalci sedimentolozi.

Autigeni minerali u sedimentnim stenama: 1. alumosilikati: minerali glina, sericit, hlorit; 2. oksidi Si bez i sa vodom: kvarc, kalcedon, opal; 3. oksidi i hidroksidi Fe: hematit i limonit; 4. karbonati: kalcit, dolomit, aragonit i siderit; 5. sulfati: gips, anhidrit, barit; 6. soli (haloidi): halit i silvin^{[10.9][10.10]}.

Alotigeni minerali su: 1. Laki: kvarc, kalcedon, fedspati, muskovit, kalcit i dolomit i 2. Teški: hromit, magnetit, rutil, sfen, turmalin, cirkon, granati^{[10.9][10.10]}.

Od glavnih vrsta sedimentnih stena naveli bi, dosta pojednostavljeno^{[10.9][10.10]}:

- Klastične: vezane - breče, konglomerate, peščare, gline, alevrolite, nevezane - šljunak, pesak i alevrit.
- Karbonatne stene: krečnjake i dolomite. Bigar nastaje iz rastvorenog $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ u vodi, taloženjem CaCO_3 u uslovima kada se iz vode izdvaja CO_2 . Kreda organski sitnozrni sediment.
- Laporce – smeše krečnjačkog i glinovitog materijala (kada su pogodnog sastava onda su sirovina za cement).
- Evaporiti – halit, gips, anhidrit, hloridi K, hloridi Mg, silvin.
- Sedimentne koncentracije Fe.
- Dijatomejska zemlja – koncentracije sitnih ostataka – ljuštirica sa visokim sadržajem SiO_2 .
- Rožnac – je silicija koja može da nastane na različite načine. To je u stvari mikrokristalast ili kriptokristalasti kvarc. Nalazi se u silifikovanom drvetu, radiolarijama, nodulama u krečnjacima – posebno onim u kontaktu sa serpentinitima (dijabaz – rožnačka formacija ili ofiolitski melanž ...). Mogu biti zelenkasti, crvenkasti, sivkasti.

Na kraju dali bi primer nečega što ostane posle raspadanja primarne stene. Kod lokaliteta Mokra gora na Zlatiboru nalazi se povišena koncentracija nikla u rezidualnom materijalu koji je preostao od raspadanja serpentinita. Primarno su u svetu ekonomski bile interesantne sulfidne rude Ni i tokom vremena su eksploatisane, a kako su to neobnovljivi resursi tražene su i druge mogućnosti. Lateritske rude Ni nastaju kao ostatak raspadanja i složenih procesa promene serpentinskih minerala u egzogenim uslovima. Predstavljene su pored minerala glina i silicije, kao i limonitom sledećim niklonosnim mineralima: garnijerit, revdinski, Ni-kerolit i nontronit. Hemijski sastav ovih minerala je uglavnom Ni, Mg sa Si-oksidi, eventualno Al i Fe i redovno OH grupa i voda. Ove pojave same po sebi nisu opasne po životnu sredinu, jer tokom miliona godina je sistem stabilizovan u atmosfersko-egzogenim uslovima. Postoji opasnost u slučaju eksploatacije da koloidi Fe dospeju u vodu sa pratećim mineralima oksida i hidroksida Fe kao i hromita a takođe, i kod prerade ove rude je potrebna velika količina sumporne kiseline.

11.3.3 METAMORFNE STENE

Metamorfizam je proces promene stena pod uticajem pritiska, temperature i hemijskih agenasa koji se dešava tokom nekog vremenskog perioda.

Generalno, postoje regionalni i kontakti metamorfizam. Regionalni metamorfizam se dešava sa blokovima koji u suštini dolaze u oblasti visokih temperatura i pritisaka, u procesima orogeneze ili blokovi tektonikom dolaze u dublje delove planete – u zonama subdukcije, gde se kod stena menja tekstura, mineralni sastav i/ili hemijski sastav. Kontakti metamorfizam se događa kada vrući intruzivi dolaze u kontakt sa okolnim stenama i tada ih menjaju (npr. granit Bukulje je na kontaktu izmenio krečnjake pa su nastali mermeri ležišta Venčac). U okviru oba pomenuta metamorfizma postoji niz procesa koji deluju na primarnu stenu – protolit, neke ćemo objasniti. Temperature metamorfnih procesa se kreću od 200 do 850 °C. Posle 850 °C stene se tope i to onda više nije metamorfizam nego pretapanje^{[10.2][10.4]}.

Procesi koji su doveli do metamorfizma se mogu rekonstruisati na osnovu tekstura stene i mineralnog sastava, postoje karakteristične tekture – npr. škrljavo ili minerali npr. graniti koji ukazuju na promene koje je neki protolit pretrpeo. Neki važniji procesi koji se dešavaju tokom metamorfizma: 1. Plastična deformacija je kada nastaju folijacija, ubiranja i trakaste forme; 2. Rekristalizacija je proces gde se kod minerala primarne stene menja oblik i veličina, menja se struktura stene; 3. Promena faza kada nastaju novi minerali sa istim hemizmom minerala primarne stene; 4. Neokristalizacija je nastanak novih minerala gde u reakcijama reaguju minerali protolita između sebe i nastaju novi minerali; 5. Delovanje rastvora pod pritiskom – kada primarna stena pod velikim pritiskom uz delovanje vrele vode menja svoj sastav tako što se primarni minerali rastvaraju - serpentiniti; 6. Hidrotermalni procesi – delovanje vrelih gasova i para, obogađenih sa H^+ jonima, H_2S , SO_4 , jedinjenjima metala (kompleksnim jonima), ovi rastvori prolaze duž prslina i pukotina u primarnoj steni i mogu toliko da je izmene ako je pH npr. 1 ili 2, da od protolita ostanu samo nepravilne koncentracije SiO_2 pigmentisane sa Fe i šupljinama (sekundarni kvarciti ili vuggy silica)^{[10.2][10.4]}. Sada je diskutabilno da li je ovo metamorfizam ili metasomatizam (ovde ćemo ostaviti metasomatoze istraživačima porfirskih ležišta Cu i Au).

Stepen - intenzitet metamorfizma je podeljen na niski, srednji i visoki. Na primer metamorfiti niskog intenziteta metamorfizma su zeleni škrljci i filiti, srednjeg - amfiboliti i škrljci, visokog - granuliti i gnajsevi.

Postoje i tzv. metamorfne facije gde je izvršena podela na osnovu sastava stena kao i temperature i pritiska u kojima su facije nastale.

Progradni metamorfizam je promena mineralnih asocijacija sa visokim temperaturama i pritiskom, gde se gube isparljive komponente. Retrogradni metamorfizam je retka pojava koja se dešava kada iz zona sa višim temperaturama i pritiscima materijal dolazi u prostore nižih temperatura i pritisaka, pa se sad minerali “vraćaju” u forme stabilne u manje ekstremnim uslovima^{[10.2][10.4]}.

Karakteristični minerali koji nastaju u metamorfnim procesima su: andaluzit, disten, silimanit, epidoti, granati, korund, kordijerit, kvarc, lavsonit, prenit, talk, vezuvijan, volastonit i drugi.

Strukture magmatskih stena su uslovljene prethodno opisanim procesima, poreklom protolita (magmaški ili sedimentni, zrnasti ili porfirski i dr.) i intenzitetom procesa. Rast novih minerala u čvrstoj sredini se zove blasteza, pa se na ime stene dodaje prefiks blasto. Stene se mogu lomiti – drobiti pa se nazivaju klastičnim. Škriljave strukture nastaju delovanjem pritisaka u nekom smeru, pa se time i orijentišu minerali. Slično škriljavoj strukturi su ubrana i trakasta. Okcasta nastaje od kružnih ili elipsastih koncentracija kvarca ili feldspata. Bobičava kod npr. koncentracija granata u osnovnoj masi metamorfita. Masivna kad minerali nemaju orijentaciju^{[10.2][10.4]}.

Kod klasifikacije metamorfnih stena držaćemo se navedene podele na regionalni i kontaktni metamorfizam. Prikazaćemo glavne grupe po Đorđević i dr. 1991. Kod opisa stena se daje nivo metamorfizma, zatim kristaliniteta i glavni mineralni sastav. U ovoj knjizi ćemo navesti glavne tipove metamorfita, glavni mineralni sastav i eventualno neku specifičnost. Niski stepen metamorfizma ćemo označiti sa nsm, a visoki na primer sa vsm.

Metamorfiti regionalnog metamorfizma

Metamorfiti regionalnog metamorfizma se dele na I. Kristalaste škriljce i II. Masivne metamorfne stene.

Predstavnici kristalastih škriljaca su: 1. Hloritski škriljci, hlorit i kvarc, nsm, poznat termin je zeleni škriljci, jako su rasprostranjeni – u istočnoj Srbiji, Neos Marmarasu (Grčka), Malagi (Španija), centralnoj Mongoliji, ...; 2. Aktinolitški škriljci, amfiboli (aktinolit i tremolit), albit, epidot, coist, kvarc, hlorit, nsm, ima ih na Goliji; 3. Talkni škriljci, talk, serpentinit, nsm; 4. Filiti - jako sitnozrne stene, sericit i kvarc (još hlorit i albit), nastaju od glinaca, pločasti i relativno čvrsti su “krovni škriljci”; 5. Mikašisti, uglavnom liskun muskovit sa ređe biotitom (još disten, silimanit, granati, ...), lako se lome ali su rezistentni prema hemijskim agensima; 6. Gnajsevi, a. ortognajsevi – poreklom uglavnom od granita i b. paragnajsevi – poreklom od peščara i nekih škriljaca,

kvarc, K feldspati, muskovit i biotit – liskuni, granat, staurilit, disten, silimanit, ima ih kod Stalaća, Vršca; 7. Amfiboliti, poreklom su od materijala bazaltoidnih stena, amfiboli, plagioklas, granat, coisit, epidot, hlorit, kalcit, sfen, magnetit, vsm^{[10.2][10.4]}.

II. Predstavnici masivnih metamorfnih stena su: 1. Eklogiti, granat i piroksen (sa Na), još plagioklas i amfiboli, rutil, sfen, kvarc i magnetit, vsm, jako su teške; 2. Granuliti i pored feldspata imaju kvarc i granate, vsm; 3. Mermeri, kalcit i dolomit, nastaju izmenom krečnjaka i dolomita, mogu biti prisutni kvarc, muskovit, grafit, ..., pored belih ima i drugih nijansi pa i crnih; 4. Kvarciti, postali su od kvarcnih peščara, sadrže više od 80% kvarca, koriste se za vatrostalne materijale^{[10.2][10.4]}.

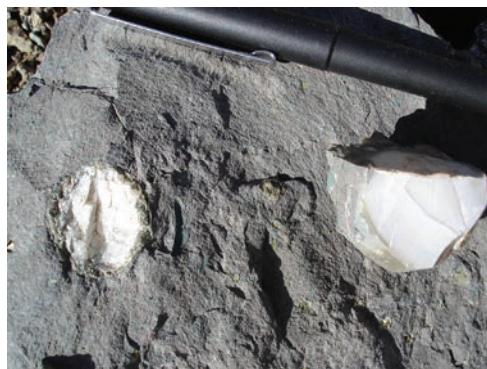
Metamorfiti kontaktnog metamorfizma

Metamorfiti nastali kontaktnim metamorfizmom: 1. Korniti, izgrađeni su od agregata kvarca, kalcita, biotita, muskovita, epidota, albita, hornblende, silimanita, nastaju od glina, karbonata sa kvarcom, dijabaza, bazalta i andezita; 2. Bobičavi škriljci, kordijerit, andaluzit, feldspat, sericit, porfiroblasti – bobice su razvijene u sitnoznoj masi – zato bobičavi; 3. Skarnovi, jako tvrde trakaste – zelenkasto belih nijansi stene. Nastaju obično na kontaktu kiselog intruziva i krečnjaka. Minerali su sastava Ca, Si, Al, Fe, Mg, Mn i drugih, npr.: volastonit, augit, diopsid, hedenbergit, epidot, ^{[10.2][10.4]}... Ima ih na Kopaoniku.

11.4 FOTO-ALBUM



Slika 11.2: Serpentinisani peridotit - sivo, sa belim magnezijским žicama, Zlatibor, (2 m)
(foto B. Vakanjac)



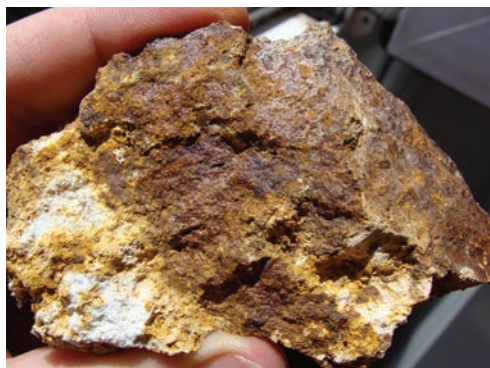
11.3: Bazalt sa šupljinama ispunjenim ahatom (sitnozrni SiO_2), istočna Mongolija
(foto: B. Vakanjac)



Slika 11.4: Crvenkasti granit, jugoistočna Mongolija, K-feldspati - crvenkasto sa zrnima tamno sivog kvarca (12 cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 11.5: Hornblenda andezit, okolina Cerove (12 cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 11.6: Potpuno izmenjeni andezit, okolina Cerove (10 cm) (foto B. Vakanjac)



Slika 11.7: Kuglasto lučenje granita, istočna Mongolija, (foto B. Vakanjac)



Slika 11.8: Granit, centralna Mongolija, (foto B. Vakanjac)



Slika 11.9: Riolit, istočna Mongolija (foto B. Vakanjac)



Slika 11.10: Raspadanje bazalta u pustinjskim uslovima, centralna Mongolija (foto B. Vakanjac)



Slika 11.11: Raspadanje granita - granitni grus Halkidiki, Grčka (blizu Neos Marmarasa), (foto B. Vakanjac)



Slika 11.12: Raspadanje rude bakra u izmenjenim andezitima, Cerova (foto: B. Vakanjac)



Slika 11.13: Permski peščari i konglomerati - ukrštena slojevitost, Stara planina, (foto B. Vakanjac)



Slika 11.14: Donjokredne naslage slabovezanog peščara i konglomerata, grad Sahnšand, jugoistočna Mongolija (foto: B. Vakanjac)



Slika 11.15: Peščar iz šarene serije Stare planine (15 cm) (foto: B. Vakanjac)



Slika 11.16: Jurski grudvasti krečnjak, Stara planina, Rosomački lonci (foto: B. Vakanjac)



Slika 11.17: Slojeviti krečnjaci sa proslojcima laporaca, Stara planina, lokalitet Ponor (foto: B. Vakanjac)



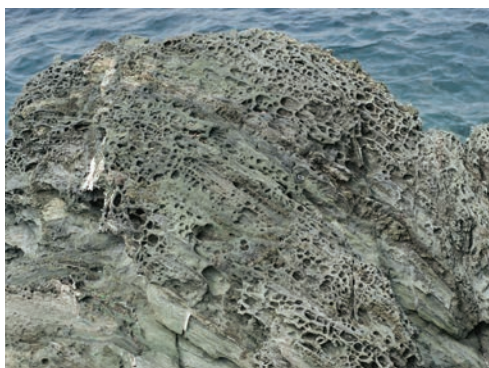
Slika 11.18: Paleozojski meta-alevrolit, centralna Mongolija, (foto B. Vakanjac)



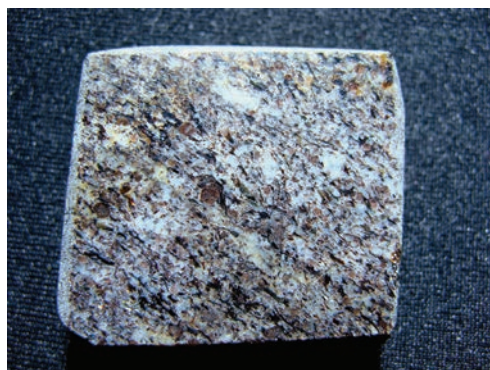
Slika 11.19: Laporac, Popovac kod Paraćina (foto B. Vakanjac)



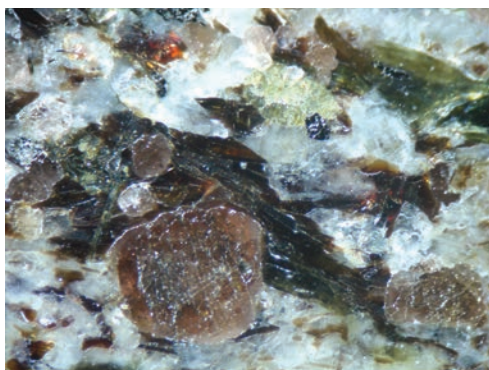
Slika 11.20: Metamorfit - zeleni škrljac, Stara planina, Jelovička reka (foto B. Vakanjac)



Slika 11.21: Morem korodovan zeleni škrljac Halkidiki, Grčka (Neos Marmaras) (foto B. Vakanjac)



Slika 11.22: Granati u metamorfitima Jastrepca
(foto B. Vakanjac)



Slika 11.23: Granati sa biotitom u metamorfitima
Jastrepca - detalj slike 11.22
(foto B. Vakanjac)

Preporučena literatura:

1. Gillen, C., 1982: *Metamorphic Geology: an Introduction to Tectonic and Metamorphic Processes*, London; Boston: G. Allen & Unwin ISBN 978-0045510580
2. <https://slideplayer.com/slide/10150545/>

Reference:

- [11.1] <http://udruga-kalcit.forumcroatian.com/t4-magmatske-stijene>
- [11.2] Đorđević, V., Đorđević, D., Milovanović, D., 1991: *Osnovi petrologije*, Nauka Beograd
- [11.3] Milovanović, D., Boev, B., 2001: *Zemlja, tektonika ploča i magmatizam*, Nauka, Beograd
- [11.4] Best, M. G., 1982: *Igneous and Metamorphic Petrology*, W.H Freeman & Company
- [11.5] Best, M. G., Christiansen, E. H., 2001: *Igneous petrology*, Blackwell Science
- [11.6] Hibbard, M. J., 1995: *Petrography to Petrogenesis*, Macmillan, USA
- [11.7] Gill, J. B., 1982: *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 46 (12): 2688. doi:10.1016/0016-7037(82)90392-1
- [11.8] Marković, M., Pavlović, R., Čupković, T., 2003: *Geomorfologija*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
- [11.9] Protić, M., 1984: *Petrologija sedimentnih stena*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [11.10] Grubić, A., Obradović, J., Vasić, N., 1996: *Sedimentologija*, Univerzitet u Beogradu,

12.

GEOMORFOLOŠKI PROCESI



12. GEOMORFOLOŠKI PROCESI

Geomorfologija je grana nauke koja proučava oblike nastale u reljefu Zemlje. Predmet proučavanja geomorfologije nije samo sam reljef Zemlje, već i proučavanje zakonitosti nastanka (geneza) i razvitka (morfološka evolucija) različitih oblika u reljefu kao i samog reljefa u celini.

Reljef su oblici Zemljine površi koji su u stanju konstantnog menjanja pod dejstvom unutrašnjih i spoljašnjih sila. Reljef određene oblasti predstavlja sveukupnost oblika koji su karakteristični za određeno područje.

Osnovna tri faktora koja utiču na nastanak reljefa su:

- Dejstvo skupa sila (agens);
- Materijal (pacijens - geološka građa);
- Vreme.

Dejstvo sila – budući da granična linija reljefa predstavlja kontakt tri različite sredine, čvrste (litosfera), tečne (hidrosfera) i gasovite (atmosfera), može se zaključiti da je nastanak reljefa uslovljen dejstvom antagonističkih sila svake od ovih sredina.

Materijal – u zavisnosti od materijala, tj. geološke građe terena, određena oblast će biti manje ili više podložna dejstvu različitih sila i faktora koji utiču na razviće reljefa.

Vreme – predstavlja bitan faktor u oblikovanju reljefa. U zavisnosti od dužine trajanja određene sile zavisice i stepen razvića određenog reljefa.

Prema svom poreklu sile mogu biti^[12.1]:

- *Endogene* (unutrašnje): Tektonika ploča i magmatizam imaju najveću ulogu u stvaranju reljefa, prvenstveno tektonski pokreti koji se manifestuju kroz stvaranje planina (orogeneze) i magmatska aktivnost izražena kroz plutonizam i vulkanizam.
- *Egzogene* (spoljašnje): Deluju na površini Zemljine kore, a manifestuju se kroz vajanje i oblikovanje krupnijih geoloških i morfoloških celina.

Kako su endogene sile i procesi objašnjeni u poglavljima o zemljotresima, vukanizmu i petrologiji, ovde ćemo se baviti uglavnom egzogenim silama i procesima.

12.1 ELUVIJALNI PROCES

Eluvijalni proces predstavlja površinsku izmenu stenske mase u kojoj je izgrađen reljef. Eluvijalni proces u suštini predstavlja fizičko-hemijsko raspadanje stena na površini Zemlje.

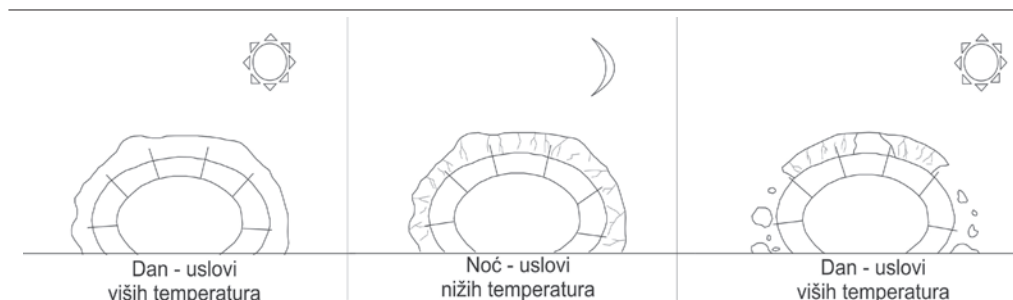
Fizičko – hemijsko raspadanje stenske mase nastaje fizičkim raspadanjem i drobljenjem stenske mase, usled različitih faktora, dok se hemijske izmene manifestuju hemijskim promenama sastava izloženih delova stenske mase. Glavni uzročnik ovih promena izazvan je dejstvom četiri osnovna agensa: **temperатурne razlike, dejstvo atmosferske vode, dejstvo flore i faune, kao i dejstvo ljudskih aktivnosti**^[12.1]. Ovi agensi mogu delovati samostalno, međutim, najčešće deluju kombinovano pojačavajući intenzitet erozije površinskih stena kroz relativno dug vremenski period. Za fizičko – hemijsko raspadanje stena potrebno je vreme, tačnije što je duži vremenski period delovanja ovih sila, to će erozija reljefa biti izraženija.

Eluvijalni proces je prisutan na svim terenima i on predstavlja podlogu za razvoj ostalih geomorfoloških procesa. Ovaj proces se odvija *in situ* (na mestu) stvarajući debele naslage rastresitog materijala na površini Zemlje. Debljina naslaga može biti od centimetarskih do decimetarskih dimenzija. Bitna karakteristika eluvijalnog procesa jeste ta što na površini Zemlje ne dolazi do promene postojećih oblika reljefa, već samo do promene materijala od kog su oblici izgrađeni. Materijal nastao na ovakav način podlozan je delovanju ostalih geomorfoloških procesa, tako da nakon odnošenja materijala ostaje ogoljena matična stena koja je dalje podložna dejstvu eluvijalnih agenasa, pa ceo proces počinje ispočetka. Materijal nastao eluvijalnim procesima naziva se **eluvijum**.

Temperатурne razlike definišu se kao odnos količine toplote koju određeni deo Zemljine površine prima od Sunca i količine toplote koju isti deo emituje (insolacija i radijacija). Odnos insolacije i radijacije najvećim delom zavisi od klimatskih uslova u kojima se određeni deo terena nalazi, kao i od godišnjih doba i temperатурnih oscilacija vezanih za dnevnu i noćnu promenu temperature. Pored osnovnih faktora, temperатурne razlike uslovljene su i nagibom terena, raščlanjenošću reljefa, vlažnošću vazduha itd.

Princip raspadanja stena usled temperатурnih promena bazira se na sistemu naizmeničnog zagrevanja i hlađenja površine reljefa (stenske mase). Prilikom zagrevanja i hlađenja stenske mase dolazi do skupljanja i širenja iste, što je temperатурna razlika veća to će ovaj proces biti brži. Prilikom skupljanja i širenja stenske mase dolazi do slabljenja privlačnih sila unutar stenske mase te ona počinje da se drobi. Na intenzitet raspadanja stena u ovom slučaju veliku ulogu ima i sastav same stenske mase. Različiti minerali imaju različit stepen skupljanja i širenja pri zagrevanju i hlađenju.

Polimineralne stene su podložnije raspadanju od monomineralnih^[12.2]. Stene izgrađene od tamnijih minerala se brže zagrevaju od stena izgrađenih od svetlijih minerala (više reflektuju sunčeve zrake), itd.



Slika 12.1: Površinsko raspadanje stena - temperaturne oscilacije sa mehaničkom eksfolijacijom



Slika 12.2: Raspadanje paleozojskih metamorfita, uzrokovano promenama temperature, pustinja Gobi, Mongolija (foto: B. Vakanjac)

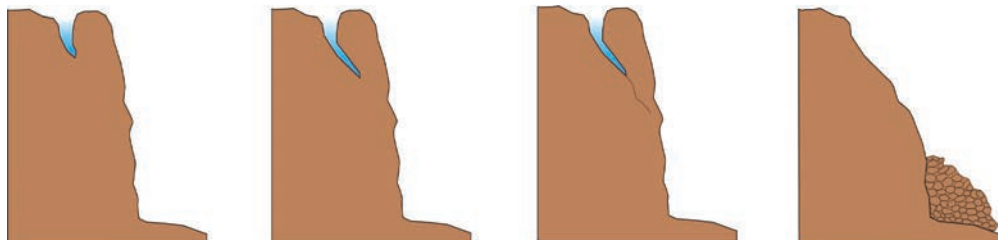


Slika 12.3: Termičko raspadanje paleozojskih metamorfita, uzrokovano promenama temperature, pustinja Gobi, Mongolija - detalj (foto: B. Vakanjac)

Atmosferska voda svoj najveći efekat ispoljava kroz hemijsku izmenu u okviru stenske mase. Delovanjem atmosferskih voda dešavaju se različite hemijske izmene kao što su oksidacija, hidratacija, kaolinizacija itd. Sve ove izmene smanjuju otpornost stenske mase na fizičko raspadanje, te se efekat eluvijalnog procesa pojačava. Delovanje atmosferskih voda omogućava prisustvo različitih pukotina i prslina na stenskoj masi, što je stena više raspadnuta to će efekat atmosferskih voda imati veći učinak.

Flora i fauna imaju izuzetno značajan uticaj na raspadanje površinskih delova Zemljine kore. Pored fizičkih izmena izazvanih rastom korena biljaka ili kopanjem životinja, postoji i značajni hemijski efekti koje flora i fauna izazivaju. Biljke proizvode veliku količinu kiseline, raspadanjem i truljenjem, dok mikroorganizmi izazivaju velike promene u stenskoj masi.

Dejstvo ljudske aktivnosti - gotovo sve antropogene aktivnosti dovode do izmene stenske mase, pogotovo u hemijskom smislu. Otpadne vode, rudna jalovišta i industrijski gasovi samo su neki od primera ispuštanja velike količine izmenjivača hemijskog sastava stenske mase.



Slika 12.4: Površinsko raspadanje stena - eluvijalni proces

12.2 PLUVIJALNI PROCES

Pluvijalni proces je kratkoročnog karaktera, vremenski je jasno ograničen i definisan je momentom udara kišne kapi ili grada o tlo. **Na iznos pluvijalnog razaranja utiče kinetička energija kišnih kapi.** U suštini kinetička energija jedne kapi je zanemarljiva, međutim, kiše velikog intenziteta mogu osloboditi veliku količinu energije i izvršiti znatan rad na površinsku stensku masu. Višestrukim udarima kišnih kapi dolazi do stvaranja velikog broja minikratera i slabljenja zemljišta, te se oslobađa prostor za sledeći značajni proces – proces denudacije^[12.3].

12.3 PADINSKI PROCESI

Grupu padinskih procesa čine tri vremenski i prostorno neodvojiva procesa: deluvijalni, proluvijalni i koluvijalni proces. Zajednička karakteristika ovih procesa jeste ta što su oni vremenski ograničeni i javljaju se u vremenski kratkim intervalima sa višestrukim ponavljanjima.

12.3.1 DELUVIJALNI PROCESI

Deluvijalni proces predstavlja proces površinskog spiranja rastresitog materijala, a nastaje delovanjem povremenih difuznih tokova.

Nastaje kao rezultat intenzivnih atmosferskih padavina ili prilikom naglog otapanja velike količine leda i snega na planinama. Kada rastresiti materijal na površini Zemlje postane zasićen (ne može više da upije vodu), otpočinje slivanje vode i pokretanje

rastresitog materijala ka nižim delovima terena. Ovo kretanje materijala se odvija difuzno, gravitaciono i na celoj površini terena. U početku se deluvijalni proces odvija isključivo proceđivanjem vode kroz eluvijum, međutim, u slučaju dugotrajnih kiša dolazi do stvaranja tankog vodenog pokrivača (vodenog filma), koji se sliva preko površine terena noseći sa sobom rastresiti materijal. Ovim procesom pokreću se samo najsitnije čestice (milimetarskog reda veličine), ali njihovo odnošenje kao posledicu ima gubljenje ravnoteže unutar materijala te i krupnije čestice gube oslonac i počinju svoje gravitaciono kretanje niz padinu.

Transport materijala deluvijalnim procesom ograničen je na period trajanja padavina, a dužina transporta je mala (metarskih do dekametarskih razmera). Akumulacija materijala se vrši na mestima smanjenja nagiba padine ili u njenom podnožju pri čemu ne dolazi do obrade materijala niti njegovog sortiranja po krupnoći. Ovako transportovani materijal naziva se **deluvijum**, i pokriva matičnu stenu na mestu akumulacije.

Deluvijani procesi su usko vezani sa proluvijalnim procesima i ne mogu se prostorno i vremenski razgraničiti. Njihovim zajedničkim delovanjem dolazi do stvaranja deluvijalno – proluvijalne lepeze (zastora) koja umanjuje nagib padine, ali i njenu stabilnost usled akumulacije velike količine rastresitog materijala koji lako može biti ponovo pokrenut.

12.3.2 PROLUVIJALNI PROCES

Proluvijalni proces jeste bujični proces koji nastaje prilikom delovanja povremenih linijskih tokova na nerastvorljivu stensku podlogu.

Ovaj proces često nastaje kao posledica deluvijalnog procesa, kada dođe do akumulacije veće količine vode u manjim ili većim linijskim udubljenjima (nastalim delovanjem difuznih tokova). Akumulacijom vode u ovim depresijama dolazi do povećanja kinetičke energije vode, ubrzanja vode i stvaranja bujičnih tokova, tj. deluvijalni proces postepeno prelazi u proluvijalni stvarajući povremene linijske tokove bujičnog tipa.

Erozija u proluvijalnom procesu se može odvijati **posredno** i **neposredno**, uz pojavljivanje pratećih pojava izazvanih erozijom.

Neposredna erozija nastaje dejstvom same vodene mase na stensku podlogu. Voda, velike kinetičke energije, u koritu povremenih tokova sa sobom pokreće postojeći materijal (nastao eluvijalnim procesom). U slučaju većih bujičnih tokova može doći i do otkidanja matične stenske podloge, čije dimenzije mogu dostići i metarski red veličine.

Posredna erozija predstavlja dejstvo pokrenutog materijala (u vodenoj masi) na stensku podlogu. Materijal koji se nalazi u vodenom telu vrši znatnu eroziju na dno i strane korita kojim se kreće. Ova erozija može biti usmerena **vertikalno**, čime se produbljuje samo korito i **horizontalna** duž strana korita, čime se proširuje korito. Horizontalna erozija predstavlja podlogu za stvaranje novog procesa odronjavanja i kliženja materijala – koluvijalni proces^{[12.1] [12.4]}.

Kod proluvijanog procesa transport materijala se odvija u vodenoj sredini, kratkotrajan je i na malom rastojanju. Materijal je neobrađen do slabo obrađen i slabo klasifikovan po krupnoći. Transport se odvija u samom vodenom telu (lebdenje sitnijih čestica) i vučenjem materijala po dnu korita (krupniji materijal). Akumulacija materijala se vrši na mestima smanjenog nagiba padine, usled čega dolazi i do smanjenja kinetičke energije vode. Akumulacija se najčešće događa u podnožju padine, gde dolazi do mešanja materijala te efekti klasifikacije tokom transporta bivaju poništeni. Ovako transportovan i akumuliran materijal naziva se **proluvijum**^[12.1].

Kod proluvijalnog procesa dolazi do stvaranja **erozionih** i **akumulacionih** oblika. U erozione oblike spadaju **jaruge**, **rdave zemlje (bedlands)** i **zemljane piramide**, dok u akumulacione spadaju **plavinske lepeze** i **deluvijalno – proluvijalni** zastori.

Jaruge se javljaju na padinama i predstavljaju otvorene linearne depresije. Nastajanje jaruga zavisi od postojanja inicijalne depresije, intenziteta padavina, litološkog sastava padine i količine vegetacionog pokrivača. Razvoj jaruga niz padinu je relativno brz proces i može se pratiti tokom ljudskog veka.

Rdave zemlje (bedlands) se pojavljuju u vidu oštih grebena između susednih jaruga, tj. predstavljaju prostor intenzivnog jaružanja.

Zemljane piramide predstavljene su stubovima nepravilnog oblika, različitih visina i širina. Izgrađene su od slabovezanog materijala, a na njihovom vrhu se nalaze blokovi ili ploče od čvršćeg materijala koje štite rastresiti materijal od daljeg osipanja i padavina.



Slika 12.5: Zemljane piramide - Đavolja varoš (foto V. Ristić Vakanjac)

Plavinske lepeze (plavinski konusi) nastaju akumulacijom proluvijalnog nanosa (proluvijuma) u dnu padine ili dolaskom do rečne doline gde povremeni tokovi gube svoj bujični karakter. Materijal se na ovim mestima rasipa i odlaže, te gledajući odozgo ima izgled lepeze.

Deluvijalno – proluvijana lepeza (opisano u delu deluvijalni procesi)

Deluvijalni i proluvijalni procesi najviše su izraženi u uslovima suve aridne klime. Aridna klima se odlikuje velikim temperaturnim kolebanjima, te je eluvijalni proces ovde najizraženiji, a samim tim se stvaraju i velike količine rastresitog materijala koji formira podlogu za razvoj deluvijalnog i proluvijalnog procesa. Takođe, vegetacioni pokrivač ovih oblasti je poprilično oskudan pa se transport i akumulacija materijala lako odvija.

12.3.3 Koluvijalni proces

Koluvijalni proces predstavlja geomorfološki proces koji se odvija pod dejstvom gravitacije^[12.1]. Najčešće je vezan za relativno male prostore (dekameterskih dimenzija) čime se omogućava stvaranje složenih oblika.

Koluvijalnim procesima prethodi stanje prirodne ravnoteže padina i kosina. Međutim, kada se to stanje naruši, iz bilo kog razloga dolazi do razvića koluvijalnog procesa i pokretanja velike količine materijala pod dejstvom gravitacije.

Uzroci nastanka koluvijalnog procesa mogu biti endogenog ili egzogenog karaktera. Kao endogeni uzroci od najvećeg značaja su zemljotresi i vulkanske erupcije, dok u egzogene spadaju praktično svi geomorfološki procesi. Kao poseban vid uzročnika stvaranja koluvijalnog procesa svakako treba izdvojiti delovanje čoveka. Opterećivanjem padina izgradnjom objekata, uvođenjem otpadnih voda, zasecanjem i podsecanjem padina kao i mnogim drugim delatnostima, čovek u velikoj meri utiče na narušavanje ravnoteže padina i stvaranje kolapsionog procesa^[12,5].

Gravitaciona kretanja stenskih masa mogu biti **spora** ili **delapsiona** i **brza** ili **kolapsiona**^[12,5].

Kliženje je sporo i smičuće kretanje blokova po jasno definisanim granicama površi pokrenutog i nepokrenutog materijala.

Kliženje se odvija na relativno ograničenom prostoru, a materijal zahvaćen kliženjem prelazi relativno kratak put, te ne dolazi do klasifikacije materijala.

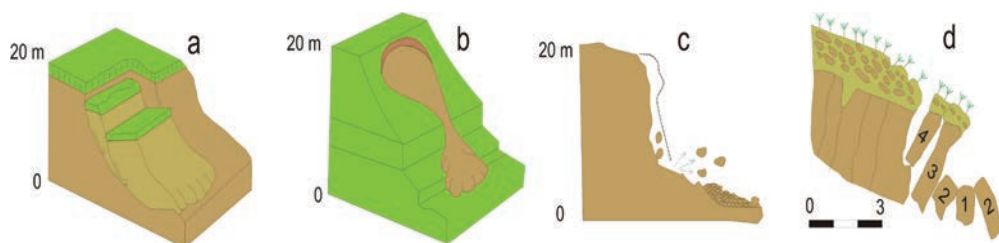
Kliženjem je po pravilu obično zahvaćen samo plitak površinski sloj koji svoj transport započinje prilikom obilnih padavina, kada se voda proceduje kroz rastresiti sloj materijala. Kliženje se dešava kada čestice tipa gline započnu kretanje naniže, do čvrste podloge, stvarajući sloj zaglinjavanja odnosno sloj koji predstavlja površ kliženja. Ovaj sloj je vodonepropusan i predstavlja idealnu podlogu za proces kliženja, kojim u nekim slučajevima mogu biti zahvaćeni i delovi matične stene, ukoliko su izgrađene od pogodnog materijala (gline i laporci). Za ova kretanja nisu potrebni veliki nagibi padina (manje od 10°), a proces kliženja se prekida onog momenta kada se uspostavi ponovna, često labilna, ravnoteža tla. Oblici nastali kliženjem se nazivaju klizišta.

Puzanje, za razliku od kliženja, nema jasno definisanu granicu pokrenutog i nepokrenutog materijala. Puzanje obuhvata veoma plitak sloj rastresitog i nesortiranog materijala (eluvijum ili deluvijum). Najbrže kretanje materijala se odvija na površini, gde je trenje najmanje, a dužina erozije, transporta i akumulacije materijala je izuzetno mala, te se može smatrati da se oni odvijaju praktično na istom mestu. Oblici nastali puzanjem se nazivaju puzišta.

Tečenje predstavlja transport izuzetno nakvašenog, kašastog i viskoznog materijala niz kosinu. Tečenjem je zahvaćen rastresiti materijal krupnoće prašine ili peska, jako natopljen vodom. Kao i kod puženja brzina kretanja materijala opada sa dubinom, a oštre granice između pokrenutog i nepokrenutog materijala nema. Na brzinu tečenja utiču nagib padine i viskoznost natopljenog materijala. Oblici nastali tečenjem nazivaju se tecišta.

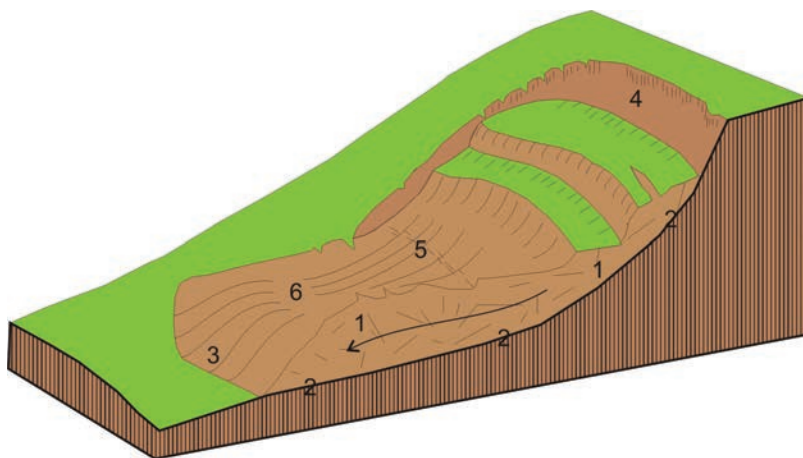
Osipanje predstavlja rotaciono, gravitaciono kretanje pojedinačnih čestica i krupnih komada niz strme odseke, najčešće se zapaža u krečnjačkim sredinama. Pokreti izazvani osipanjem spadaju u grupu brzih ili kolapsionih kretanja. Materijal je po običaju grubo obrađen, ali ne i zaobljen. Brzina kretanja uslovljena je debljinom pokrenutog materijala i nagibom padine niz koju se gravitaciono kreće, a transport materijala može biti i do nekoliko desetina metara na dan. U slučaju cementacije transportovanog materijala nastaju padinske breče. Oblici nastali osipanjem nazivaju se sipari.

Odronjavanje spada u grupu brzih i kolapsionih kretanja, a predstavlja naglo otkidanje i stropoštaivanje materijala pod uticajem gravitacije. Uzroci odronjavanja mogu biti endogeni (zemljotresi) ili egzogeni (potkopavanje – fluvijalni, marinski, proluvijski, glacijalni procesi). Prilikom odronjavanja otkidaju se veliki komadi materijala, transport materijala je od više desetina do stotina metara, a zaobljavanja i klasifikacije po krupnoći nema. Akumulacija materijala je karakteristična u podnožju planine. Oblici nastali odronjavanjem nazivaju se odroni^{[12.1][12.5]}.



Slika 12.6: Tipovi koluvijalnih procesa,
a - krizanje, b - tečenje, c - odronjavanje, d - prevrtanje

Klizišta predstavljaju oblike u reljefu nastala kliženjem. Odlikuju se izrazito talasastim reljefom uz pojavu manjih odseka i naglih promena nagiba. Prema delovima klizišta postoje: ožiljak, uvala, telo klizišta, trbuh, nožica, klizna površina i krila klizišta. **Ožiljak** se odlikuje strmim (ili vertikalnim) odsekom i predstavlja mesto otkidanja i pokretanja materijala. **Uvala** predstavlja depresiju iz koje se materijal pokreće i transportuje u telo klizišta, a nalazi se odmah ispod ožiljka. Najviša tačka klizišta jeste **trbuh** klizišta, a morfološki je prepoznatljiv po svom brežuljkastom obliku, uglavnom metarskih dimenzija. Završetak klizišta, tačnije podnožje klizišta naziva se **nožica**. **Kliznu površ** klizišta moguće je pratiti od ožiljka pa sve do nožice, dok **krila** klizišta predstavljaju granicu pokrenutog i nepokrenutog materijala. Mogu se razlikovati desno i levo krilo klizišta posmatrano sa njegovog vrha^{[12.1][12.5]}.



Slika 12.7: Šematski prikaz delova klizišta

1. telo klizišta, 2. klizna površina, 3. nožica (stopa), 4. čeon ožiljak, 5. uvala, 6. trbuh ^[12.6]

Sipari su najčešće prisutni na strmim padinama i odsecima krečnjačkih terena. U elemente sipara spadaju: točilo, telo sipara i plaz. **Točilo** predstavlja udubljenje niz koji se odlomljeni materijal osipa niz stenu. Nastanak točila uslovljeno je postojanjem razlomne strukture ili pukotine, a ovakvi pokreti se mogu vezati isključivo za kolvijalnu eroziju. Transportovani materijal na podnožju padine akumulira se u vidu konusa koji se naziva **telo sipara**. U slučajevima intenzivnog osipanja niz padinu može doći do spajanja tela različitih sipara, te se ovakve strukture nazivaju **plaz** ^[12.1].



Slika 12.8: Sipar, na putu ka Trenti, Slovenija (foto V. Ristić Vakanjac)

12.4 FLUVIJALNI PROCES

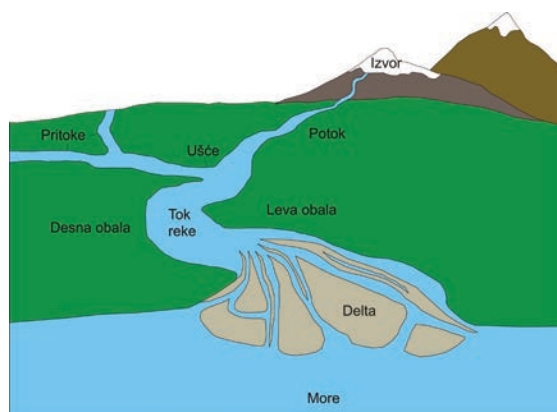
Fluvijalni ili rečni proces je geomorfološki proces izgrađivanja oblika u reljefu radom stalnih vodotokova^[12.1]. Voda, koja na površinu zemlje dospe iz atmosfere ili podzemlja odlikuje se gravitacionim kretanjem prema nižim delovima terena, pri čemu dolazi do formiranja površinskih vodotokova. Formiranje površinskih vodotokova odvija se postepeno, u vidu individualnih struja. Spajanjem individualnih struja formiraju se manji vodotokovi, koji se na svom putu ukrštaju stvarajući sve veće tokove dok se na kraju ne formiraju veća vodena tela, odnosno reke.

Površinski vodotokovi se dele na stalne ili periodične, a kojoj će kategoriji vodotok pripadati zavisi od fizičko-geografskih karakteristika terena i načina prihranjivanja vodotoka. Svi ovi vodotokovi (periodični i stalni) formiraju **hidrografsku mrežu površinskih voda**, dok se sistem stalnog vodotoka naziva **rečna mreža**.

Rečna mreža, u saglasnosti sa karakterom pružanja padova zemljišne površine, deli se na vodene arterije koje se ulivaju u okeane, jezera ili bezvodne pustinjske prostore. Sve reke rečne mreže koje se ulivaju u jednu glavnu reku, zajedno sa njom čine **rečni sistem**.

Rečni sistem obuhvata glavnu reku, zajedno sa njenim pritokama, pritokama njihovih pritoka itd. Reke koje se neposredno ulivaju u glavnu reku nazivaju se pritoke prvog reda. Reke koje se ulivaju u pritoke prvog reda nazivaju se pritoke drugog reda itd.

Mesto gde počinje rečni tok naziva se **izvor**. Početak reke može biti izvor iz podzemlja, lednika, jezera ili močvara. Ukoliko se reka formira od dve manje reke, mesto njihovog spajanja predstavlja **početak nove reke**, ali se za izvor novonastale reke uzima mesto početka duže reke. U tom slučaju postoje dve dužine reke: **hidrografska** (dužina reke od najudaljenijeg izvora) i **dužina date reke**.



Slika 11.9: Glavni elementi jednog rečnog sistema

Mesto ulivanja reke u drugu reku, more ili jezero naziva se **ušće**. Prilikom ulivanja reke u drugu reku ili jezero može nastati više rukavaca, te se za ušće uzima mesto ulivanja najvećeg rukavca, dok se kod delti ušćem smatra ulivanje osnovnog rukavca. U nekim rejonima, gde je isparavanje i poniranje izraženo, može doći do gubitka vode na njenom putu, tako da voda ne dospe do mora, jezera ili okeana. Mesto završetka takvog vodotoka naziva se **slepim ušćem**.

Površina sliva predstavlja površinu rečnog sliva okonturena površinskim vododelnicama. Fizičko-geografske karakteristike sliva imaju bitan uticaj na proces formiranja rečnog oticaja u slivu, a u njih spadaju^[12.7]:

- **Geografski položaj** sliva određen je geografskim koordinatama između kojih se on nalazi. Podaci o geografskom položaju ukazuju na to kakav je prostorni položaj razmatranog sliva u odnosu na druge slivove, postojeće planinske masive i sl.
- **Klimatski (meteorološki)** uslovi predstavljaju najvažniji faktor koji utiče na vodni režim. Meteorološki faktori obuhvataju ukupne padavine i njihov režim, prostorni raspored temperature vazduha i vlažnost vazduha.
- **Geološka građa, zemljište i hidrogeološke karakteristike** u slivu određuju karakter i količinu podzemnih voda, gubitke padavina na infiltraciju, pojavu močvara i sl.
- **Reljef** utiče na količinu, karakter i raspodelu padavina u rečnom slivu, temperaturu vazduha i uslove oticanja sa slivne površine.
- **Vegetacioni pokrivač** u slivu definiše se osnovnim podacima o vidu vegetacije i njenoj rasprostranjenosti. Važno je znati gde se nalazi šumska vegetacija (u gornjem, srednjem ili donjem delu sliva ili u oblasti vododelnice, doline reke i sl.), stepen poljoprivredne aktivnosti, urbanizacije i dr.

Fluvijalni proces predstavlja jedan od najrasprostranjenijih i najznačajnijih geomorfoloških procesa na kopnu, i važan je genetski faktor za izgradnju reljefa. Tekući po površini zemlje u pravcu najvećeg pada, pod uticajem Zemljine teže rečni tokovi formiraju sopstvene oblike reljefa – **fluvijalne oblike**.

Osnovna karakteristika fluvijalnog procesa je ta da je on razvijen na veoma velikom području, proces je neprekidan i dugotrajan, razvija se na površini terena prema određenim pravcima i izrazito je linijskog karaktera.

Glavni agens fluvijalnog procesa je kinetička energija stalnih vodotokova. Budući da se radi o velikim količinama vode, kao i o značajnim brzinama njenog toka, kinetička energija vode je izuzetno velika te se vrši znatan rad na matičnu stenu. Mehanizam procesa obuhvata **eroziju, transport i akumulaciju**.

Fluvijalna erozija se manifestuje u tri vida: **neposredna, posredna erozija i prateće** (izazvane) pojave. **Neposredna erozija** predstavlja osnovni vid razaranja postojećih oblika. Pri kretanju vodene mase dolazi do pokretanja rastresitog materijala i otkidanja matične stene iz korita kojim se reka kreće. **Posredna erozija** se vrši materijalom pokrenutim tokom neposredne erozije. Pokrenuti stenski materijal se vuče po dnu ili se nosi kao lebdeći i predstavlja moćan alat koji deluje na čvrstu stensku masu preko koje protiče. **Prateće** pojave genetski pripadaju grupi padinskih procesa. Proluvijani i deluvijalni procesi imaju najveću ulogu u prenošenju materijala koji se povezuje sa materijalom stalnih vodenih tokova, koji se dalje transportuje i akumulira. Sem toga, od velikog značaja su i koluvijalni pokreti (kliženje, odronjavanje) koji su posledica potkopavanja padina dejstvom fluvijalne erozije.

Fluvijalna erozija ima dve osnovne komponente: vertikalnu i bočnu eroziju. **Vertikalna** (dubinska) erozija manifestuje se usecanjem vodotokova u topografsku površinu Zemlje, a dominantna je pri većim padovima, tj. pri izvorišnim delovima reke. **Bočna** (lateralna) erozija teži proširivanju rečnog korita i rečne doline, a dominantnija je u rejonima sa nižim padom u donjim delovima sliva. Ove dve komponente erozije se javljaju zajedno dužinom celog toka gde postoji erozija, a koja će od njih biti dominantnija zavisi od postojećih padova u rečnom koritu.

U principu, neposredna erozija deluje prvenstveno kao vertikalna, posredna erozija deluje i vertikalno i bočno, dok prateće, izazvane pojave deluju bočno, s efektima ublažavanja nagiba dolinskih strana.

Transport materijala je dugotrajan i neprekidan i odvija se na velikim dužinama. Transport se obavlja vučenjem, tj. kotrljanjem materijala po dnu vodotoka, ili njegovom suspenzijom, tj. lebdenjem u vodenoj masi. Način prenosa materijala zavisi od kinetičke energije vodotoka i krupnoće materijala, a usled navedenih karakteristika materijal se tokom transporta obrađuje, zaobljava i fino izdvaja po krupnoći.

Akumulacija fluvijalnog materijala uslovljena je kinetičkom energijom vodotoka i uslovi- ma reljefa. Delovi vodotoka sa velikom energijom smenjuju se sa dužim ili kraćim delovima reke gde vodotok usporava, a kinetička energija vode se smanjuje. Pri smanjenju energije dolazi do akumulacije najkrupnijeg vučenog nanosa i prelaska jednog dela lebdećeg materijala u vučeni. Međutim, pri ponovnom povećanju energije, vučeni sitniji materijal prelazi u lebdeći, a prethodno odloženi krupniji materijal biva ponovo pokrenut kao vučeni materijal. Postepenim opadanjem kinetičke energije vodotoka obavlja se i akumulacija materijala. Ovako nastao materijal je obrađen, zaobljen i veoma dobro klasifikovan po krupnoći.

Količina vode i hidraulički režim vodotoka se tokom vremena menjaju, te često dolazi do pojave smenjivanja krupnijeg i sitnijeg materijala. U takvim slučajevima moguće je jasno uočiti granicu između materijala različite krupnoće.

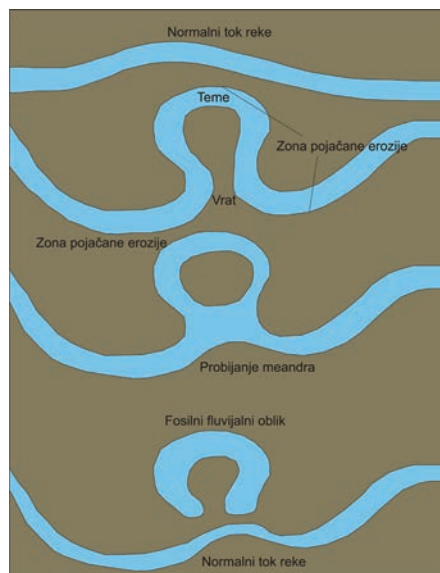
U klasifikaciji fluvijalnih erozivnih oblika reljefa izdvajaju se: rečno korito, rečna dolina, rečna terasa, fluvijalni pod, fluvijalna površ i pinelep.

Rečno korito je najkarakterističniji oblik fluvijalnog procesa. Usečeno je u pravcu najvećeg pada zemljine površine i ima karakterističan olučasti oblik. To je u suštini deo rečne doline kroz koji protiče rečni tok. Veličina i oblik rečnog korita se mogu menjati duž jednog toka, a ove promene uslovljene su količinom vode koja protiče, fizičkim i hemijskim karakteristikama tla, kao i brzinom vodotoka.

Kod rečnog korita, u morfološkom smislu, možemo razlikovati dno i strane korita. Dno predstavlja podinski deo korita i na njemu se zapažaju raznolika udubljenja i uzvišenja. Udubljenja u koritu nastaju dejstvom vertikalne erozije i turbulentnim kretanjem vodenog toka, dok su uzvišenja izgrađena od otpornijih stena i ostaju u vidu prečaga nakon odnošenja rastresitog, mekšeg materijala. Strane korita predstavljaju delove korita između dna i obala.

Minor korito predstavlja stalno korito vodotoka (aktivno tokom cele godine), a karakterističan je protok malih i srednjih voda. Prilikom pojave velikih voda dolazi do izlivanja vode iz minor korita u inudaciju (područje oko prirodnog korita vodotoka), pri čemu dolazi do formiranja korita za propuštanje velikih voda koje se naziva **major korito**.

Oblik i dimenzije rečnog korita mogu biti različite, a zavise od proticaja i vertikalne/horizontalne erozije. Mali padovi i brzine vode uslovljavaju pojavu relativno plitkih i širokih rečnih korita, i obrnuto. Dubina rečnog toka može da varira od decimetarskih razmera pa čak i do sto metara dubine kod većih reka.



Slika 12.10: Proces od normalnog toka, formiranja meandriranja reke pa do ispravljanja rečnog toka ^[12.8]

Prema načinu pružanja, rečna korita mogu biti linearna i meandarska. Linijska korita imaju skoro pravolinijski pružanje, dok meandarska korita vijugaju u obliku slova S. Meandarska korita nastaju prilikom skretanja matice prema jednoj obali i pojačavanjem dejstva bočne erozije. Na suprotnoj obali dejstvo bočne erozije slabi te je obala blaže nagnutna od one koju napada matica. U procesu erodovanja i potkopavanja obale napadnute maticom korito se pomera bočno u vidu luka. Kod meandra razlikuju se teme (lučni deo) i vrat meandra (mesto gde se uzvodni i nizvodni deo meandra skoro dodiruju). Vremenom dolazi do probijanja meandra čime se rečni tok ispravlja, a teme meandra ostaje kao fosilni fluvijalni oblik.

Kao specifični morfološki elementi rečnog korita, poprečno na smer kretanja vodotoka, razlikuju se prečage i odseci. Oni predstavljaju niske prelome na kojima se javljaju brzaci i slapovi.

Slapovi predstavljaju niz manjih odseka u vidu stepenica preko kojih se preliiva voda stvarajući veći broj brzaka. Prilikom stvaranja strmih odseka, u rečnom koritu formiraju se vodopadi. U genetskoj klasifikaciji vodopadi se mogu podeliti na **tekton-ske** (vezani za odseke rasednog porekla), **erozioni** (nastaju potkopavanjem mekših stena u podini, a preko njih u povlati leže otpornije stene) i **akumulativni** (vezani za krečnjačke terene gde se akumulira bigar). U rečnom koritu, prilikom velikih brzina vode i kovitlanja vodene mase, može doći do formiranja džinovskih lonaca (bunarasta udubljenja u stenovitom materijalu). Pojava džinovskih lonaca najčešća je u dnu vodopada, mada se može pojaviti i na ostalim delovima rečnog korita.

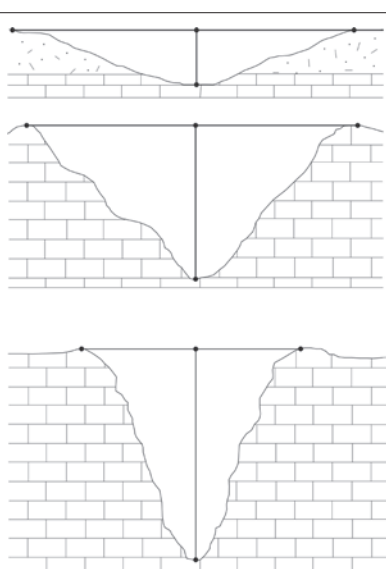
Rečna dolina predstavlja elementarni oblik fluvio-denudacionog reljefa nastao usecanjem rečnog korita u topografsku površinu i širenjem njenih strana denudacionim procesom. U morfološke elemente rečne doline spadaju **dno** (u njega je usečeno rečno korito) i **strane** (izdižu se dna u vidu odseka ili blagih padina). Osnovni faktor nastajanja rečne doline je delovanje vertikalne i bočne erozije.

Izgled rečne doline se može razlikovati, a zavisi od padova uzdužnog rečnog profila i međusobnog uticaja bočne i vertikalne erozije. Vertikalna erozija izražena je kod profila sa većim padom, te rečne doline poprimaju oblik slova „V“, aluvijalne ravni često nisu prisutne u ovakvim predelima. Nasuprot tome, bočna erozija dominira kod profila manjeg pada, te se formiraju rečna korita u obliku slova „U“.

Normalne doline predstavljaju relativno plitko usecanje vodene mase u stensku podlogu, a odlikuju se širokim uravnjenim dnom i blago nagnutim konkavnim dolinskim stranama.

Prilikom dubokih usecanja rečnih dolina, naročito uz prisustvo rasednih struktura, razvijaju se **klisure**. Ove pojave su vezane za planinske predele i visoravni.

Kanjoni nastaju u slučaju duboko usečenih klisura u stensku masu. Odlikuju se gotovo vertikalnim stranama, a dno im je svedeno na širinu rečnog toka. Prisutni su u oblastima izloženim relativno mladim tektonskim pokretima.



Slika 12.11: Tipovi rečnih dolina: normalna (gore), klisura (u sredini), kanjon (dole)

Rečne terase su oblici erozionog fluvijalnog reljefa. Prepoznaju se kao zaravni u vidu stepenica usečenih u strane rečne doline. One predstavljaju zaostale delove nekadašnjih jako proširanih dna dolina i od izuzetnog su geomorfološkog značaja. Visina rečnih terasa označava se u relativnim visinama, tj. visinom terase u odnosu na rečni tok. Kod velikih i duboko usečenih dolina visina im može dostići i preko 100 m.

Površina rečnog sliva obuhvata površinu jednog rečnog sistema okonturenog vododelnicama. Područje zemljine površine, uključujući i dubinu zemljišta kroz koje se reka hrani, naziva se **sistem rečnog sliva**, a on u sebi uključuje **površinske** i **podzemne** slivove.

Površinski sliv obuhvata deo zemlje sa koje se voda sliva u rečni sistem ili određenu reku. Dva susedna površinska sliva međusobno su razdvojena **površinskim vododelnicama**, koje prelaze preko najviših tačaka između dve susedne reke, a vezane su za delove sliva izgrađene od vododrživih stena.

Podzemni slivovi međusobno su odvojeni **podzemnim vododelnicama**, koje se ne poklapaju sa površinskim. U praksi je veoma teško odrediti podzemne vododelnice, te se uglavnom operiše sa površinskim slivovima. Međutim, korišćenjem površinskih vododelnica i površine sliva definisane na ovaj način, u aridnim terenima i terenima izgrađenim od krečnjaka mogu se javiti velike greške koje za posledicu imaju loše definisane parametre bilansa.

Piraterija je pojava preuzimanja uzvodnih rečnih tokova slabijih reka od strane jačih vodotokova. Prilikom piraterije dolazi do promene u reljefu i stvaranja fosilne doline (bez hidrografske funkcije) u basenu starog rečnog sliva. Piraterija može biti bočna (najčešća), čeona (u planinskim oblastima) i kontaktna (u ravničarskim predelima).

Bifurkacija se uglavnom pojavljuje u nizijskim ili močvarnim delovima rečnog toka. Mehanizam funkcionisanja je deljenje rečnog toka na dva različita sliva. U ovakvim slučajevima vododelnica se nalazi u nizini, umesto na uzvišenim delovima terena.

Prilikom fluvijalnog procesa nastaju i akumulacioni oblici kao posledica nagomilavanja rečnog materijala (drobina, šljunak, pesak i glina). U ove oblike spadaju: plavine, rečna ostrva, delte, aluvijalne ravni i akumulativne rečne terase.

Plavine predstavljaju kupasta uzvišenja nastala od nanosa rečnog materijala u podnožju dolinskih strana, gde postoje strma korita bočnih pritoka. Prilikom izlaska na zaravan glavne reke, brzina vode opada (samim tim i transportna moć) akumulirajući veliku količinu nanosa u vidu plavine. Materijal u plavinama je klasifikovan prema veličini zrna, te se najsitniji materijal akumulira u donjim delovima plavine, pa sve krupniji posmatrano na gore.

Rečna ostrva ili ade predstavljaju oblike akumulacije nastale nagomilavanjem rečnog nanosa u koritima velikih ravničarskih reka, malog pada i koje sa sobom nose velike količine rastresitog materijala. Akumulacija nanešenog materijala nastaje opadanjem brzine rečnog toka u vidu podvodnog spruda, koji kroz duži vremenski period narasta stvarajući rečna ostrva ili ade. Nastajanje rečnih ostrva najčešće je vezano za periode visokih vodostaja, kada rečni tok nosi velike količine peskovitog i muljevitog materijala.

Rečna delta predstavlja karakteristični oblik ušća većih reka u jezera, mora i okeane. Akumulacija, kao i u prethodnim slučajevima, se vrši prilikom opadanja transportne moći vodotoka. Delte su skoro horizontalne, a prilikom njihovog nastajanja karakteristično je račvanje reke u više rukavaca. Ovaj vid akumulacije je neprekidan i uslovljava stalno širenje i pomeranje delte (kopna) na račun mora.

Aluvijalne ravni su prostrane nanosne ravnice oko rečnih korita. Karakterišu se uravnenim dnom širokih rečnih dolina, a izgrađene su od rečnog nanosa. Najčešće se pojavljuju u donjim tokovima reka ili na mestima malih padova i izražene bočne erozije.

Akumulativne rečne terase nastaju na isti način kao i obične rečne terase, s tim što se usecanje vodotoka vrši u sopstvenim nanosima reke. Razlika između akumulativnih i erozivnih terasa je u tome što su erozivne usečene u stenovitu podlogu, dok su akumulativne izgrađene u sopstvenom rečnom nanosu. Akumulativne terase se javljaju u donjim tokovima gde su padovi mali, a nagomilavanje rečnog materijala izraženo^{[12.1][12.3][12.4]}.

12.5 GLACIJALNI PROCES

Glacijalni proces jeste proces koji nastaje u uslovima niskih temperatura delovanjem leda, snega i mraza u polarnim oblastima ili područjima visokih planina. Razlikuju se tri vida glacijalnog procesa: **nivacioni** proces nastao delovanjem snega, **kriogeni** nastao delovanjem mraza i **dejstvo leda u užem smislu**. Iako je glacijalni proces vremenski ograničen ostavlja za sobom karakteristične oblike i jasno uočljive promene u reljefu. Površinu razvoja glacijalnog procesa određuje **snežna granica**, tj. visinska zona iznad koje bilans insolacije i radijacije negativan.

Na razvoj glacijalnog procesa utiču temperaturne promene i mehaničko dejstvo snega i leda. Pokretanje snežnog pokrivača odvija se postepeno, otapanjem snega na površini i stvaranjem novog snežnog pokrivača iznad otopljenog sloja, čime se povećava ukupna debljina snežnog pokrivača. Povećavanjem debljine snežnog pokrivača dolazi do povećanja pritiska i prekrystalizacije donjih slojeva snega koji se naziva **snežnik** (firn).

Ovako prekrystalisan sneg, pri daljem dejstvu povećanog pritiska prelazi u led koji počinje da se otapa, te dolazi do tečenja donjih slojeva i oslobađanja pritiska. Na ovaj način mogu nastati ogromne mase leda.

Ovako pokrenuti led naziva se **lednik** ili **glečer**. Lednici imaju izuzetno veliku kinetičku energiju, ali i uprkos tome kretanja su relativno spora. Na strmim padinama može doći do povećanja kinetičke energije u snegu, te oburavanjem snega niz padinu nastaju **lavine**.

Osnovni činioci glacialnog procesa su erozija materijala, njegov **transport** i **akumulacija**. Erozija se može podeliti na **neposrednu eroziju** – pokretanje stenskog materijala u telu lednika, i **posrednu eroziju** – koju vrše otkinuti komadi stenske mase. Izazvane pojave najčešće se ispoljavaju u vidu koluvijskog procesa, a specifičan vid pratećih pojava predstavlja **soliflukcija** (tečenje tla).

Transport materijala prilikom glacialnog procesa se može obavljati po površini lednika, u njegovom telu ili u podini lednika. Transportovan materijal nije sortiran po krupnoći, a do blage obrade materijala dolazi samo u slučaju prenošenja materijala u podini lednika ili po njegovim stranama. Materijal može biti krupnoće gline pa sve do blokova metarskih dimenzija, a karakteriše se uglastim komadima i oštih je ivica. Za vreme hladnijih perioda, kinetička energija lednika je velika (lednici su snažniji i brzi), te se transportuje veća količina materijala, dok se u toplijim periodima kinetička energija leda smanjuje, a samim tim i transportna moć lednika. Iz ovoga se može zaključiti da se akumulacija materijala odvija skokovito, te se ona vrši dužinom celog lednika, po njegovim stranama i dnu lednika.

Prema načinu i mestu razvića, izdvajaju se dva osnovna tipa lednika: pokrovni tip i alpski tip. **Pokrovni** (kontinentalni) tip lednika rasprostranjen je u polarnim oblastima, a izgrađen je od velikog ledničkog pokrivača. **Alpski** (dolinski) tip lednika karakterističan je za područja visokih planinskih oblasti, a nastaju u dolinama nekadašnjih reka. Ostaci inicijalnog reljefa koji zaostaju nakon dejstva erozije su *rezidualni oblici*.

Osnovne erozije oblike alpskog tipa lednika čine cirk i valov, dok se kod pokrovnog tipa pojavljuju mutonirane stene i strije.

Cirk predstavlja amfiteatralno udubljenje i mesto na kome se formira dolinski lednik. Odlikuje se strmim stranama i blago zatalasanim tlom. Uglavnom je metarskog reda veličine, sa jednom otvorenom stranom. Nastaje usled postojanja inicijalne depresije, tj. čelenke nekadašnjeg vodotoka.

Valov (ledničko korito) predstavlja prostor kojim se lednik kreće. Posmatrajući poprečni profil valova, njegove strane su strme, a dno široko i zaravnjeno. Najčešće nastaje na mestima nekadašnje rečne doline i zamenjuje je. Na dnu valova česta pojava su depresije, međusobno odvojene uzvišenjima metarskih do dekametarskih visina. Nakon povlačenja lednika ove depresije se ispunjavaju vodom, te postaju jezera.

Ledničko rame nastaje na obe strane valova, i može se pratiti celom njegovom dužinom. Predstavlja terasastu zaravan dekametarskog reda veličine. Nastaje neposrednom i posrednom glacijalnom erozijom, a rezultat su sezonskog kolebanja nivoa leda u ledniku.

Mutonirane stene predstavljaju stenske mase metarskih do dekametarskih širina i dužina, a metarskih visina. Nastaju posrednom i neposrednom obradom usled glacijalne erozije, a nalaze se na dnu valova. Njihov naziv je izveden od francuskog termina *roche moutonnée*, što bi značilo kovrdžava stena. Naziv je izabran zbog toga što reljef, pokriven ovim stenama, podseća na polje na kome se nalaze ovce.

Kod glacijalnog procesa česta pojava su i **strije**, koje su predstavljene zarezima na poliranim površinama. Prelazeći preko poliranih površina, lednik materijalom koji nosi, zadire u njih i ostavlja uske brazde, milimetarske dubine i širine.

Kao rezidualni glacijalni oblici (ostaci nekadašnjeg reljefa) ostaju oštri vrhovi i nazubljeni grebeni kod alpskog tipa lednika, dok kod pokrovnog tipa lednika ostaju nunataci.

Svi akumulacioni oblici glacijalnog procesa nazivaju se **morene**. Morene predstavljaju brežuljke od rastresitog materijala, a specifičnih su sedimentoloških karakteristika veza-nih za materijal od kog su izgrađene. Mogu se razlikovati aktivne i napuštene morene.

Aktivne (pokretne) morene nastaju pri aktivnom glacijalnom procesu. Budući da su još uvek aktivne, njihov položaj i oblik se menja u reljefu. Prema svom obliku mogu se razlikovati površinske, unutrašnje i podinske morene.

Površinske morene izražene su na površini lednika. Transport materijala može se vršiti po stranama lednika, te u tom slučaju one se nazivaju bočne morene, dok transportovani materijal po sredini lednika označava središnje morene. Površinske morene su najvećim delom zastupljene kod lednika alpskog tipa, dok su kod pokrovnog tipa lednika veoma slabo razvijene.

Unutrašnje morene formiraju se u unutrašnjosti lednika. Znatno deo materijala koji se transportuje potiče sa površine lednika, međutim, materijal može dospeti i otkidanjem sa strana valova. U slučaju velikih lavina, prilikom pokretanja snega i pokrivanja površinskih morena takođe mogu nastati unutrašnje. Pojava unutrašnjih morena vezuje se isključivo za alpski tip lednika.

Podinske morene nastaju otkidanjem i pokretanjem materijala prilikom prelaska lednika preko stenovite podloge. Debele naslage leda izazivaju velike pritiske, te je stenski materijal podinskih morena veoma sitan.

Posle povlačenja lednika transportovan morenski materijal ostaje napušten i deponovan u vidu staloženih morena. Prema mestu odlaganja na prostoru nekadašnjeg lednika, razlikuju se čeone, bočne i podinske morene. Karakteristične pojave, vezane za ledeni pokrivač čine eratički blokovi, drumlini, ozari, eskeri i kamovi.

Čeone morene nalaze se u podnožju nekadašnjeg lednika. Ovakav materijal se transportuje dužinom kretanja celog lednika, a ima izgled bedema najčešće srpastog oblika. **Bočne** morene nastaju odlaganjem materijala paralelno stranama valova, u vidu niskih bedema. Na njima često dolazi do akumulacije koluvijalnog materijala, usled njegovog odronjavanja. **Podinske** morene se formiraju na dnu valova, a predstavljene su sitnim, nepravilno raspoređenim materijalom.

Eratički blokovi predstavljaju stenovite blokove metarskih do dekametarskih dimenzija. Ovi oblici pojavljuju se kod oba tipa lednika, a njihov litološki sastav ne odgovara sastavu sredine u kojoj se nalaze.

Drumlini predstavljaju zaobljene bregove, izdužene u jednom pravcu sa izrađeno blagim nagibom u pravcu kretanja leda. Njih izgrađuju fino-zrni sedimenti podinskih morena.

Ozari predstavljaju uske, izdužene grebene nastale od nekadašnjih podinskih morena. Nastaju erozijom mekog i rastresitog materijala.

Eskeri su predstavljeni zmijolikim grebenima, a vezani su za sedimentaciju materijala podledničkim tokovima vode.

Kamovi nastaju delovanjem vode kroz uske pukotine u ledu. Predstavljene su brežuljcima ili niskim pravolinijskim grebenima, izgrađenim od delimično obrađenog i klasifikovanog materijala.

Silaskom ispod snežne granice, lednik počinje da usporava i da se otapa, stvarajući jezera čime otpočinje novi geomorfološki proces, koji se naziva glaciolimnički proces. O slučaju proboja morenskih brana (koje uslovljavaju nastanak jezera) formiraju se linijski vođeni tokovi te počinje dejstvo glaciofluvijalnog procesa^{[12.1][12.3][12.4]}.

12.6 MARINSKI PROCES

Marinski - predstavlja geomorfološki proces koji nastaje delovanjem velikih stajaćih voda. Pod stajaćim vodama se podrazumevaju veće vodene mase koje nemaju stalan smer kretanja – okeani, mora i jezera. Marinski proces u sebe uključuje dva procesa: obuhvata **marinski proces u užem smislu**, delovanjem mora i okeana, i **limnički proces**, koji predstavlja geomorfološke procese uslovljene dejstvom jezera^[12.1].

Iako stajaće vode pokrivaju najveću površinu na Zemlji (71%), dejstvo marinskog procesa ograničeno je na uzak priobalni deo, tj. zonu kontakta kopna i mora. Kroz istoriju Zemlje raspored mora i kopna se više puta menjao, te se često daleko od obale mogu naći marinski oblici reljefa.

Opšte karakteristike marinskog procesa su razvijene u uskim priobalnim područjima kontakta mora i kopna, ovaj proces je stalan i dugotrajan, a vremenom menja nivo. Agens marinskog procesa čini kinetička energija stajaćih (uslovno rečeno) voda. Ove „stajaće“ vode su u neprekidnom kretanju, koje se obavlja u vidu talasa, plime i oseke i morskih struja.

Talasi predstavljaju najznačajniji vid prenosa energije sa jednog kraja vodene površine na drugi. Talasi mogu nastati pod dejstvom vetra, ali i usled endogenih aktivnosti. Prosečna visina talasa, nastalih delovanjem vetra, može iznositi 3 – 4 m, ali mogu dostići i visinu od 10 – 20 m. Oscilatorno kretanje talasa se može osetiti do dubine od oko 10 m. Najveću snagu ovi talasi imaju u priobalnom delu, gde oscilatorno kretanje vode prelazi u horizontalno, te talas velikom snagom udara u obalu menjajući njen izgled. Endogeni uzroci nastanka talasa su podmorske vulkanske erupcije i zemljotresi čiji se epicentar nalazi na morskom dnu. Ovi talasi imaju veliku kinetičku energiju, na otvorenom moru su neprimetni, dok u blizini obale mogu dostići visinu od 30 do 40 metara. Ovakvi talasi se nazivaju cunami i mogu u velikoj meri izmeniti izgled reljefa obale. Međutim, u poređenju sa hiljadugodišnjim delovanjem običnih talasa, cunami talasi imaju veoma malu razornu moć.

Plima i oseka deluju isključivo u priobalnom regionu. Nemaju nikakvu razornu moć, ali u velikoj meri utiču na premeštanje i obradu materijala nastalog pod dejstvom talasa.

Morske struje se kreću daleko od obala, te imaju veoma malo ili nikakvo dejstvo pri marinskom procesu.

Neposrednu eroziju (abraziju) obavljaju talasi udarom o stensku masu. Pri tome su najveći pritisci u oblasti direktnog udara, koja se naziva **mlat**. Pod takvim pritiskom se razara stenska masa, i onaj deo koji je pripremljen fizičko-hemijskim procesima raspadanja, kao i matična stena koja nije bila izložena nikakvim uticajima.

Pored fizičko-hemijske pripreme stenske mase na razaranje u velikoj meri utiče i nagib pod kojim se stenska masa nalazi. Kod slojeva koji su okrenuti ka obali erozija će biti manje izražena nego kod slojeva koji su horizontalni ili okrenuti ka moru.

Transport materijala, pri marinskom procesu, obavlja se na taj način što se talasi nakon udara o stensku masu i vršenja erozije, povlače i sa sobom nose otkinuti materijal, tj. transportuju ga. Prilikom ponovnog kretanja talasa ka obali materijal se ponovo pokreće. Transport se vrši lebdenjem materijala u vodenoj masi ili njegovim vučenjem po dnu, na taj način dolazi do klasifikacije materijala po krupnoći. Dugotrajnim delovanjem talasa vrši se obrada i zaobljavanje materijala.

Akumulacija materijala događa se kada talas izgubi svoju kinetičku energiju. Sav materijal je obrađen, zaobljen i sortiran po krupnoći. Usled delovanja plime i oseke, ciklusi pojavljivanja talasa se obnavljaju a samim tim se akumulirani materijal ponovo pokreće i obrađuje^{[12.1][12.3]}.

12.7 EOLSKI PROCES

Eolski proces nastaje aktivnošću vetrova, zahvaljujući sposobnosti vetra da oblikuje površinu Zemlje. Vetrovi vrše eroziju, transport i akumulaciju materijala, a predstavljaju dominantne agense u regionima sa retkom vegetacijom i velikom količinom nekonsolidovanih sedimenata. Eolski proces je značajan, pogotovo u aridnim oblastima kao što su pustinje, tj. njegov značaj se ispoljava u oblastima u kojima ostali procesi nisu naročito izraženi.

Aridne oblasti se odlikuju velikim temperaturnim kolebanjima te je eluvijalni proces na ovim prostorima izuzetno izražen, takođe ove razlike u temperaturi izazivaju razlike u pritiscima i uslovljavaju formiranje snažnih strujanja vazduha – vetrova. Aridne oblasti se takođe odlikuju najnižim sumama padavina, u nekim slučajevima nema padavina i po nekoliko godina, te je izraženo odsustvo vegetacije i velika izloženost raspadnutog i usitnjenog materijala delovanju vetrova.

Kretanje vazduha, kao agensa eolskog procesa, je trodimenzionalno i sadrži horizontalnu i vertikalnu komponentu. Osnovna odlika vetra jeste ta da je on stihijskog karaktera, nastaje spontano, duva u naletima menjajući intenzitet i pravac kretanja, a takođe i prestaje spontano. Erozivni i akumulativni oblici eolskog reljefa izrađuju se u različitim pustinjskim oblastima. Pustinje predstavljaju morfološke celine eolskog reljefa aridnih oblasti. U morfogogenetskoj klasifikaciji izdvajaju se kamenite (hamade), peskovite (ergovi), plinovite (takiri) i šljunkovite (seriri) pustinje.

Deflacija (izduvavanje i odnošenje najsitnijeg materijala) i korazija (proces struganja, obrade i poliranja stenske mase česticama koje vetar nosi) imaju najvećeg udela u nastanku oblika u reljefu eolskom erozijom.

Osnovni oblici nastali deflacijom su saćaste stene i deflacione depresije. **Saćaste stene** nastaju od zrnastih stena heterogenog mineralnog sastava (peščari, graniti). Nejednako širenje i skupljanje minerala utiče na gubitak veza između minerala, te usled naleta vetra odnose se zrna materijala i formiraju neravne saćaste strukture. **Deflacione depresije** su plitke, zatvorene depresije, tanjirastog do koritastog oblika, nastale izduvavanjem rastresitog materijala.

Korazijom, u kombinaciji sa deflacijom nastaju manji oblici u reljefu kao što su: eolska potkapina, pečurkasti oblici, prerasti i jordanzi. **Eolske potkapine** predstavljaju polupećine nastale zasecanjem pri dnu strmog stenovitog odseka. **Pečurkasti oblik** (gur) nastaje obradom donjih delova izolovanih stenskih blokova, pri čemu oni dobijaju pečurkasti oblik. **Prerasti** nastaju stvaranjem potkapina na uskim grebenima. Produbljivanjem ovih potkapina vremenom se formiraju prozori. **Jordanzi** predstavljaju žljebove i brazde nastale u pravcu duvanja dominantnog vetra.

Akumulacioni oblici ovog procesa su ventifakti (drajkanteri), pustinjske kore i ergovi (peskovite pustinje). **Drajkanter** svojim oblikom podseća na dve dnom spojene trostrane piramide. Nastaje na taj način što snažni vetrovi vuku odlomke stena po površini terena obrađujući jednu njegovu stranu. Kada odlomak naiđe na neku prepreku okreće se, te se obrada vrši na sledećoj strani odlomka, sve dok se sve tri strane ne obrade. **Pustinjska kora** nastaje na zaravnjenim pustinjskim predelima odakle su vetrovi odneli sitnozrni materijal (pesak i prašinu). **Erg** je prostor u kome se akumuliraju velike količine peska. Ove mase peska se mogu formirati u vidu peščanih pokrova (razvijeni na velikim površinama) ili dina (u vidu peščanih bedema metarskih do kilometarskih dužina, širina i visina).

Kao poseban produkt eolske akumulacije stvara se **les**, porozna, trošna stena izgrađena od sitnih čestica gline, feldspata, kvarca i kalcijum karbonata. Usled delovanja vetra dolazi do akumulacije ovih čestica i stvaranja lesnih naslaga. Les poseduje veliku poroznost i obilje vertikalnih pukotina bez jasno izražene stratifikacije. Prilikom izloženosti lesa vodi (tokom kišnog perioda) dolazi do rastvaranja kalcijum karbonata i njegovog odlaganja u vidu konkrecija u unutrašnjosti lesa. Ovakvi oblici se nazivaju lesne lutkice^{[12.1][12.4][12.5]}.



Slika 12.12: Gur (pečurkasti oblik), jugoistočna Mongolija (foto B. Vakanjac)



Slika 12.13: Dina, jugoistočna Mongolija, Adermag (foto B. Vakanjac)

Preporučena literatura:

1. Larry, D. Stetler, D. L., 2014: *Geomorphology*
https://www.researchgate.net/publication/260363052_Geomorphology
2. Menković, Lj., 2011: *Detaljna geomorfološka karta Bela Palanka 1:100 000*
<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-3593/2011/0350-35931102001M.pdf>
3. Nikić, Z., Pavlović, R., 2012.: *Hidrogeologija sa geomorfologijom*, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd

Reference:

- [12.1] Marković, M., Pavlović R., Čupković T., 2003: *Geomorfologija*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [12.2] Hall, K., 1999: *The role of thermal stress fatigue in the breakdown of rock in cold regions*, *Geomorphology*, Volume 31, Issues 1-4
- [12.3] Petrović, D., Manojlović, P., 2003: *Geomorfologija*, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
- [12.4] Anđelčić, M., 1990: *Geomorfologija*, Vojnogeografski institut, Beograd
- [12.5] Pešić, L., 2001: *Opšta geologija – Egzodinamika*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd
- [12.6] Yamagishi, H., Lopez, R. M., 2018: *TXT-tool 1.081-3.1 Landslide Recognition and Mapping Using Aerial Photographs and Google Earth*, in book *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*
- [12.7] Dukić D., Gavrilović Lj., 2008.: *“Hidrologija”*, Zavod za Udžbenike, Beograd
- [12.8] <https://www.geol.umd.edu/~tholtz/G102/lectures/102fluvial.html>

13.

KARSTNI PROCESI



13. KARSTNI PROCESI

Karstni procesi svakako da spadaju u geomorfološke procese. Razlog zašto su ovde izdvojeni kao zasebno poglavlje je činjenica da oblici nastali radom karstnog procesa po svojoj specifičnosti, lepoti i unikalnosti su najvećim delom zaštićeni i smatraju se objektima geonasleđa.

13.1 POJAM KARSTA I KARSTIFIKACIJE

Oblasti kod kojih se javlja karakterističan površinski i podzemni reljef nastao kao posledica rastvaračkog dejstva vode na karbonatne stene uz prisustvo određenih geoloških, tektonskih, hidrogeoloških i hidroloških uslova, u našoj literaturi nazivamo sa više termina kao što su: karst, kras, krš, ... Termin karst je prvenstveno geomorfološkog značenja jer potiče od geografskog pojma vezanog za područje u graničnom delu Slovenije prema Italiji (*Craso*), a koji je kasnije germanskom transformacijom zadobio konačan naziv - karst. Ovaj termin - termin karsta je i internacionalnog karaktera.

Karstifikacija podrazumeva kompleks geoloških procesa koji razaraju rastvorljive stene formirajući na površini specifičnu morfologiju, a u podzemlju specifičan tip poroznosti, tj. specifične hidrološke uslove. Faktori od kojih zavisi sam proces karstifikacije su:

- postojanje rastvorljive stene,
- tektonski pokreti i površinsko raspadanje stena,
- prisustvo rastvarača - vode.

13.1.1 STENE U OKVIRU KOJIH SE JAVLJA PROCES KARSTIFIKACIJE

Od rastvorljivih stena u kojima se javlja proces karstifikacije mogu se izdvojiti krečnjaci, dolomiti, evaporiti i mermeri.

Krečnjaci nastaju taloženjem u morima, jezerima, rekama i na kopnu. Najintenzivnije stvaranje je na dnu mora, mada duboka voda nije odlučujući faktor za njegovo formiranje. Utvrđeno je da se najčistiji krečnjaci obrazuju u plitkovodnim sredinama, odnosno da su to tople, plitke, relativno mirne vode gde se dno mora sporo ali neprestano spušta. Počev od ordovicijuma koralni imaju znatnu ulogu u stvaranju krečnjaka. Koralski sprudovi zahtevaju specifične uslove da bi nastali a to je plitko i toplo more, velika pokretljivost talasa što dovodi do toga da je voda bogata kiseonikom.

Iz tog razloga oni predstavljaju staništa za veliki broj morskih organizama. U morima i okeanima, tokom višemilionskog trajanja umiranja i izumiranja određenih vrsta i taloženja njihovih skeleta dovelo je do formiranja sedimenata velikih debljina od kojih su kasnije se formirali krečnjački masivi. Mnogi krečnjaci karakterišu se dominacijom ostataka jedne vrste organizama. Poznati su krinoidski krečnjaci paleozojske starosti, brahiopodski krečnjaci paleozoika i starijeg mezozoika, rudistni krečnjaci jurske i kredne starosti i foraminiferski krečnjaci tercijarne starosti.

Dolomiti su stvoreni uglavnom promenom krečnjaka posle njegovog stvaranja, tj. dolomitizacijom, mada mogu biti direktno oboreni iz morske vode, naročito tamo gde je salinitet visok. Dolomitizacija se može obaviti u bilo kom krečnjaku mada je utvrđeno da su sitnozrni krečnjaci osetljiviji prema dolomitizaciji od krupnozrnih. Smatra se da se dolomitizacija najintenzivnije odvija u delovima gde je voda najtoplija. Dolomiti se javljaju u svim geološkim periodama mada su najviše zastupljeni u prekambrijumu i starijem paleozoiku, odnosno, poznati su dolomiti ordovicjske starosti. Takođe, mnogi mezozojski krečnjaci oblasti Alpa su pretežno dolomitični. U dolomitima su fosili retki a razlog je taj što je mali broj organizama mogao da bude nastanjen u morskoj vodi visokog saliniteta, dok je pri dolomitizaciji dolazilo često do uništavanja čak i tragova postojećih fosila.

Evaporiti predstavljaju grupu sedimenata nastalih taloženjem soli iz koncentrisanih rastvora. Iz razloga što se koncentracija postiže isparavanjem - evaporacijom, ove naslage i nazivamo evaporitima. Među njima su najčešći:

- gips - $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- anhidrit - CaSO_4
- kuhinjska so (halit) - NaCl
- karbonatni sedimenti: travertin, bigar, kališa, oolitni karbonati.

Najčešće objašnjenje taloženja evaporita vezano je za manje ili jače plavljene površine u aridnim oblastima sa ograničenom ili periodičnom vezom sa morem. Ovim se voda izgubljena isparavanjem može nadoknaditi. Klimatske promene, stalna ili povremena veza evaporitnog bazena sa morem utiče na prirodu i smanjivanje evaporita. Redosled taloženja vrsta evaporita iz plitkih vodenih površina koje se isušuju isparavanjem, uslovljeni su hemijskim sastavom sistema voda - so. U morskoj vodi se kalcit i dolomit talože prvi, zatim anhidrit, a nakon njega redom halit, polihalit i dr. soli. Međutim, promene u temperaturi i salinitetu tokom samog procesa isparavanja mogu dovesti do obrnutog redosleda taloženja. Krajnji stadijum isušivanja kod većine evaporita nije dostignut kada se talože najrastvorljivije soli kalcijuma i magnezijuma. Većina naslaga iz tog razloga sadrži samo gips i anhidrit, i možda kamenu so. A da li će se taložiti gips ili anhidrit prvenstveno zavisi od temperature, odnosno do $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ taloži se gips, a preko ove temperature stvara se anhidrit.

Iz tog razloga zbog temperaturnih promena dolazi do čestih prelaza jednog u drugi sediment. Kamena so je zastupljena u mnogim geološkim periodama i to u slojevima čija debljina varira od nekoliko cm do stotina metara. Najčešće se javlja u asocijacijama sa drugim solima i sonim sedimentnim tvorevinama.

Mermeri su vidljivo prekrystalisane karbonatne stene, i prvenstveno su izgrađeni od kalcita, ili kalcita i dolomita. Nastaju kontaktnim ili regionalnim metamorfizmom.

13.1.2 ULOGA TEKTONIKE I POROZNOSTI U PROCESU KARSTIFIKACIJE

Proces karstifikacije zavisi i od poroznosti koju u genetskom smislu možemo podeliti na primarnu i sekundarnu. Primarna je singenetskog porekla, odnosno obrazuje se istovremeno sa taloženjem stena. Ova poroznost je praktično bez većeg značaja iz razloga što je čine mikropore i prslina nastale između karbonatnih zrna ili ljuštura organizama koja su se istaložila u vodenim basenima. Znatno značajnija za proces karstifikacije je sekundarna poroznost, koja nastaje naknadno, i čine je pukotine, kaverne, karstni kanali i pećinski sedimenti. Najčešće je posledica tektonskih pokreta, nabiranja i rasedanja. Kao posledica ovoga, dejstvom bočnih pritisaka na istaložene horizontalne slojeve krečnjaka dolazi do njihovog savijanja i ubiranja, odnosno, dolazi do procesa istezanja (tenzije), sabijanja (kompresije) i uvijanja (torzije). Posledica pomenutog je formiranje niza pukotina i prslina. Pukotine se mogu javiti i duž ravni slojevitosti, dok su tektonski pritisci i pokreti uzrok formiranja raseda.

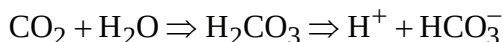
Krečnjaci i dolomiti su relativno krte stene, a intenzivnim tektonskim pokretima dolazi do njihove dezintegracije i formiranja guste mreže razloma i pukotina koje omogućavaju pristup vode i u dublje delove karstnog masiva. Ovim ne samo da se omogućava i ubrzava proces karstifikacije, već dolazi i do njegovog usmeravanja. Uzrok nastanka pukotina može biti različit. Međutim, bilo da su tenziona pukotine, pukotine relaksacije ili pukotine nastale usled egzogenih procesa, sve one čine gustu, jako isprepletenu mrežu pukotina koje sprovode površinsku vodu u dublje delove stenske mase. Kretanje kroz ove pukotine je uglavnom pod dejstvom gravitacije.

13.1.3 PRISUSTVO RASTVORLJIVE STENE I RASTVARAČA - VODE

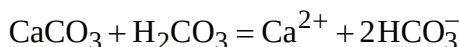
Od svih stena koje su podložne rastvaranju, tj. procesu karstifikacije, najrasprostranjenije su karbonatne stene prvenstveno krečnjaka, zatim dolomita, njihovih međusobnih prelaza i mermera. Čist krečnjak sadrži uglavnom preko 95% minerala kalcita (CaCO_3) i do 5% dolomita (mešoviti karbonat kalcijuma i magnezijuma - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

dok ostali sadrže određeni procenat drugih minerala, pa razlikujemo: laporovite, glinovite, bituminozne, dolomitične, peskovite, i dr. krečnjake. Međutim, bitno je naglasiti da što su čistijeg sastava, to su podložniji procesu karstifikacije.

Čista destilovana voda vrlo malo rastvara kalcijum karbonat (na temperaturi od 8.7°C postiže se zasićeni rastvor čija koncentracija iznosi 10 mg/l, pri temperaturi od 16°C postiže se 13 mg/l, dok na 25°C samo 14.3 mg/l. Dakle čista voda u prirodi nije glavni nosioc rastvaranja karbonatnih stena. Glavni uzrok njihovog rastvaranja je prisustvo ugljene kiseline koja dolazi u dodir sa stenom, a nastaje reakcijom ugljendioksida i vode.



Ugljendioksid samo jednim svojim delom reaguje sa vodom gradeći ugljenu kiselinu (0.5-1% od ukupne količine CO_2). Dejstvo ugljene kiseline na krečnjak, odnosno kalcijum karbonat može se napisati hemijskom reakcijom:



odnosno ovom reakcijom nastaje rastvoran kalcijumbikarbonat koji je mobilan, dakle na ovaj način rastvoren kalcijumbikarbonat se odnosi dalje, odnosno iznosi iz karstnog masiva.

Prema P. Kunaveru samo iz pećine "Planinska Jama" karstne vode iznesu godišnje oko 302.000 tona rastvorenog krečnjaka, što odgovara zapremini od približno 118.000 m³ praznog prostora ostalog u zemlji. Takođe, sličnim proračunima bavili su se i N. Milojević, B. Filipović i N. Dimitrijević, koji su sračunali da preko karstog vrela sa $Q = 3.75 \text{ l/s}$ voda u toku 34 godine iznese 2 466 tona suvog ostatka.

Sam proces karstifikacije započinje hemijskim delovanjem, odnosno rastvaranjem i odnošenjem rastvorenog kalcita (proces korozije). Ovim dolazi do proširenja pukotina koje vremenom prelaze u kanale manjih, a potom i većih dimenzija, i time formiraju predisponirane pravce kretanja podzemnih voda. Ovim proširivanjem kanala omogućava se stenskoj masi da može znatno više da primi rastvarača - vode, pa samim tim dolazi do stvaranja uslova za turbulentni režim kretanja podzemnih voda. Kada nastanu ovi uslovi dolazi do pojave procesa erozije, tj. voda noseći materijal sa sobom abraziono deluje na zidove predisponiranih puteva. Iz tog razloga su česta odlamanja i obrušavanja većih masa stena. Dubina karstifikacije od lokacije do lokacije može biti veoma različita. Tako na primer prema podacima P. Milanovića, u bivšoj Jugoslaviji je utvrđeno dubinskim bušenjem prisustvo karstifikovanih stena na dubinama od 2236 m, tj. oko 1600 m ispod nivoa mora (bušotina u Nikšićkoj Župi). Ovde treba naglasiti da oštra granica između karstifikovanih i ne karstifikovanih stena ne postoji, već najčešće imamo prelaznu zonu kod koje ovaj proces nije izražen, a naziva se još i baza karstifikacije.



Slika 13.1: Razvoj procesa karstifikacije u okviru masivnog krečnjaka, park Antequera, Španija
(foto: V. Ristić Vakanjac)

13.2 POVRŠINSKI KARSTNI OBLICI

13.2.1 POVRŠINSKI MIKRO OBLICI

Površinski mikro oblici su karakteristični za delove ogoličenog karsta, a posebno su prisutni na istaknutim planinskim grebenima. Od mikro oblika značajniji su: škrape, muzge, kamenice, itd. **Škrape** se formiraju prvenstveno u krečnjacima i to bankovitim, a nastaju kao posledica korozionog dejstva vode koja se sliva po manje ili više nagnutoj ogoljenoj površini krečnjaka. Najčešće su međusobno paralelne i otvorene a njihov položaj je generalno uslovljen pravcem slivanja površinske vode niz ogoljene padine. Ove škrape nazivamo još i **rebrastim škrapama** a sastoje se od uskih žljebova (maksimalno decimetarskih dimenzija) između kojih se nalaze oštri grebeni - čebelji. Ukoliko se škrape formiraju u okviru subhorizontalnih delova karstnih površina tada se ovi oblici razvijaju po mreži postojećih pukotina koje mogu da se međusobno ukrštaju i presecaju. Ovakvo razviće škrapa nazivamo **mrežastim škrapama**. Kod mrežastih škrapa, dubine žljebova mogu dostići i metarske dimenzije i značajne su za prihranjivanje podzemnih voda ^{[13.1][13.2]}.



Slika 13.2: Škrape, levo rebraste škrape, desno mrežaste škrape (foto: V. Ristić Vakanjac, na putu za Strač, okolina Trebinja)

Na karstnim površinama koje su malog nagiba ili su subhorizontalne mogu se formirati i **kamenice**. Kružnog su oblika a mogu biti santimetarskih do metarskih dimenzija. Na samom početku nastaju kao mala udubljenja u kojima se površinska voda zadržava, a koja u kasnijim fazama proširuje ove mikro oblike.

I na kraju, ukoliko su škrape plitke i široke sa ostrim čebeljima ove škrape nazivamo još i **muzgama**.



Slika 13.3: Kamenice zapunjene crvenicom, park Antequera, Španija (foto: B. Vakanjac)

13.2.2 VRTAČE

Vrtače su jedan od najpoznatijih morfoloških oblika karsta. Odlučujući faktor za njihovo obrazovanje je rastvaračko dejstvo voda i prisustvo veće koncentracije izukršanih pukotina i raseda. Delovi u kojima dolazi do ukrštanja pukotina i raseda imaju povećanu infiltraciju atmosferskih padavina i površinskih voda tako da na ovim mestima dolazi do intenzivnijeg rastvaranja materijala i njegovog odnošenja. Kao posledica ovoga formiraju se udubljenja najčešće levkastog oblika ^{[13.1][13.2]}. Levkaste vrtače su vrtače čiji poluprečnik je približno jednak dubini vrtače ($r \approx h$). Pored ovog tipa vrtača razlikujemo i vrtače tanjirastog oblika ($r \gg h$) koje nastaju u slabije rastvorljivim krečnjacima i dolomitima. Njihovo dno je uglavnom zaravljeno i prekriveno crvenicom i često se ove površine koriste za poljoprivrednu proizvodnju malobrojnog stanovništva koje tu obitava. Postoje i vrtače bunarastog oblika kod kojih je dubina znatno veća od poluprečnika vrtače ($r \ll h$). Ove vrtače se uglavnom javljaju u presečnim tačkama subvertikalnih raseda. U Srbiji ove vrtače nazivaju se još i propasti. Najveći broj ovog tipa vrtača nalazi se na Valožju, Suva planina.

Dna vrtača su obično zapunjena slabije rastvornim materijalom od koga se obrazuje rastresiti obradivi sloj obično obogaćen mineralima gvožđa (crvenica ili *terra rosa*), koja su obrasla vegetacijom. U periodima intenzivnih padavina dolazi do provaljivanja dna vrtača, o čemu svedoče i pojave замуćivanja karstnih vrela u periodima visokih voda. O slučajevima kada su debljine naslaga crvenice znatno veće, ovo je onemogućeno, pa dolazi do formiranja bara, lokvi, pa i jezeraca. Ovo je naročito česta pojava u zonama kontakta karsta i paleozojskih škriljaca u centralnim delovima masiva.

Vrtače mogu biti i linearno orjentisane u slučajevima kada prate podzemni tok, a ukoliko je krečnjačka površ pokrivena velikim brojem vrtača koje su razbacane bez nekog pravila pojavljivanja ili jedan deo može biti linijski postavljen, a između vrtača postoje samo uske pregrade poput sedla, ove oblasti nazivamo boginjavim karstom ^{[13.1][13.2]}. Kod nas boginjavi karst je prisutan u okviru Lelićkog karsta a javlja se i u okviru karstnog platoa Samanjac (istočna Srbija).

Dimenzije vrtača mogu biti različite, od svega nekoliko metara u prečniku pa do džinovskih razmera. U Hrvatskoj iznad grada Bakra (neposredna blizina Rijeke) nalazi se vrtača Ponikva koja ima prečnik oko 800 m a dubinu oko 200 m. U neposrednoj blizini ove vrtače nalazi se još jedna čiji je prečnik oko 700 m u okviru koje se javlja periodično jezero. U Nikšićkom polju nalazi se elipsasta vrtača Norin koja ima dužinu 600 m, širinu 450 m i dubinu 160 m.

Vrtače mogu nastati i prolamanjem tavanica u kavernama i karstnim kanalima.



Slika 13.4: Klasična vrtača (levo), vrtače u nizu (desno), Lelić (foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 13.5: Ortofoto satelitski snimak - boginjavi karst, Lelički karst (1200 m x 800 m) - Google Earth

13.2.3 UVALE

Uvale su u suštini velike vrtače uglavnom nepravilnog oblika sa prečnikom od 500 do 1000 m pa i više, i dubinom većom od dubine normalnih vrtača. Njihova dna su retko ravna, već su po njima rasejane mnogobrojne vrtače. Često se javljaju na dnu suvih, napuštenih rečnih dolina karakterističnih za karst, odnosno postojeće vrtače se javljaju u linijskim nizovima. Uvale su, dakle, zatvorene depresije većih dimenzija, elipsastog oblika u kojima se mogu javiti i kraći površinski tokovi. U Srbiji, npr. u oblasti Kučaja i Beljanice registrovane su sledeće uvale: *uvala Rečke Žagubičke* (890 mnv) nalazi se na istočnom delu Beljanice, *uvala Planinica* (600 mnv) se nalazi na severozapadnoj Beljanici i blago je nagnuta prema žagubičkoj kotlini, *uvale Rečke* (1050 mnv) - nalazi se oko 3 km severno od najvišeg vrha Beljanice i predstavlja početak skaršćene doline paleotoka Krupajske reke. *Uvala Busovate* (1000 mnv) nalazi se na oko 4 km istočno od vrha Beljanice. Ova uvala je zaštićena od 1975. godine kao strogi prirodni rezervat.



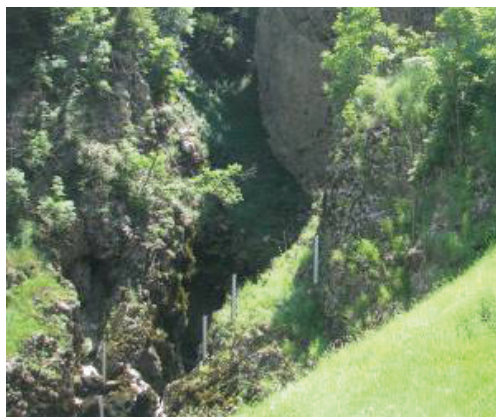
Slika 13.6: Uvala, slikano sa puta za Strač, Trebinje, BiH (foto: V. Ristić Vakanjac)

13.2.4 KARSTNA POLJA

Karstna polja su regionalne depresije koje mogu biti višekilometarskih dužina i širina. Ovo su najveći geomorfološki oblici u karstnim terenima. Nastanak kraških polja vezuje se za endogene procese, odnosno ovi oblici su nastali tektonskim spuštanjem terena nakon čega je finalno oblikovanje karstnih polja izvršeno karstnim procesom dok kod manjih karstnih polja značajno učešće u oblikovanju polja ima i fluvijalni proces. Osnovna karakteristika većine polja je da na hipsometrijski višem delu karstnog polja postoje stalna ili povremena karstna vrela od kojih se formiraju rečni tokovi, koji vijugajući i tekući kroz karstno polje dolaze do najniže hipsometrijske tačke karstnog polja gde se nalaze uglavnom ponori ili ponorske zone i gde ovaj tok ponire. Ukoliko je kapacitet poniranja tokom godine uvek manji od proticaja rečnog toka koji ponire, u zoni ponora će se formirati stalno jezero. Ukoliko je samo tokom kišnih perioda proticaj rečnog toka veći od kapaciteta poniranja ponora onda će se formirati povremeno jezero koje plavi najniže delove karstnog polja. I ukoliko je kapacitet poniranja uvek veći od proticaja rečnog toka neće dolaziti do formiranja jezera. Zbog pomenutog, sa hidrološkog odnosno hidrogeološkog aspekta karstna polja mogu biti suva, periodično ili stalno plavljena. Jedan od najvećih ponora u dinarskom kršu je ponor Biograd u okviru koga ponire reka Zalomka. Maksimalni kapacitet gutanja ponora je $110 \text{ m}^3/\text{s}$. Tokom leta reka Zalomka presušuje, a voda ostaje samo u virovima koji su bitni za opstanak riba. Tokom kišnog perioda proticaj ove reke može biti znatno veći od maksimalnog kapaciteta gutanja ponora Biograd tako da se formira jezero dubine i preko 10 m. Slika 13.7 prikazuje najnižu kotu ponora Biograd, dok na slici 13.8 se može videti sistem vodomernih letvi postavljen na način da se može pratiti nivo jezera koje se formira u toku kišnog perioda.



Slika 13.7: Ponor Biograd, sa vodomernim letvama na kojima se osmatraju samo najniže kote jezera koje se formira u toku kišnih perioda (foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 13.8: Ponor Biograd, sa sistemom vodomernih letvi uz pomoć kojih se osmatraju kote jezera do njihovog maksimuma (foto: V. Ristić Vakanjac)

Jedno od poznatijih karstnih polja je i Popovo polje kroz koje protiče Trebišnjica - reka ponornica. Pre izgradnje brana Gorica i Grančarevo na reci Trebišnjici, odnosno pre regulacije svetski poznate ponornice, veći deo Popovog polja je bio plavljen vodama Trebišnjice jer je proticaj reke u proseku 253 dana bio veći od kapaciteta poniranja ove reke. Iz tog razloga se pre regulacije ove reke mogao gajiti u Popovom polju samo kukuruz stodanac, odnosno kukuruz koji je za 100 dana uspevao da sazri jer je u proseku oko 100 dana tokom godine Popovo polje bilo nepotopljeno.

Generalno, karstna polja su karakteristična za oblast dinarskog karsta (Nevesinjsko polje, Popovo, Gatačko, Fatničko, Livanjsko, ...), dok u Srbiji karakter pravog karstnog polja ima jedino oblast Divljakovca u donjem toku Resave i njene desne pritoke Kločanice. Divljakovačko polje se nalazi na nadmorskoj visini od 840 m u obliku trougla sa bazom pravca SZ-JI. Ukupna površina polja iznosi oko 50 km². U literaturi će se naći da je Odorovačko polje najveće karstno polje u Srbiji, međutim, formiranje ovog polja nije uslovljeno tektonikom tako da se ne svrstava u ovu morfološku kategoriju površinskih karstnih oblika.



Slika 13.9: Karstno polje: levo - deo Popovog polja slikano iz pravca ulaza u pećinu Vjeternicu, desno - Ljubomirsko polje slikano sa vrha planine Leotar (foto V. Ristić Vakanjac)

13.2.5 SUVE REČNE DOLINE

U okviru karstnih terena, na samom početku kada je započinjao proces karstifikacije, bili su formirani površinski tokovi. Vremenom, procesom karstifikacije dolazilo je do spuštanja erozionog bazisa što je imalo za posledicu da rečni tokovi pojačavaju svoju vertikalnu eroziju čime su nastali kanjoni, klisure, uklješteni meandri. U jednom trenutku, u karstnim masivima u okviru kojih je izražena karstifikacija, dolazi do poniranja do tada postojećih površinskih tokova čime rečne doline ostaju suve. Iz ovog razloga u okviru karstnih masiva postoji u potpunosti odsustvo površinskih tokova ili ukoliko postoji onda je drenažna mreža izuzetno slabo razvijena. Sa druge strane postoji veći broj suvih rečnih dolina.

Jedna od najpoznatijih suvih rečnih dolina je kanjon Lazareve reke ili samo Lazarev kanjon. Ovaj kanjon nalazi se u istočnom Kučaju i predstavlja jednu od najlepših suvih rečnih dolina. Ujedno je i najdublji i najduži kanjon istočne Srbije a nastao je usecanjem Lazareve reke koju formiraju rečni tokovi centralnog Kučaja: Mikulj, Demizlok i Klencuš. Sva tri toka nastaju na paleozojskim škriljcima, koji dalje tekući ka istoku poniru odmah na kontaktu paleozojskih škriljaca sa krečnjačkim stenama. Samo u periodima otapanja snežnog nanosa duž Lazareve doline javlja se vodeni tok. Kanjon je ukupne dužine oko 9 km i dubine od 300 do 500m. Dolinske strane kanjona su skoro vertikalne a u najužem delu kanjona dolinske strane su udaljene svega 7 m. Kanjon je zaštićen još 1949. godine kao spomenik prirode, a 2005. godine je proglašen objektom geonasleđa Srbije. U okviru zaštićenog prostora nalazi se preko 70 pećina od kojih je svakako najznačajnija Lazareva pećina dostupna i turistima, pećina Vernjikica je bila opremljena za turiste ali su električni kablovi za osvetljenje ove pećine pokradeni tako da je trenutno mogu posetiti samo dobro opremljeni speleolozi. Tu su još i pećina Hajdučica, Mandina pećina, Dubašnička jama i mnoge druge.



Slika 13.10: Kanjon Zlatske reke (foto: V. Ristić Vakanjac)

13.2.6 PRERASTI (KAMENI MOSTOVI)

Kameni mostovi ili prerasti su prirodni lukovi ili prirodni mostovi i spadaju u grupu redih morfoloških oblika. Mogu nastati urušavanjem krovnih delova pećina odnosno predstavljaju ostatke nekadašnjih pećina koje su se prirodnim procesima najvećim delom urušile. Pretpostavlja se da mogu nastati i dejstvom voda na stensku masu. Kod ovih slučajeva delovi stenske mase podložne raspadanju bivaju odnešene putem vode, dok čvršći i otporniji delovi stenske mase ostaju formirajući kamene mostove. Prerasti koje se nalaze na teritoriji naše zemlje su nastale uglavnom urušavanjem tavanica nekadašnjih pećina. U Srbiji imamo prerasti Vratne (Mala, Velika i Suva prerast), zatim prerast Zamne (Rajska prerast), prerast Samar, Osanička prepast, prerast u Dobroselici, itd. Zbog svoje atraktivnosti kao i retkosti, ovi morfološki oblici su uglavnom zaštićeni objekti.



Slika 13.11: Prerast Samar (foto: V. Ristić Vakanjac)

13.2.7 HIDROLOŠKE POJAVE (OBJEKTI)

Karstna vrela predstavljaju snažne izvore koji se javljaju uglavnom po obodu karstnih masiva na kontaktu sa stenama koje mogu biti uslovno bezvodne ili manje poroznosti. Mogu biti stalni, povremeni i submarinski. Stalni izvori su izvori kod kojih je kota isticanja uglavnom vezana za kote regionalnog erozionog bazisa a dreniraju sisteme kanala i kaverni većih razmera. Povremena karstna vrela se nalaze na kotama iznad regionalnih erozionih bazisa, izdašnost je nepostojana u toku godine i aktivna su u toku kišnih perioda. Submarinska vrela su vrela koja dreniraju kanalske sisteme koji se nalaze ispod kote nivoa mora. Karstna vrela prema mehanizmu isticanja mogu biti silazna (gravitaciona) i uzlazna (voklijska).

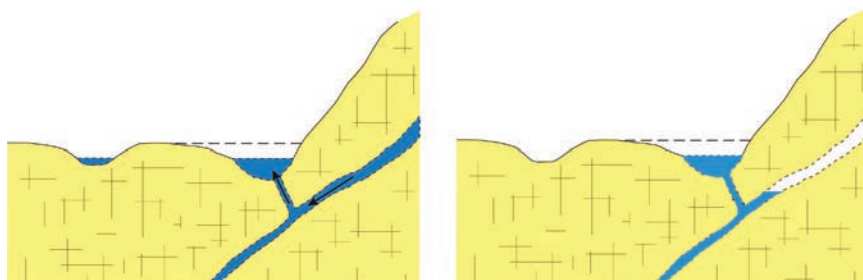
Gravitaciona karstna vrela su ona kod kojih sistemi karstnih kanala se nalaze hipometrijski na višim kotama od kote isticanja vrela, tako da kanali provode vodu do karstnog vrela uz pomoć gravitacione sile. Vrela koja ističu iz pećinskih sistema su najčešće gravitacionog tipa. Voklijska vrela su vrela kod kojih cirkulacija podzemnih voda se odvija ispod kote isticanja karstnog vrela, a kretanje voda, odnosno samo isticanje je uslovljeno hidrostatičkim pritiskom. Jedno od najvećih karstnih vrela u Srbiji, vrelo Mlave (srednje godišnji proticaj je nešto manji od $2 \text{ m}^3/\text{s}$) je voklijskog tipa. Pored njega u ovu grupu spada i vrelo Vape.



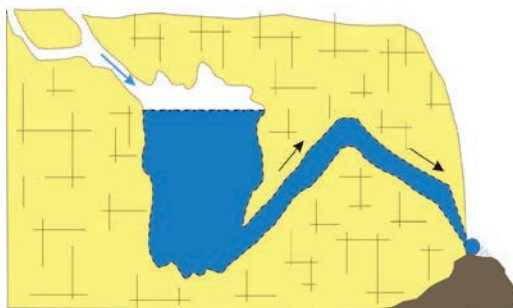
Slika 13.12: Karstna vrela: levo - vrelo Mlave (foto: B. Vakanjac), desno - vrelo Bune (foto: V. Ristić Vakanjac)

Ponori su mesta gde površinske vode koncentrično poniru/nestaju u podzemlje. O ponorima je bilo više reči kod karstnih polja. Ovde se može dodati da ponori mogu biti jamskog tipa kada sistem kanala koji prihvata površinsku vodu je subvertikalne orijentacije i mogu biti pećinskog tipa kada sistem kanala ima subhorizontalni položaj.

Estavele su hidrogeološki objekti sa dvostrukom hidrogeološkom funkcijom. Tačnije u sušnom delu godine, odnosno kada je nivo podzemnih voda ispod nivoa estavele, one funkcionišu kao ponori. U kišnom delu godine, kada nivo podzemnih voda bude iznad kote estavele one postaju karstna vrela. Poznata je estavela Obod u Fatničkom polju.



Slika 13.13: Estavela: tokom sušnog perioda godine funkcioniše kao vrelo (levo) a tokom kišnog dela godine kao ponor (desno)



Slika 13.14: Profil kroz izvor potajnicu ^[13.2]

Potajnice ili **intermitentni izvori** su povremeni izvori u karstu koji imaju funkciju izvora a prorade kada se nivo podzemnih voda u kaverni popne iznad pregiba na kanalu koji drenira potajnica.

13.3 PODZEMNI KARSTNI OBLICI

U karstnim masivima pronađen je i istraživani čitav niz najraznovrsnijih podzemnih morfoloških oblika, nastalih pod dejstvom intenzivnog rastvaračkog rada voda. Najznačajniji podzemni karstni oblici na koje se nailazi u karstnim terenima su jame, zvekare, ledenice, itd., kao i pećine.

13.3.1 JAME

Jame su pretežno vertikalne i relativno uske šupljine sa otvorom na površini terena i sa nagibom kanala od 45-90°. Uslov da podzemni kanal bude proglašen jamom je da visinsko rastojanje između ulaza i dna bude veće u odnosu na dužinu horizontalne projekcije. One su uglavnom predisponirane pukotinama, rasedima ili padom slojeva. Nastaju rastvaračkim dejstvom koncentrisanih tokova vode sa površine, potpomognuto mehaničkom erozijom i odlamanjem delova stena jamskih kanala. Često se javljaju na dnu vrtača iz kojih se voda postepeno drenira u podzemlje. Jama se može završiti i horizontalnim hodnicima, pa čak i dvoranama, odnosno mogu se produžiti u pećinske kanale. Ukoliko se relativno plitke jame završavaju na dnu manjom dvoranom u vidu pećine takvu jamu nazivamo zvekarom. Bezdani su duboke jame sa relativno jednostavnim kanalom koja se na dnu završava neprohodnom pukotinom. Ledenice su takođe jame u okviru kojih se tokom cele godine zadržava led. Najdublja jama koja je do sada otkrivena u svetu je *Miorolda* u Francuskoj (1733 m), zatim *Voronja* u Gruziji (1710 m), *Lamprechtsofen Fogelšacht* u Austriji (1632 m) itd. U Srbiji najdublja jama do sada istraжена je *Rakin ponor* na Miroču (285 m), zatim *Faca Šora* i *Ibrin ponor* takođe na Miroču itd.

Na kraju treba pomenuti i oblike koji predstavljaju jame - ponore. Ovi oblici predstavljaju vertikalne kanale koji se nastavljaju u razgranate mreže vertikalnih ili subvertikalnih kaverni i kanala kojima cirkulišu izdanske vode u pravcu najbližih erozionih bazisa. Ovde spada već pomenuta jama - ponor Busovate koja se nalazi na najnižoj hipsometrijskoj tački uvale Busovata. U ovoj grupi morfoloških oblika jedne od najinteresantnijih su *Ivkova jama - ponor*, *ponor Nekudovske reke*, *ponor Kločanice* i td.

13.3.2 PEĆINE

Pećine su podzemni karstni oblici kod kojih uglavnom dominiraju horizontalni i subhorizontalni kanali često vrlo razgranati u nepravilnu mrežu koja se obrazovala procesom karstifikacije duž spregnutih sistema krupnih pukotina. Ako su pećinski kanali dosta razučeni i javljaju se u dva ili više horizonta, tada imamo pećinski sistem, i ovde razlikujemo glavni kanal i bočne koji su međusobno isprepleteni. Pri tome, viši pećinski horizonti su po pravilu suvi, dok niži, u zavisnosti od erozionog bazisa mogu biti sa stalnim ili povremenim tokom. Dakle razlikujemo hidrološki aktivne pećine i suve pećine. U okviru hidrološki aktivnih pećina razlikujemo stalne i periodične rečne pećine.

U okviru karstnih terena istočne i zapadne Srbije otkriven je veliki broj pećina ali je samo jedan mali broj pećina otvoren za turiste^[13.3]. Većina pećina nije tokom cele godine dostupna turistima iz razloga što je većina njih hidrološki aktivna. Otvaraju se 1. aprila ili kada hidrološki uslovi u pećini to dozvole. Tačnije ako su tokom aprila i maja prisutne kiše jakih intenziteta koje se javljaju sa ko incidencijom otapanja snežnog pokrivača, postoji mogućnost da se pojedine pećine otvore za posetioce i kasnije.

Jedan od najznačajnijih, a ujedno i najlepših speleoloških objekata u Srbiji je *Resavska pećina* u Divljakovačkom polju. Pećina se sastoji od kanala ukupne dužine oko 4500 m, stim da je ukupna dužina svih ispitivanih kanala 2830 m i druga je po veličini u karstu Kučaja i Beljanice. Smatra se i jednom od najstarijih pećina u Srbiji, oko 80 miliona godina^[13.4]. Otkrivena je 1962. godine a za posetioce je uređen deo dug oko 800 m koji je otvoren 1972. godine.

U oblasti istočnog Kučaja nalazi se veći broj pećina od kojih su najveće i najbolje ispitivane u kanjonu Lazareve doline - *Zlotska pećina* i *Vernjickica*. Zlotska ili Lazareva pećina nalazi se na ulazu u kanjon Lazareve reke. Ovo je po dužini svih ispitivanih kanala (preko 10.000 m) najveća pećina u karstu Kučaja i Beljanice a i u Srbiji. Ispitani pećinski sistem sastoji se od dva horizonta pećinskih kanala: stariji koji je suv (fosilni) i mlađi koji je hidrološki aktivan tako da Lazareva pećina je ujedno i izvorska pećina. Ulaz u pećinu se nalazi na 291 mnm i to iznad jakog karstnog vrela koje drenira pećinski

sistem kanala Lazareve pećine. Za turističke posete uređene su staze dužine od oko 900 m. Ovaj morfološki objekt značajan je i arheološki lokalitet. U pećini su otkrivena tri kulturna horizonta: bakarno doba, rano bronzano i gvozdeno doba^[13.5] [13.6].

Pećina Vernjikica se nalazi na oko 1 km uzvodnije od Zlotske pećine u podnožju brda Kornjet. Ulaz je na apsolutnoj visini od 454 m i relativnoj visini od oko 150 m iznad korita kanjona^[13.5] [13.6]. Prva istraživanja ove pećine vezana su za 1960. godinu. Kada je završen projekat turističkog uređenja ove pećine, 1976. godine je urađena i pešačka staza koja je kretala od ulaza u Lazarevu pećinu i išla do ulaza u Vernjikicu a kablovima je sprovedena struja za potrebe osvetljenja ove izuzetno bogate pećine pećinskim nakitom. Na žalost, pećina do dana današnjeg nije otvorena za turističke posete iz razloga što su kablovi pokradeni. Ostaje bogat pećinski nakit sakriven u mraku dostupan velikom broju slepih miševa koji su ovde našli svoj dom i retkim speleolozima zainteresovanim za ovu pećinu.

Rajkova pećina je otkrivena i prvi put istražena od strane našeg poznatog geografa Jovana Cvijića još 1894. godine. Mnogo kasnije, 70-tih godina XX veka istraživanja nastavlja Radenko Lazarević. Za turiste je otvorena 1975. godine i sa 2.304 m uređenih staza predstavlja najveću turističku pećinu u Srbiji. U okviru pećine izdvojeni dva horizonta, viši, ponorski i suv i niži, hidrološki aktivan horizont. Ova pećina se nalazi u slivu Malog Peka na oko 2 km udaljenosti od Majdanpeka. Pećinskim kanalima protiče Rajkova reka tako da predstavlja protočnu pećinu. U neposrednoj blizini ove pećine nalazi se i Paskova, takođe protočna pećina, koja nije uređena za turiste^[13.7].

Pećina Ceremošnja se nalazi na oko 15 km od Kučeva, na severoistočnim obroncima Homoljskih planina. Ukupna dužina istraženih kanala je 775 m. Za turističke posete je otvorena 1980. godine sa 431 m pripremljenim turističkim stazama. Od 2007. godine dobila je kategoriju zaštićenog spomenika prirode. Pećina predstavlja ponorski tip^[13.8].

Bogovinska pećina je takođe pećina koja se nalazi u istočnoj Srbiji u jugoistočnim padinama Kučajskih planina i sa svojih 5020 m istraženih kanala smatra se jednom od najvećih pećina u Srbiji. Sa istraživanjima ove pećine otpočelo se još 1938. godine od strane M. Milojevića, zatim D. Petrovića (1957, 1977), D. Gavrilovića (1960) da bi tek 2007. godine R. Lazarević istražio ulazni potez pećine i uradio projekat po kome je pećina urađena za posetu turista. Od 2007. godine uređeno je 550 m staza Bogovinske pećine za posetu turista.

Pored Bogovinske, 2007. godine je i pećina Ravništarka uređena za turističke posete^[13.9].

Ravanička pećina se nalazi na severozapadnom obodu pojasa "ravaničkih krečnja-ka", na izlazu iz klisure reke Ravanice, kod istoimenog srednje-vekovnog manastira. Ulaz Ravaničke pećine se nalazi na koti 235 m apsolutne visine, 60 m daleko od korita Ravanice sa njegove leve strane, i 6 m iznad njega. Danas, pomenuti izdanski tok izbija na povremenom vrelu ispod ulaza pećine, odnosno na vrelu Bobotalo, 50 m nizvod-nije od pećine. Pored Ravaničke pećine u klisuri reke Ravanice nalazi se i niz manjih, nedovoljno ispitivanih pećina kao što su Milkina i Alovska pećina, a u širem slivu *Počekanova* i *Briglječeva pećina*.

Od pećina istočne Srbije potrebno je pomenuti i *Prekonošku pećinu* koja se nalazi u zapadnom delu masiva Svrljiških planina u ataru sela Prekonoge nedaleko od Svrljiga. Iako do današnjeg dana nije postala turistička destinacija, bitna je iz razloga što se prva speleološka istraživanja na našim prostorima vezuju za ovu pećinu. Ova istraživanja je izveo Jovan Cvijić krajem XIX veka a rezultate do kojih je došao objavio je u svom radu "Prekonoška pećina" 1891. godine. Nakon Cvijićevih istraživanja i pomenutog objavljenog rada, još u vreme Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca, speleologija kao i ova pećina dobijaju na značaju. Zbog svoje lepote i bogatstva Prekonoške pećine koja se ogleda kroz veliku raznolikost pećinskog nakita, u vreme Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca ju je obezbeđivala srpska žandarmerija. Nakon drugog svetskog rata, ranih 60-tih otpočinje priprema prilaza pećini kao i same pećine za posete prvih turista. Na žalost, pećina nikad nije otvorena za turističke posete. Tokom druge polovine XX veka, ulaz pećine biva vandalski razvaljen, postavljena rasveta pokidana i pokradena, a pećinski nakit izlomljen i delimično odnet. Danas je pećina otvorena, neobezbeđena, i nije sigurna za posete radoznalog turista. Njom se trenutno mogu kretati samo obučeni i pripremljeni speleolozi. Značajna je činjenica da je ova u velikoj meri sada zapuštena pećina progla-šena spomenikom prirode tako da je na ovaj način zakonski zaštićena^{[13.10] [13.11]}.

Potpećka pećina se nalazi u zapadnoj Srbiji u selu Potpeć, na oko 14 km udaljenosti od Užica. Istraživana je još od strane Jovana Žujovića (1893.) zatim Jovana Cvijića (1914.) i Radenka Lazarevića u dva navrata (1957. i 1972-1978). Poznata je po tome što ima najveći pećinski ulaz (visina 50 m i širina ulaza pri dnu 12 a pri vrhu oko 22 m). Ona je izvorskog tipa (vrelska pećina) sa dva glavna horizonta pećinskih kanala, stariji, gornji i mlađi donji. Procenjena ukupna dužina pećinskih kanala je od 8 do 10 km. 1984. go-dine je otvorena za posete turista u okviru kog su pripremljene 555 m turističkih staza.

U zapadnoj Srbiji pored Potpećke pećine postoji i *Stopića pećina* koja je takođe pri-premljena za posete turista. Nalazi se na Zlatoboru u selu Stopići. Prva istraživanja ove pećine izvršio je Jovan Cvijić 1901. godine. Ova hidrološki aktivna pećina sastavljena je od sistema pećinskih kanala ukupne dužine od oko 1700 m.

Pećina Risovača se nalazi u blizini Arandelovca u brdu Risovača. Pećina nije bogata pećinskim nakitom već je poznatija kao bogato arheološko i paleontološko nalazište. Sa istraživanjima ove pećine otpočelo se tek 1953. godine a za posete turista je otvorena 1987. godine.

Pećinski nakit: već na početku ovog poglavlja bilo je reći o samom procesu karstifikacije. Rezultat ovog procesa je da voda obogaćena rastvornim kalcijumbikarbonatom ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) se kreće duž prslina, pukotina i kaverni. Ovo kretanje se odvija pod specifičnim uslovima a odnose se na pritisak, temperaturu, ... Nailaskom na prazan pećinski prostor, dolazi do narušavanja ravnoteže rastvora (rastoverih komponenti u podzemnim vodama) što dovodi do istaložavanja kalcijumkarbonata (CaCO_3) i to u vidu kalcita, aragonita, ... Na ovaj način nastaju najraznovrsniji oblici koje nazivamo pećinskim nakitom. Sav nakit, generalno može nastati na dva načina: 1 - kapljanjem vode iz malih otvora koji se nalaze uglavnom na tavanici ili na zidovima pećina (stalaktiti, stalagmiti, stubovi), i 2 - tečenjem, slivanjem ili formiranjem tankih filmova vode po zidovima ili podu pećine (salivi, draperije, bigrene kade, itd.) ^[13.2].



Slika 13.15: *Bigrene kade*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 13.16: *Salivi i draperije, Lazareva pećina*
(foto: B. Vakanjac)



Slika 13.17: *Stalagmit, Vernjikica*
(foto: B. Vakanjac)



Slika 13.18: *Stalaktiti, Vernjikica*
(foto: B. Vakanjac)

Od posebnog značaja, sa aspekta hidrogeoloških istraživanja su pećinski objekti vezani za aktivna karstna vrela. Najčešće su vezani za obodne delove masiva. *Vrelska pećina* na Krupaji nalazi se na severozapadnim padinama Beljanice, na 340 mnv. Pećinski kanal, iz koga ističe izdanski tok, predisponiran je dvema rasednim strukturama pravca pružanja SZ-JI i I-Z.

Preporučena literatura

1. Nikić, Z., Pavlović, R., 2012.: *Hidrogeologija sa geomorfologijom*, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd

Reference:

- [13.1] Pavlović, R, Marković, M., Čupković, T., 2003: *Geomorfologija*, Rudarsko-geološki fakultet, str. 1-461
- [13.2] Krešić, N., 1988: *Karst i pećine Jugoslavije*, Naučna knjiga, Beograd, p 151,
- [13.3] Kličković, M. 2015: *Turističke pećine Srbije - mogućnost unapređenja rada*, u monografiji: *Zaštita prirode*, No 65/1, Zavod za zaštitu prirode Srbije (ed: D. Mijović), str. 73-80
- [13.4] Đurović, P. ur., 1998: *Speleološki atlas Srbije*, Grupa izdavača (SANU Geografski institut "Jovan Cvijić", Zavod za zaštitu prirode Srbije, Geografski fakultet – Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet – Univerzitet u Beogradu), Beograd
- [13.5] Lazarević, R., 1978: *Zlotske pećine*, Turistički savez opštine Bor, str. 1-122.
- [13.6] Lazarević, R., 1990: *Bor i okolina - Zlotske pećine*, Turistički savez opštine Bor, str. 1-89.
- [13.7] Lazarević, R., 1975: *Rajkova pećina*, Mesna zajednica "Boža Stanojević", Majdanpek, str. 1-56
- [13.8] Lazarević, R., 1988: *Ceremošnja - pećina*, Radna organizacija za ugostiteljstvo i turizam "Partizan" - Kučevo, str. 1-88
- [13.9] Lazarević, R., 1993: *Ravništarka*, Radna organizacija za ugostiteljstvo i turizam "Partizan" - Kučevo, str. 1-47.
- [13.10] Cvijić, J., 1891: *Prekonoška pećina*, *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, knj, III, Beograd, 272-299.
- [13.11] Ristić Vakanjac, V., Vakanjac, V., Milanović, S., Vasić, Lj., Kličković, K., 2016: *Prekonoška cave at the end of the 19TH century and today, 150th Anniversary of Jovan Cvijic s birth*, *Serbian Academy of Sciences and Arts*, pp 307-316

14.

PODZEMNE VODE



14. PODZEMNE VODE

Podzemne vode se izučavaju u okviru hidrogeologije, naučne discipline koja se razvila u okviru geoloških nauka. Kako su podzemne vode od velikog značaja za životnu sredinu i održivi razvoj, ovde će im se pokloniti više pažnje. Iz razloga što u okviru studijskog programa *Životna sredina i održivi razvoj* ne postoji kurs Hidrogeologija, a za koji autori smatraju da je od izuzetnog značaja sa studente koji su izabrali da se bave životnom sredinom, održivim razvojem i ekologijom, za sve one koji žele više da saznaju o podzemnim vodama tokom studiranja ili nakon završenih studija, toplo preporučujemo udžbenik Opšta hidrogeologija autora V. Dragišića i V. Živanovića^[14.1].

14.1 UVOD

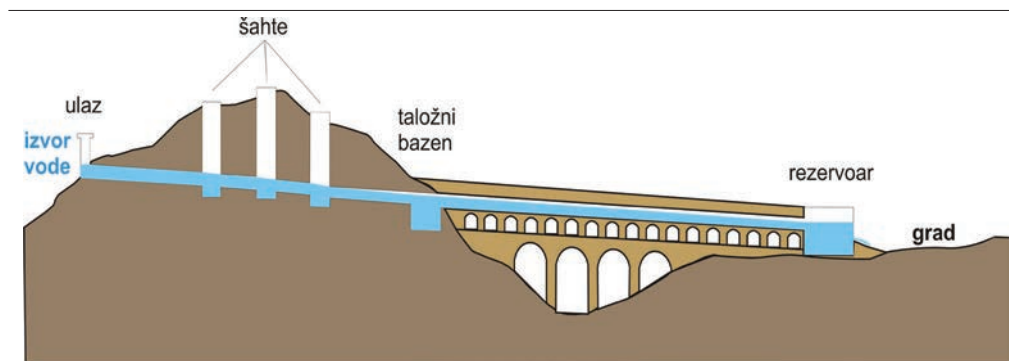
Ono što je najbitnije podvući na samom početku je činjenica da je voda bila jedan od nužnih preduslova da na planeti Zemlji dođe do stvaranja života i da su prvi organizmi nastali u praokeanu. Postavlja se pitanje odakle voda na našoj planeti. Postoje hipoteze a za svaku pretpostavku dokaza nema.

Prvi organizmi, po pronađenim fosilnim zapisima su cijanobakterije, čije kolonije su formirale stromatolite. Ovi fosilni ostaci vezuju se za period pre više od 3.5 milijardi godina. Od tada pa do danas živi svet planete Zemlje imao je svoje uspone i padove. Pod usponima podrazumevaju se dugi periodi razvoja biocenoze, a pod padovima relativno kratkotrajni periodi velikih izumiranja koji su doveli do nestanka određenih vrsta i rodova ali su i omogućila stvaranje novih koje su dovele i do nastanka čoveka.

Najveći deo ljudskog organizma čini voda čiji procenat od ukupne telesne težine varira i kreće se od preko 85% kod novorođenčeta pa do svega oko 50% kod organizma osoba starijih preko 80 godina. Takođe, opšte je poznata činjenica da čovek ne može bez vode. Shodno ovome, prve ljudske naseobine formirale su se u neposrednim blizinama reka. U početku vodu su koristili za sopstvene potrebe, za napajanje stoke vodom, kao i za ribolov. Kasnije, razvijanjem poljoprivrede, deo voda se koristio i za navodnjavanje poljoprivrednih kultura tokom sušnih perioda. Za potrebe zaštite od poplava gradili su retenzije i nasipe, a vode iz retenzija su tokom sušnih perioda kanalima odvodili do poljoprivrednih površina. Istovremeno površinske vode su se koristile i za transport proizvoda do susednih nizvodnih ili uzvodnih naseobina. Rastom naseobina potrebe za vodom rastu ali istovremeno dolazi i do narušavanja kvaliteta postojećih voda. Sa ovim se ulazi u period nedostatka kvalitetne vode za piće. Za dalji rast i razvoj tadašnjih gradova bilo je potrebno osmisliti način da se sa udaljenih mesta dovedu kvalitetne izvorske vode. Ovo je najlakše objasniti ako se uzme za primer Rim koji je prvi grad u istoriji ljudske civilizacije dostigao broj stanovnika od 1.000.000.

U trećem veku pre nove ere, došlo je do naglog porasta broja stanovnika grada Rima. Nedostatak kvalitetne vode za piće uticao je na nastanak novog načina dopremanja kvalitetne vode sa udaljenih mesta do krajnjih korisnika - Rimljana, odnosno do gradnje akvadukta. Prvi akvadukt je Akva Apija koji je sagrađen 312. godina pre nove ere i bio je dužine 16 km. Od tog trenutka pa do 133. godine pre novog veka (do trenutka kada je broj stanovnika u Rimu dostigao 1 milion) izgrađeno je još 8 akvadukta koji su bili ukupne dužine od oko 420 km i koji su kvalitetnu vodu za piće dovodili sa udaljenih izvora u Rim^[14.2]. Procenjeno je da je u jednom trenutku u Rim stizalo oko 1000 l/danu/stanovniku kvalitetne vode za piće. Posle ovog velikog procvata Rima, dolazi do njegovog polakog propadanja, tako da na početku srednjeg veka ovaj grad ima svega 30.000 stanovnika. Smatra se da je jedan od glavnih razloga nedostatak kvalitetne vode za piće koji je nastao kao rezultat razaranja postojećih akvadukta od strane mnogobrojnih napadača, kao i njihovo neodržavanje.

Pored malomineralizovanih visokokvalitetnih podzemnih voda, korišćenje mineralnih, termomineralnih i termalnih voda poznato je takođe, od kada postoji i ljudska civilizacija o čemu svedoče mnoga arheološka nalazišta^[14.2].



Slika 14.1: Šematski prikaz akvadukta ^[14.2]

Vreme nastanka prvog kopanog bunara svakako da nije poznato. Može se smatrati da sa formiranjem naseobina u okviru aluvijona reka, kod kojih je nivo podzemnih voda na malim dubinama, dovelo je u jednom trenutku do kopanja depresija/rupa kako bi se došlo do vode u neposrednoj blizini mesta stanovanja. U toku niskih vodostaja, nivo podzemnih voda bi se spuštao na veće dubine što bi uticalo da su pomenute depresije ostajale suve. Ovo je svakako uzrokovalo dalja produbljivanja postojećih rupa, zatim dalja vertikalna kopanja što je dovelo i do prvih kopanih bunara. Ovo su bili bunari sa slobodnim nivoima podzemnih voda.

Prvi artesianki bunar iskopan je mnogo kasnije, tačnije u Evropi izbušen je 1126. g. kod mesta Artois u Francuskoj, koji je davao vodu pod pritiskom, zbog čega izdani sa hidrostatičkim pritiskom danas nose naziv arteske izdani.

Shodno iznetom, sa razvojem ljudske civilizacije, podzemne vode dobijaju sve više na značaju, tako da se u jednom trenutku hidrogeologija (naučna disciplina koja se bavi ovim resursom) izdvojila kao posebna disciplina u sklopu geoloških nauka.

Uloga hidrogeologije kao naučne discipline je višestruka, sveobuhvatna i ogleda se u sledećem:

- Monitoringu režima kvantitativnih i kvalitativnih parametara podzemnih voda,
- Određivanju rezervi podzemnih voda u odgovarajućim izdanima,
- Definisanju izvorišta kvalitetnih voda za vodosnabdevanje i definisanja načina vodosnabdevanja stanovništva i industrije (danas preko 70% stanovnika Srbije se snabdeva vodama za piće na račun podzemnih voda),
- Istraživanja i ocena ležišta mineralnih i termomineralnih voda radi korišćenja u balneološke i rekreativne svrhe,
- Istraživanja termalnih voda sa ciljem dobijanja hidrogeotermalne energije za toplifikaciju i dobijanje električne energije. Ovi resursi dobijaju sve veći značaj kao zelena energija,
- Rešavanje zadataka iz oblasti meliorativne hidrogeologije vezanih za odvodnjavanje i navodnjavanje poljoprivrednih površina,
- Zadaci iz oblasti hidrogeologije ležišta mineralnih sirovina kao što su ovodnjenost ležišta, prognoza priliva podzemnih voda, odvodnjavanje rudnika, ...
- Radiohidrogeohemijska prospekcija nuklearnih sirovina i rešavanje pitanja korišćenja radioaktivnih voda,
- Istraživanja i ocena ekonomičnosti korišćenja ležišta mineralnih industrijskih voda kao mineralnog bogatstva za dobijanje pojedinih korisnih industrijskih sirovina (jod, brom, stroncijum, bakar...),
- Rešavanje zadataka pri izgradnji hidrotehničkih, građevinskih, saobraćajnih i drugih objekata,
- Zaštita podzemnih voda koja je od primarnog značaja sa aspekta životne sredine i održivog razvoja. Sagledavanje kvalitativnih (fizičko-hemijsko-bakteriološka ispravnost podzemnih voda) i kvantitativnih (rezerve podzemnih voda) i procena pritiska na dobar status vodnih resursa je jedan od osnovnih ciljeva svakog hidrogeologa. Stim u vezi potrebno je vršiti izradu karata hazarda /rizika zagađenja postojećih resursa podzemnih voda.
- Zaštita od podzemnih voda - usled intenzivnih atmosferskih padavina u zavisnosti od pedoloških, orografskih i hidrogeoloških karakteristika terena može doći do izdizanja nivoa podzemnih voda do nivoa terena što bi izazvalo presićenje zemljišta koje za posledicu ima smanjenje prinosa zasađenih kultura (pojedini delovi Mačve). Takođe, ukoliko imamo povećano prisustvo glinovitog materijala u pojedinim delovima, nakon obimnih padavina može doći i do pojave klizišta (nakon ciklona Tamara koji se desio tokom maja 2014. godine došlo je do aktiviranja velikog broja klizišta u gornjim delovima sliva reke Kolubare.

Dakle, na osnovu svega navedenog može se reći da je **Hidrogeologija** nauka o podzemnim vodama (hydros – voda, geos – zemlja, logos – nauka) u okviru koje se izučava formiranje podzemnih voda, rasprostiranje podzemnih voda, njihovo prihranjivanje, kretanje i isticanje (dreniranje), režim kvantitativnih parametara, rezerve podzemnih voda, njihovo sadejstvo sa geološkom sredinom, fizička svojstva, hemijski, radiološki i mikrobiološki sastav, koje su mogućnosti korišćenja dostupnih podzemnih voda kao i uslovi zaštite pri njihovom korišćenju.

14.2 RASPROSTRANJENOST VODA NA ZEMLJI

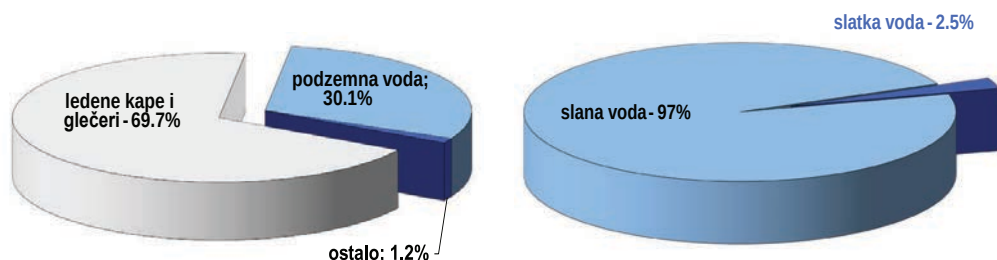
Voda je prisutna na celoj planeti Zemlji. Najveći deo vodenih masa nalazi se u okeanima i morima, jedan veći deo je zarobljen u ledu (ledene kape, lednici, stalni ili povremeni snežni pokrivači). Deo voda se nalazi i u atmosferi, deo voda se nalazi na površini zemlje (jezera, močvare, bare i površinski tokovi), deo se nalazi u zemlji (podzemne vode i vlažnost zemljišta) i na kraju jedan deo se nalazi u okviru postojeće biocenoze.

Okeani i mora prekrivaju oko 71% površine planete Zemlje a zapreminski obuhvataju skoro 96.5% ukupne postojeće vodene mase. Ovo su slane vode čiji prosečni salinitet iznosi oko 35 ‰ (35 grama soli rastvoreno u 1 kg vode).

Tabela 14.1 Procena raspodele vode na Zemlji ^[14.3]

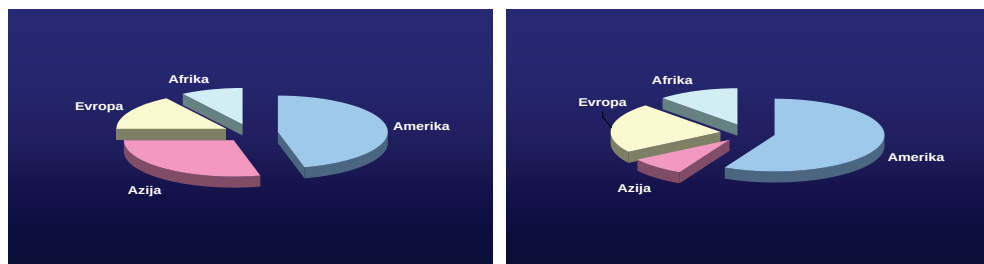
	Količina vode (km ³)	% u odnosu na slatku vodu	Procenat u odnosu na ukupnu vodu
Okeani, mora i zalivi	1.338.000.000	-	96,54
Ledene kape, lednici i stalni snežni pokrivač	24.064.000	68,7	1,74
Podzemna voda	23.400.000	-	1,69
- Slatka podzemna voda	10.530.000	30,1	0,76
- Slane podzemne vode	12.870.000	-	0,93
Zemljišna vlaga	16.500	0,05	0,001
Zaleđena zemljišta i permafrost	300.000	0,86	0,022
Jezera	176.400	-	0,013
- Slatka voda	91.000	0,26	0,007
- Slaništa (slano blatno jezero)	85.400	-	0,006
Atmosfera	12.900	0,04	0,001
Voda iz močvara	11.470	0,03	0,0008
Reke	2.120	0,006	0,0002
Biološka voda	1.120	0,003	0,0001
Ukupno	1.386.000.000		100

Preostali deo, svega oko 3 % predstavlja slatka voda, od čega 2% su zarobljena u ledu a 1% čine podzemne vode. Sve ostalo (zemljišta vlaga, jezera, močvare, bare, reke, atmosferske vode i biološka voda) je manje od 0.5% ukupno prisutnih voda na planeti Zemlji. Shodno ovome, vode ima u ograničenoj količini i prema njoj se moramo domaćinski ponašati.



Slika 14.2: Procena globalne raspodele voda na planeti Zemlji ^[14.4]

Vode na kopnu nisu svakako uniformno raspoređene po celoj površini. U cilju globalnog pregleda vodnih resursa po kontinentima, FAO (Food and Agriculture Organization) je sproveo analize i došao do činjenice da je Amerika najbogatija sopstvenim vodama. Posle nje, na drugom mestu je Azija, zatim Evropa pa Afrika. Ako posmatramo ovu raspodelu po kontinentima ali sada izraženu u $\text{m}^3/\text{god}/\text{stanovniku}$ slika se malo menja. Amerika i dalje predstavlja kontinent koji ima u proseku najviše vode po svom stanovniku, na drugom mestu je Evropa, nakon Evrope je Afrika. Na poslednjem mestu je Azija, koja po vodnim resursima, iako je drugi kontinent po pomenutom redosledu, zbog velikog broja stanovnika spada u najsiriomašniji kontinent kada posmatramo prosečnu dostupnost vode po glavi stanovnika. Ovde napominjemo da se govori o srednjenim vrednostima. Unutar svakog kontinenta ima delova koji imaju vodu u izobilju, dok pojedini delovi imaju velike deficite kvalitetne vode za korišćenje u različite svrhe, a na prvom mestu za vodosnabdevanje.



Slika 14.3: Raspodela vodnih resursa po kontinentima izražena u procentima (levi dijagram) i izražena u $\text{m}^3/\text{god}/\text{stanovniku}$ desni dijagram ^[14.4]

Tabela 14.2 Distribucija površinskog oticaja po kontinentima ili regionima, preuzeto iz ^[14.4]

kontinenti ili region	površinski oticaj (km ³ /god)	% ukupnih količina voda
Severna Amerika	7.800	17.9
Južna Amerika	12.000	27.6
Evropa	2.900	6.7
Srednji istok i Severna Afrika	140	0.3
Afrika bez severnog dela	4.000	9.2
Azija (bez Srednjeg Istoka)	13.300	30.6
Australija	440	1.0
Okeanija	6.500	14.9

O količinama voda koje se nalaze na planeti Zemlji govore i sledeće činjenice ^[14.5]:

- Kada bi se sva voda koja se nalazi na Zemlji (vode okeana, mora, ledene kape i glečeri, jezera, reke, podzemne vode i vode u atmosferi) stavile u jednu sferu, tada bi prečnik tako formirane sfere iznosio oko 1385 km, a ukupna količina vode koja bi se nalazila u njoj iznosila bi oko 1386 106 km³.
- Oko 12900 km³ vode se nalazi u atmosferi u svakom trenutku. Kada bi sva količina vode koja je prisutna u atmosferi pala u jednom trenutku, Zemljina površina bi se pokrila sa vodenim pokrivačem debljine oko 2.5 cm.
- Svakog dana oko 1170 m³ vode odlazi u atmosferu putem evaporacije ili evapotranspiracije.
- Voda u atmosferi se menja u proseku 42 puta godišnje, odnosno u proseku svakih 9 dana.
- Najveći deo slatkovodne vode se nalazi u zemlji, stim da se oko 80% ovog resursa nalazi do dubine od 800 m (oko 8 400 000 km³).

14.3 KRUŽENJE VODE U PRIRODI I VODNI BILANS

Ciklus kruženja vode u prirodi koji se još naziva i hidrološki ciklus, je ciklus koji opisuje neprekidno kretanje vode na, iznad i ispod površine zemlje. Predstavlja konceptualni model koji opisuje kretanje vode na planeti Zemlji u okviru biosfere, litosfere i hidrosfere. Kao što je već rečeno, voda je prisutna u atmosferi, na površini zemlje (u okeanima, morima, jezerima, lednicima, snežnom pokrivaču) i u zemlji, i ovo prisustvo može se izraziti određenim zapreminskim veličinama ili možemo reći da se radi o odgovarajućim rezervoarima voda a sam ciklus da opišemo kao kretanje vode koja ide iz jednog ka drugom rezervoaru. Ovi prelasci su praćeni određenim procesima i pojavama kao što su: evaporacija, evapotranspiracija, sublimacija, kondenzacija, padavine, oticaj, infiltracija, otapanje snežnog pokrivača i podzemne vode^[14.4].

Padavine su oblici kondenzovane ili sublimirane vodene pare u vazduhu, koje na zemlju dospevaju u tečnom ili čvrstom stanju. Da bi se formirale padavine, odnosno da bi došlo do kondenzacije u atmosferi, potrebno je da postoji dovoljna količina vodene pare ali i kondenzacionih jezgara (mikročestica) koja su hidroskopska i koja privlače molekule vode koji se nalaze u atmosferi, formirajući oko sebe mikro slojeve vode. Kako ova jezgra mogu biti + ili - naelektrisana dolazi do njihovog privlačenja ili odbijanja što uzrokuje njihovo turbulentno kretanje što dovodi do njihovog sudaranja i formiranja većih čestica. U jednom trenutku, kada one dostignu određenu veličinu i imaju određenu težinu, dolazi do formiranja određene vrste padavina (kiša, susnežica, sneg ili grad). Ovde napominjemo da padavine u vidu kiše i u vidu snežnog pokrivača, kada je u pitanju hidrološki ciklus, se posmatraju odvojeno. Razlog je što molekul vode koji u vidu kiše dospe na površinu zemlje nastavlja dalje kao deo hidrološkog ciklusa. Sa druge strane, molekul vode koji je u vidu snega dospeo na površinu zemlje, može biti deo formiranog snežnog pokrivača i jedno vreme ostati tu, a tek nakon određenog vremenskog perioda kada dođe do njegovog otapanja, doći će i do njegovog pokretanja i ponovnog učestvovanja u formiranju oticaja na površini zemlje ukoliko nije došlo do isparavanja^[14.4].

Padavine koje dospeju na zemlju se jednim delom vraćaju u atmosferu putem evaporacije a preostali deo ostaje na površini zemlje. Deo padavina koji je dospeo na površinu zemlje se infiltrira u zemljište a deo formira površinski oticaj. **Infiltracija** je proces prodiranja vode sa površine zemlje u zemlju. U prvim trenutcima kada dođe do infiltracije, voda se u najvećoj meri troši na nadoknađivanje vlažnosti zemljišta, a kasnije, kada dođe do maksimalnog zasićenja zemljišta dolazi do dubljeg prodiranja ovih voda i njihovog kretanja kroz vadoznu zonu (nadizdansku zonu odnosno zonu koja se nalazi iznad nivoa izdani) sve do nivoa podzemnih voda. Na ovaj način dolazi do prihranjivanja podzemnih voda što kao rezultat dovodi do formiranja podzemnih voda i podzemnog oticaja. Prihranjivanje podzemnih voda može biti i na račun površinskih tokova u delovima gde postoji aktivna hidraulička veza između površinskih i podzemnih voda o čemu će biti kasnije reči. Kretanje ovih voda je uslovljeno silom gravitacije a dreniranje može biti višestruko. Najčešće je u vidu izvora (koncentrisano ili razbijeno isticanje) ili direktno u rečni tok. Takođe, ovaj resurs može gubiti određenu količinu vode i putem evaporacije i/ili evapotranspiracije pod uslovom da se nivo podzemnih voda nalazi u blizini površine terena^[14.4].

Evaporacija predstavlja isparavanje sa slobodne vodene površine, odnosno predstavlja prelazak iz tečnog u gasovito agregatno stanje. Ako posmatramo planetu Zemlju može se reći da ukupna količina vode koja ispari jednaka je količini vode koja iz atmosfere dospe na površinu planete Zemlje (kopno ili vodenu površinu) u vidu padavina. Pored evaporacije, imamo i **evapotranspiraciju**, odnosno isparavanje sa površine kopna. Ovo isparavanje obuhvata isparavanje sa zemljišta, intercepciju i transpiraciju. Intercepcija je deo padavina koji se zadržao na vegetaciji i koji se kasnije

isparavanjem vratio u atmosferu (dakle nije dospeo na zemlju), a transpiracijom biljke tokom fotosinteze oslobađaju višak voda u atmosferu. Smatra se da oko 10% ukupnog planetarnog isparavanja se dešava na račun transpiracije, odnosno putem biljaka. Kada već govorimo o isparavanju, potrebno je pomenuti i **sublimaciju** koja označava proces direktnog prelaska molekula vode iz čvrste u gasovitu fazu. **Kondenzacija** je proces suprotan procesu isparavanja. Dakle, opisuje način prelaska molekula vode iz gasovitog u tečno stanje. Kondenzacijom vodene pare u atmosferi dolazi do formiranja oblaka iz kojih pod određenim uslovima dolazi do formiranja padavina^[14.4].

Na planetarnom nivou, kao što je već rečeno možemo reći da su padavine jednake ukupnom isparavanju, odnosno^[14.6]:

$$P = E$$

Međutim, za bilo koji sliv prethodna jednačina dobija sledeći oblik:

$$P = Q + E$$

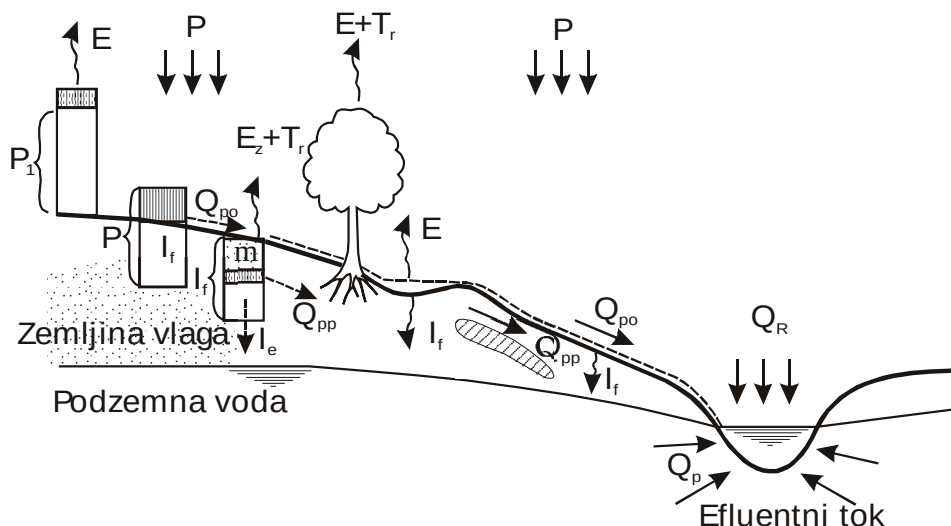
gde su:

- P - srednje višegodišnje padavine,
- E - srednje višegodišnje isparavanje,
- Q - srednje višegodišnji sloj oticaja.

Ukoliko želimo da damo bilansnu jednačinu za kraći vremenski period za bilo koji sliv moramo uvesti još jednu promenljivu veličinu, odnosno prethodna jednačina dobija oblik^[14.6]:

$$P = Q + E \pm \Delta V$$

gde ΔV predstavlja promenu zapremine vode u slivu (podzemna voda i u površinskim tokovima).



Slika 14.4 Osnovne komponente jednačine bilansa hidrološkog ciklusa ^[14.6]

Sa aspekta životne sredine i održivog razvoja što podrazumeva i zaštitu podzemnih voda, kruženje vode u prirodi ima veliki značaj. Naime, površinske i podzemne vode na taj način pored hranjenja vode kiseonikom dobijaju i određenu količinu zagađivanja iz atmosfere i sa površine terena. Voda pored vazduha je glavni transmiser zagađivača. Kod površinskih tokova zagađivač se kreće uglavnom linijski koritom rečnog toka. Ukoliko rečni tok ne gubi vodu na račun prihranjivanja podzemnih voda, zagađivač ostaje u površinskom toku. Sa druge strane, ukoliko zagađivač dospe u podzemne vode, on se širi kroz poroznu sredinu u pravcu kretanja podzemnih voda i pri tom ovo kretanje je 3-dimenzionalno.

14.4 POROZNOST

Deo voda koji se infiltrira i dospe ispod zemljine površine, javlja se u različitim vidovima od kojih je slobodna gravitaciona voda od najvećeg značaja za podzemne vode. Ove vode javljaju se u različitim geološkim sredinama (sedimentnim, magmatskim i metamorfnim stenama) koje su različitih struktura, poroznosti, vodopropusnosti i izdašnosti. Da bi se razumelo prihranjivanje podzemnih voda, njihovo kretanje kroz poroznu sredinu kao i samo dreniranje (isticanje) neophodno je na prvom mestu objasniti šta je poroznost.

Poroznost predstavlja zapreminu svih pora i pukotina (slobodnih prostora u steni i sedimentu) u jedinici zapremine sedimenta ili stene ^[14.1].

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{V_p}{V_p + V_s} \cdot 100\%$$

gde je:

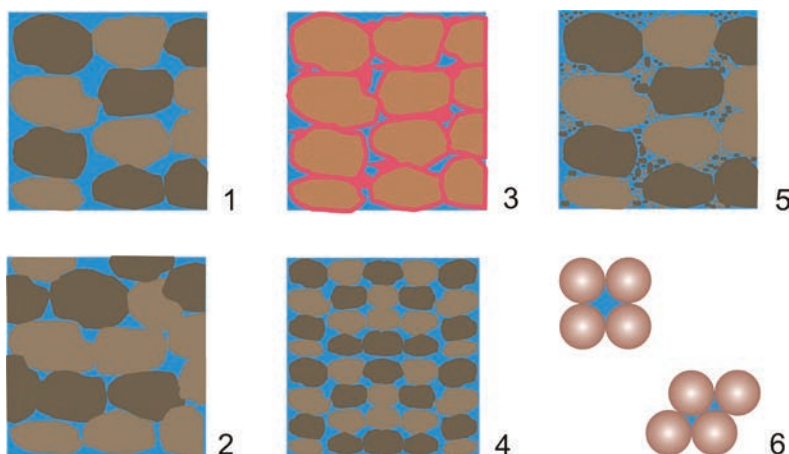
- n - poroznost uzroka stenske mase, neimenovan broj, izražava je % ili u delovima jedinice,
- V - ukupna zapremina uzorka stenskog materijala,
- V_p - zapremina svih pora u ispitivanom uzorku,
- V_s - zapremina čvrstih čestica u ispitivanom uzorku.

Gornja jednačina predstavlja ukupnu poroznost. Pored nje razlikujemo još efektivnu poroznost zatim primarnu i sekundarnu poroznost. Efektivna poroznost je uvek manja od ukupne poroznosti a predstavlja samo onu poroznost u kojoj voda može da vrši slobodno gravitaciono kretanje. Dakle deo poroznosti u okviru koje se javlja voda na bilo koji način vezana ili kapilarna voda ne spada u efektivnu poroznost. Primarna poroznost koja se još zove i singenetska poroznost nastaje tokom nastanka same stene. Sekundarna poroznost nastaje znatno kasnije pod uticajem endogenih i egzogenih sila ^[14.1].

Na samom početku potrebno je odvojeno posmatrati sedimente i stene iz razloga što se u okviru njih javljaju različiti tipovi međuprostora. Iz ovog razloga razlikujemo i različite tipove poroznosti kao što su: međuzrnska, pukotinska i kavernoza koje su najzastupljenije pa samim tim i najznačajnije. Pored pomenutih postoje i sunderasta (šupljikava) i crevasta poroznost.

Međuzrnska poroznost javlja se u okviru sedimentnih nevezanih do slabovezanih stena kao što su oblutci, šljunak, pesak, glina, ... Može se javiti i u delovima magmat-skih, metamorfnih i čvrsto vezanih sedimentnih stena koje su pretrpele intenzivan proces površinskog raspadanja stenskog materijala. Sama naziv ove poroznosti nam govori da se odnosi na prostore između zrna / čestica od kojih je sediment izgrađen. Veličina poroznosti u ovom slučaju zavisi od veličine čestica, njihove sortiranosti, prostornog rasporeda čestica, cementacije sedimenta, specifične površine zrna, itd.

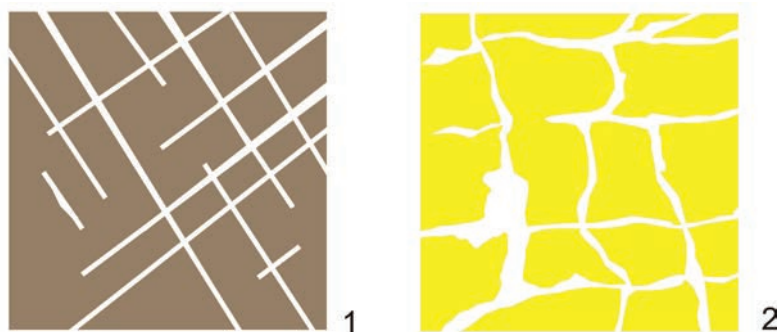
Što su veće čestice koje izgrađuju sedimentnu stenu to su prostori između zrna veći pa samim tim je i poroznost veća (slika 14.5-1 i 14.5-4). Položaj odnosno prostorni raspored zrna takođe značajno utiče na poroznost. Sediment kod koga su zrna postavljena pod pravim uglom (slika 14.5-1) imaju znatno veću poroznost od slučaja kada su postavljena pod uglom od 60° (slika 14.5-2). Za slučaj da su zrna idealnog oblika (oblika lopte) u tom slučaju poroznost sedimenta sa rasporedom zrna pod uglom od 90° je skoro dva puta veća od poroznosti kada je raspored pod uglom od 60° (slika 14.5-6). Ukoliko je međuzrnski prostor ispunjen zrnima sitnijeg materijala, u konkretnom slučaju poroznost će biti znatno manja od poroznosti kada imamo zastupljenu samo jednu veličinu zrna (slika 14.5-1 i slika 14.5-5). I na kraju potrebno je pomenuti da poroznost zavisi i od cementacije sedimentne stene, tačnije, bilo koja vrsta cementacije podrazumeva da je deo međuprostora ispunjen cementnim vezivom što u određenoj meri umanjuje poroznost (slika 14.5-3). Specifična površina zrna predstavlja ukupnu površinu svih zrna u jedinici zapremine sedimentne stene. O ovome će biti kasnije više reči.



Slika 14.5: Šematski prikazi na koji način raspored, veličina i sortiranost zrna kao i cementno vezivo utiče na poroznost sedimentnih stena

Stena po svom nastanku, bilo da je slojevita, bankovita ili masivna, je kompaktna. Kasnije, endogenetskim silama dolazi do formiranja otvorenih razlomnih struktura - pukotina. Na ovaj način nastaje **pukotinska poroznost**. *"Stenske mase pucaju kada se izlože naponima koji prelaze granicu njihove čvrstoće. Tada dolazi do loma, tj. do raskida međuzrnskih molekularnih veza i gubljenja kohezije duž površina preloma, pri čemu nastaju pomenuti diskontinuiteti. Ispucalost može nastati i usled skupljanja mineralne supstance prilikom hlađenja magme (kontrakcija), usled gubljenja vode (dehidratacija), fizičkog i hemijskog raspadanja, dejstva mraza, gravitacije, miniranja i slično."*²

Kavernozna ili disoluciona poroznost nastaje kao posledica procesa karstifikacije. O procesu karstifikacije je bilo više reči u prethodnom poglavlju, a ovde će se uraditi samo kratka rekapitulacija. Za nastanak kavernozne poroznosti potrebno je imati stenu koja se može rastvarati u prisustvu vode kao što su na prvom mestu krečnjaci, zatim dolomiti, gips, anhidrit, sona ležišta, itd. Ove stene pri samom nastanku su masivne, bankovite ili slojevite. Nakon toga endogenim pokretima nastaju pukotine koje predstavljaju predisponirane pravce kretanja vode. Voda u interakciji sa stenskim materijalnom deluje na njega tako što ga rastvara čime dalje proširuje prvobitno nastale pukotine. Daljim rastvaranjem formiraju se u okviru stene veći prostori nepravilnog oblika koje nazivamo kavernama po čemu je ovaj tip poroznosti i dobio ime.



Slika 14.6: Šematski prikaz pukotinske (levo) i kavernozne (desno) poroznosti

² Dragišić, V., Živanović, V., 2014: *Opšta hidrogeologija*, str. 82

Tabela 14.3 Tipične vrednosti veličina poroznosti sedimenata i stena ^[14.1]

Tip sedimenta	poroznost %	Tip stene	poroznos
Tresetno zemljište	60-80	Paščar	5-35
Zemljište	50-60	Krečnjak	<1-10
Glina	40-70	Dolomit	0.1-15
Prašina	35-50	Karstifikovani krečnjak	5-50
Pesak, prašina i šljunak (mešano)	30-50	Kreda	15-45
Glina i prašina (mešano)	35-60	Glinoviti škljiljac	<1-10
Pesak	25-50	Ispucala magmatska stena	<1-10
Srednjezrni i krupnozrni pesak	35-40	Ispucala kristalasta stena	<1-10
Dobro granulisani pesak	30-35	Bazalt	1-25
Šljunak	20-40	Šupljikavi bazalt	10-50
Pesan i šljunak (mešano)	15-35		
Glacijalni til	10-25		

Da bi se bolje shvatilo formiranje izdani (akumulisanja voda u podzemlju), prihranjivanje podzemnih voda, njihovo kretanje i isticanje, potrebno je razumeti, pored poroznosti, još i sledeće pojmove kao što su vodopropusnost, vlažnost, kapilarnost i izdašnost.

Gore navedeno objašnjenje poroznosti ukazuje na to da poroznost stena uslovljava i pojavu vodopropusnosti stenskih masa što nije uvek tačno. **Vodopropusnost** stenskih masa predstavlja svojstvo stena da kroz svoje pore propuštaju slobodnu (gravitacionu) vodu. Vodopropusnost zavisi od veličine pora, njihove strukture i povezanosti. Međutim, vodopropusnost nije uvek u direktnoj zavisnosti samo od poroznosti već na nju utiču i drugi faktori. Tako da, prema odnosu poroznosti i vodopropusnosti, sve stene se mogu svrstati u tri grupe:

1. Neporozne – vodonepropusne stenske mase (jedre, kompaktne magmatske, metamorfne i sedimentne),
2. Veoma porozne – vodonepropusne (glina i srodne stene),
3. Porozne – vodopropusne (šljunkovi, peskovi, ispucale i karstifikovane stene).

Tabela 14.4 Koeficijenti filtracije i poroznosti za različite sedimente / stene^[14.1]

Sediment/stena	Koeficijent filtracije (Kf, m/s)	Poroznost (n, %)
Nekonsolidovani sedimenti		
Pesak	$10^{-4} - 1$	25 – 50
Prašina	$10^{-7} - 10^{-3}$	35 – 50
Glina	$10^{-10} - 10^{-7}$	40 – 70
Les	$10^{-9} - 10^{-3}$	35 – 50
Stene		
Peščari	$10^{-8} - 10^{-3}$	5 – 35
Škriljci neispucali	$10^{-11} - 10^{-7}$	0 – 10
Škriljci ispucali	$10^{-7} - 10^{-3}$	5 – 50
Muljevite stene	$10^{-10} - 10^{-8}$	35 – 40
Dolomiti	$10^{-7} - 10^{-3}$	35 – 45
Karstifikovani krečnjaci	$10^{-4} - 10^2$	5 – 50
Mermeri ispucali	$10^{-6} - 10^{-3}$	0.1 – 2
Magmatske i metamorfne stene ispucale	$10^{-11} - 10^{-2}$	0 – 10
Magmatske i metamorfne stene neispucale	$10^{-12} - 10^{-8}$	0 – 5

Vlažnost je sposobnost zemljišta da upije i zadrži određenu količinu vode. Izražava se u % a dobija se odnosom mase vode i ukupne mase uzorka:

$$W = \frac{m - m_s}{m}$$

Gde su:

W – vlažnost uzorka (%)

m – masa vlažnog uzorka (kg)

m_s – masa suvog uzorka (kg) dobijena nakon sušenja uzorka na 105 °C.

Kapilarnost je pojava koja dovodi do dizanja vode koja se nalazi u okviru kapilarnih međuzrnskih prostora, pukotina i prslina. Ova osobina zemljišta je jako bitna iz razloga što deo iznad nivoa izdani dobija vlažnost na račun kapilarnog penjanja podzemnih voda. Kapilarnost je jako bitno kod poljoprivredne proizvodnje. Ukoliko je nivo podzemnih voda na nivou ispod korenovog sistema, stalnim ovlažavanjem zemljišta kapilarnim penjanjem može se nadoknaditi deo voda koje nedostaju u zoni korenovog sistema. Visina kapilarnog penjanja zavisi od granulometrijskog sastava zemljišta (sedimenta) odnosno veličine mikroprrslina u okviru stene. Visina kapilarnog penjanja je obrnuto proporcionalna poluprečniku kapilara.

Za uslov da je temperatura 20 °C i da je čista voda u pitanju ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) visinu kapilarnog penjanja možemo dobiti korišćenjem sledeće jednačine:

$$H_k = \frac{0.15}{r}$$

H_k – visina kapilarnog penjanja (mm)

r – poluprečnik kapilara (mm)

Tabela 14.5 Visina kapilarnog penjanja i broj dana neophodnih za postizanje maksimalne visine podizanja za različite sedimente stene^[14.1]

Stena	Visina kapilarnog penjanja H_k (cm)	Broj dana neophodnih za postizanje maksimalne visine podizanja
Krupnozrni pesak	3 – 12	80
Srednjezrni pesak	12 – 35	180 – 188
Sitnozrni pesak	35 – 120	188 – 160
Glinoviti materijal	120 – 350	160 – 475
Peskovita glina	350 – 650	-
Laka glina	650 - 1200	-

Izdašnost stena predstavlja sposobnost stena zasićenih vodom da odaju slobodnu gravitacionu vodu. Stene imaju različite veličine izdašnosti u zavisnosti od litološkog sastava, veličine i strukture poroznosti. Tako na primer, krupnozrni pesak i šljunak, tj. krupnozrne rastresite stene kao i stene sa krupnim pukotinama i kavernama, imaju veliku izdašnost. Glinovite stene imaju izuzetno male vrednosti izdašnosti (voda iz njih može biti odstranjena presom ili centrifugiranjem). *Elastična izdašnost* je sposobnost stena zasićenih vodom da odaju slobodnu vodu preko elastičnog širenja tečnosti i elastičnog sažimanja porozne sredine. *Retencija stene* predstavlja svojstvo stene da u svojim porama zadržava vodu nakon zasićenja, protiv sili gravitacije. Glinovite stene, bogate kapilarnim i subkapilarnim porama se odlikuju znatnom retencijom^[14.1].

14.5 IZDAN

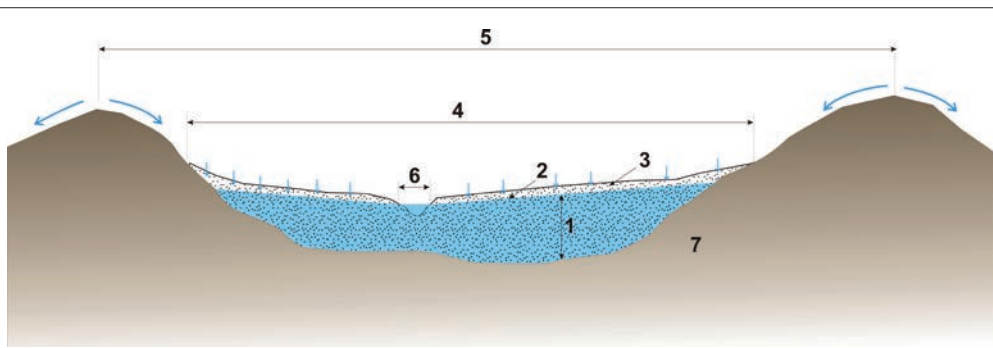
U okviru hidrološkog ciklusa (poglavlje 14.3) već je bilo reči o infiltraciji i podzemnim vodama. Ovde će se značajniji procesi ponoviti u cilju pojašnjenja šta je izdan. Rečeno je da jedan deo padavina se infiltrira u podzemlje i da se u početku kišne epizode najveći deo padavina troši na nadoknađivanje deficita vlažnosti zemljišta. Sa vremenom ovaj deficit je sve manji, odnosno zemljište dostiže polako svoje maksimalno zasićenje vodom. U ovim trenutcima dolazi do formiranja podpovršinskog sloja oticaja koji se kreće u okviru rastresitog površinskog materijala, ali kreće i prodiranje viška vode dublje.

Ovo kretanje vode se vrši u zoni aeracije (nadizdanskoj zoni) i kreće se pod dejstvom gravitacije vertikalno naniže sve do nivoa izdani. Na ovaj način dolazi i do prihranjivanja podzemnih voda na račun padavina. Dakle, u vertikalnom profilu razlikujemo nadizdansku zonu ili zonu aeracije i zonu zasićenja podzemnim vodama ili izdansku zonu. Kako u okviru različitih izdani mogu biti i različite hidrodinamičke karakteristike nivoa izdani, možemo sve izdani podeliti na:

1. Izdani sa slobodnim nivoom, i
2. Izdani sa nivoom pod pritiskom (artenske izdani).

Izdani sa slobodnim nivoom su široko rasprostranjene u prirodi a mogu se javiti i u okviru stena sa međuzrnskom, pukotinskom i kavernoznom poroznošću. U vertikalnom profilu razlikujemo nadizdansku zonu preko koje je izdan vezana sa atmosferom, zatim tu je izdan i ispod izdani je uslovno vodonepropusna podina (ili podina koja ima znatno manju vodopropusnost). Kod izdani sa slobodnim nivoom razlikujemo:

1. *Oblast rasprostranjenja izdani*: predstavlja deo terena ili slivnog područja u okviru koga je formirana izdan. U izvesnim slučajevima ona se može poklopiti sa površinskim slivom nekog vodotoka.
2. *Izdansku i nadizdansku zonu*: donju granicu izdanske zone čini vodonepropusna podina dok je gornja granica izdani predstavljena nivoom izdani, odnosno slobodnom površinom izdanske zone. Deo izdani iznad slobodne površine podzemnih voda do površine terena naziva se nadizdanska zona ili zona aeracije.
3. *Oblast hranjenja izdani*: predstavlja deo terena u okviru koga izdan ima direktnu vezu sa atmosferom, odnosno deo terena u okviru koga se izdan prihranjuje na račun dela padavina koje se infiltriraju u podzemlje i/ili na račun površinskih tokova čije vode mogu ponirati u pojedinim delovima rečnog korita (o vezi površinskih i podzemnih voda će biti kasnije reči). Ovo je uglavnom unutrašnja oblast prihranjivanja izdani (poklapa se sa rasprostranjenjem izdani). Razlikujemo i spoljašnju oblast prihranjivanja izdani koja je veća od zone rasprostranjenja izdani i često se poklapa sa slivnom površinom u okviru koje, u delovima koji su izgrađeni od uslovno nepropusnih stena se, nakon padavina, formiraju povremeni površinski tokovi, koji dolaskom na deo u okviru kog je formirana izdan poniru čime dolazi do prihranjivanja izdani.
4. *Zona isticanja odnosno dreniranja izdani*: nastaje u delovima gde površina terena preseca nivo izdani i tada imamo otkrivene zone isticanja (izvori, pišteline) i može biti skriveno kada se dreniranje izdani vrši u rečne tokove, jezera, mora, okeane ili druge tipove izdani.



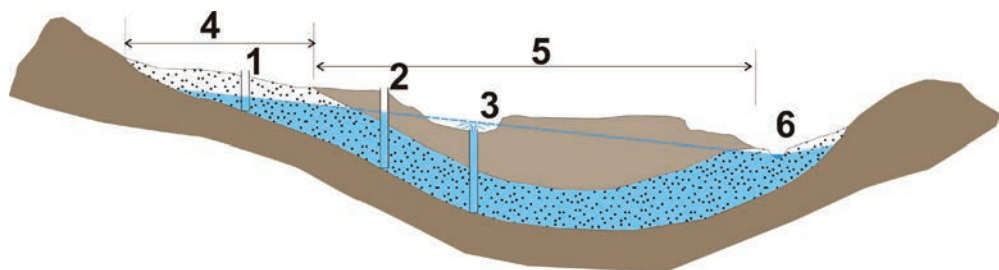
Slika 14.7: Šematski prikaz izdani sa slobodnim nivoom

1 - formirana izdan, 2 - nivo izdani, 3 - nadizdanska zona, 4 - zona rasprostranjenja izdani, 5 - zona prihranjivanja izdani, 6 - reka, u ovom slučaju zona dreniranja izdani, 7 - uslovno vodonepropusna podina

Izdan sa nivoom pod pritiskom ili arteska izdan predstavlja izdan kod koje u vertikalnom profilu razlikujemo uslovno vodonepropusnu podinu (sloj koji se nalazi ispod sloja u okviru kog je formirana izdan), zatim uslovno vodonepropusnu povlatu (sloj koji se nalazi iznad sloja u okviru kog je formirana izdan) i naravno, sloj u okviru kog je formirana izdan. U ovom slučaju formirana izdan je pod određenim pritiskom većim od atmosferskog. Ovakav pritisak može usloviti da se nivo podzemnih voda podigne na nivo iznad kote terena ili imamo slučaj da je nivo izdani ispod površine terena, ali uvek iznad vodonosne sredine. U prvom slučaju imamo arteske izdani a u drugom subarteske izdani. I kod izdani sa nivoom pod pritiskom kao kod izdani sa slobodnim nivoom izdani razlikujemo pojedine elemente:

1. **Izdanska zona:** ovde nemamo zonu aeracije, već se vodonosna sredina koja je potpuno zasićena podzemnim vodama nalazi između uslovno vodonepropusnih slojeva: povlate (gornje granice) a podine (donje granice). Da bi došlo do formiranja izdani pod pritiskom, potrebno je da u pojedinim delovima terena vodonosne stene izbijaju na površinu terena. U ovim delovima se formira izdan sa slobodnim nivoom i ovi delovi moraju biti na višim kotama od preostalog dela formirane izdani.
2. **Oblast hranjenja i formiranja pritisaka:** obuhvata unutrašnju i spoljašnu oblast. I ovde razlikujemo unutrašnju oblast hranjenja koja je deo samog vodonosnog horizonta (deo gde vodonosni sloj izbija na površinu terena) i gde se vrši infiltracija površinskih voda i dela padavina. Spoljna oblast hranjenja nalazi se van granica arterske vodonosne sredine, odakle se pod dejstvom sile teže atmosferske, površinske i podzemne vode slivaju ka oblasti gde vodonosni horizont izbija na površinu terena.
3. **Oblast rasprostranjenja pritisaka:** deo terena između zone hranjenja i zone isticanja

4. *Oblast dreniranja izdani*: izdan sa nivoom pod pritiskom se drenira putem otkrivenih izvora (uzlazni tip) i putem skrivenog isticanja (u rastresite kvartarne sedimente, korita reke, dna mora).



Slika 14.8: *Izdani sa nivoom pod pritiskom*

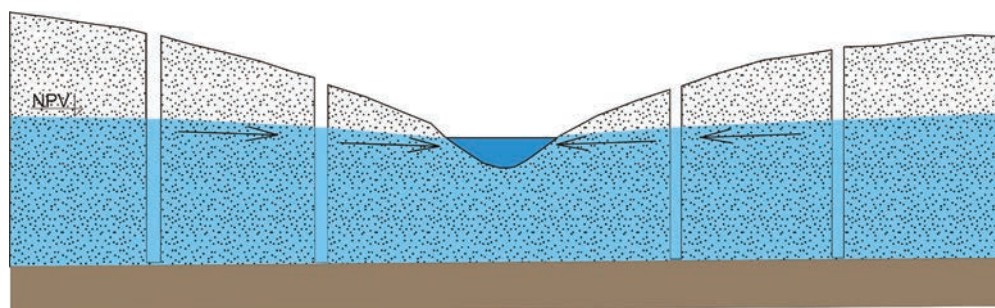
1. pijeziometar sa slobodnim nivoom, 2. pijeziometar sa subartesijskim nivoom, 3. pijeziometar sa artesijskim nivoom, 4. oblast prihranjivanja, 5. oblast rasprostranjenja, 6. oblast dreniranja

Pored ove klasifikacije, u zavisnosti od strukture poroznosti, možemo izdvojiti:

1. zbijene ili kontinualne, i
2. razbijene ili diskontinualne izdani.

Izdan zbijenog (kontinualnog) tipa: to su izdani formirane u sklopu stena međuzrnske poroznosti. Ovu izdan karakteriše kontinualnost izdanske zone u granicama njene rasprostranjenosti. Uglavnom su formirane u okviru nevezanih ili slabovezanih sedimentnih stena a mogu se javiti u delovima intenzivno raspadnutih magmatskih, metamorfnih i čvrsto vezanih sedimentnih stena. Ovu izdan nazivamo još i intergranularnom izdani. Najčešće je prisutna u okviru rastresitih sedimenata od kojih su najznačajnije one koje su formirane u okviru rečnih nanosa, odnosno u aluvijalnim nanosima površinskih tokova. Mogu biti debljina većih od 100 m, dok njihove širine kod velikih reka mogu biti više hiljada metara. Zbog dobrih poroznih svojstava, uglavnom dobre hidrauličke veze sa površinskih tokom kao i otvorenosti ka atmosferi (omogućeno prihranjivanje izdani na račun infiltracije dela padavina), u njima mogu biti akumulirane značajne količine rezervi podzemnih voda, pa zbog toga imaju velikog značaja u vodosnabdevanju. Donji deo aluvijona izgrađen je uglavnom od grubozrnijeg nevezanog materijala kao što je oblutak, pesak i šljunak dobrih filtracionih karakteristika. Gornji deo predstavljen je šljunkovito-peskovitim glinama, peskovima i prašinom. Kod ovog dela filtracione karakteristike zavise od procenta glinovite komponente, tako da mogu biti izuzetno dobrih filtracionih karakteristika kada je procenat glinovite komponente mali i tada imamo izdani sa slobodnim nivoom. Kada imamo delove gde su prisutni proslojci ili slojevi glinovitog materijala može se javiti i izdan pod pritiskom.

Pored izdani koje su formirane u aluvijalnim sedimentima, zbijene izdani se javljaju i u okviru naslaga rečnih ostrva, rečnih terasa, zatim deluvijalnim, proluvijalnim i u eluvijalnim naslagama, jezerskim sedimentima, marinskim rastresitim naslagama, eolskim nanosima, u močvarnim naslagama kao i u glacijalnim sedimentima. Sve pomenute zbijene izdani su lokalnog pa samim tim i manjeg značaja od pomenutih koji su formirane u aluvijalnim sedimentima tako da se neće detaljnije razmatrati. Zbog svog značaja za vodosnabdevanje lokalnog stanovništva, pomenućemo još i izdani formirane u okviru morskih ostrva. U zavisnosti od veličine ostrva, u ovim oblastima se mogu formirati značajnije rezerve podzemnih voda. Kako na ostrvima postoji uspostavljena ravnoteža slanih i slatkih voda, pri eksploataciji je potrebno voditi računa o tome da se ova ravnoteža ne naruši. U protivnom, nekontrolisanom eksploatacijom postojećih izdani slatke vode može se izazvati nadiranje slane vode, njihovo mešanje i stvaranje boćatnih voda čime bi se trajno narušio kvalitet slatkih voda koje su se koristile za vodosnabdevanje.

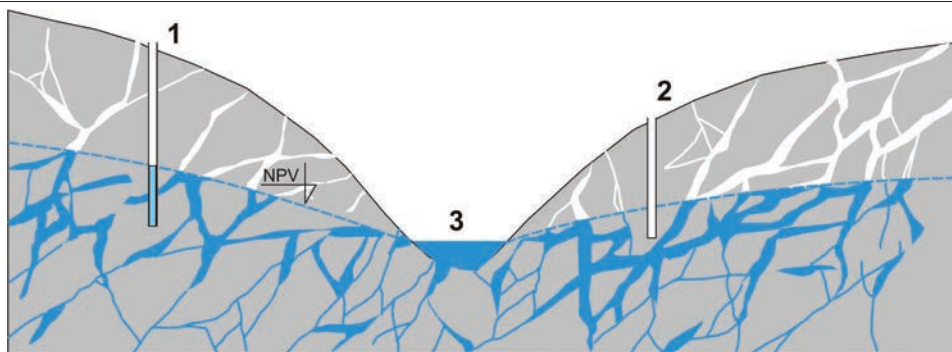


Slika 14.9: Izdan zbijenog tipa u vodonosnoj sredini međuzrnske poroznosti^[14.1]

Izdan razbijenog ili diskontinualnog tipa: karakteriše diskontinualnost izdanske zone. Prisutne su u okviru stena sa pukotinskom i kavernožnom poroznosti a podzemne vode se formiraju i kreću u okviru povezanih pukotina i kaverni. Shodno iznetom, u okviru izdani razbijenog tipa razlikujemo pukotinske i karstne izdani.

Pukotinski tip izdani se formira u čvrstim, ispucalim stenskim masama. Raprostranjen je u intruzivnim, efuzivnim i metamorfnim stenama kao i čvrstim sedimentnim stenama (peščari, laporci, konglomerati, breče i karbonatne stene koje nisu u većoj meri karstifikovane). Radi upoređenja istih stena, mlađe (kvartarne i neogene) stene su znatno vodonosnije od starijih (mezozojskih i paleozojskih) stena. Takođe, ispucalost i vodonosnost metamorfnih stena je uglavnom manja nego u efuzivnim i intruzivnim stenskim masama. Kretanje podzemnih voda je uslovljeno povezanošću, karakterom, genezom i razmerom pukotina, a razmera pukotina (širina i dubina) predstavljaju glavne uslove formiranja podzemnih voda, odnosno njene vodonosnosti.

Vodopropusnost, ispucalost i vodonosnost je neravnomerna duž cele površi rasprostranjenja pukotinske izdani. U ovakvim stenskim masama mogu da se formiraju i izdani sa slobodnim nivoom i izdani pod pritiskom.

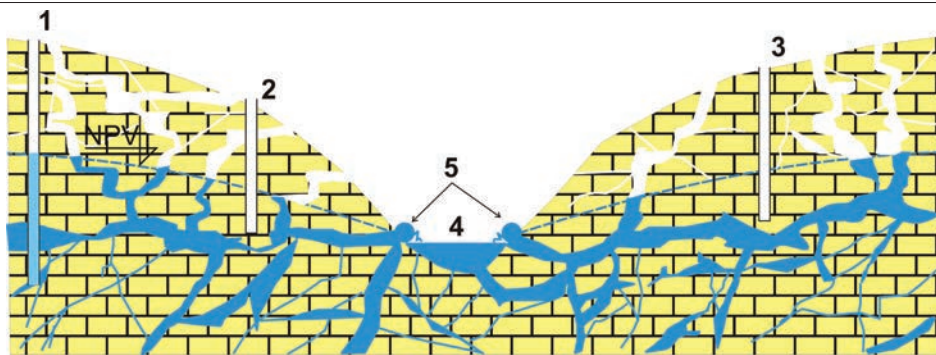


Slika 14.10: Izdan razbijeo tipa u vodonoj sredini pukotinske poroznosti ^[14.1]

1. bunar sa vodom jer je presekao pukotinski sistem, 2. suv bunar, nije presekao ni jedan pukotinski sistem u okviru kog ima vode, 3. reka u koju se vrši isticanje pukotinske izdani

Karstni tip izdani formiran je u stenama sa kavernožnom poroznošću, odnosno u stenama koje su rastvorljive u vodi. Već je pomenuto da u grupu hemijski rastvorljivih stena spadaju: karbonatne (krečnjaci, dolomiti i mermeri), sulfatne (gips, anhidrit) i hloridne stene (halit), tako da se razlikuju karbonatni, gipsni i soni karst. Pobrojane stene, nakon njihovog nastanka su uglavnom kompaktne. Usled površinskog raspadanja stena kao i usled tektonskih pokreta dolazi do njihovog pucanja čime se stvaraju predisponirani pravci kretanja podzemnih voda. Daljim kontaktom voda i stena, dolazi do proširivanja prvobitno nastalih pukotina, dolazi do njihovog povezivanja čime se stvaraju uslovi i za turbulentno kretanje podzemnih voda. Formiranjem sistema pukotina i kaverni većih dimenzija, voda može svojim kretanjem kroz ove sisteme da i mehanički deluje na stenu sa materijalom koji je unela sa sobom (glinovita komponenta, pesak i šljunak). Najintenzivniji procesi karstifikacije dešavaju se u pukotinama zone raspadanja i tektonskim razlomima. Ovde napominjemo da su plići delovi stene intenzivnije karstifikovani i da poroznost uglavnom sa dubinom opada. Baza karstifikacije predstavlja dubinu do koje je došao proces karstifikacije. Zbog velikih prostora u okviru karstnih masiva (pukotine, kaverne i pećinski kanalski sistemi) mogu se formirati značajne količine izdanskih voda. Na početku formirani površinski tokovi na karstnim masivima, tokom geološke istorije i procesa karstifikacije, ovi tokovi gube svoju funkciju, tačnije poniru a za njima ostaju suva rečna korita. Zbog ovog, u okviru pojedinih karstnih masiva prisutno je potpuno odsustvo rečne mreže. Prihranivanje ove izdani je na račun atmosferskih padavina (koje u okviru ogoličenog karsta može biti i 80% od ukupnih padavina) i na račun površinskih tokova koji su formirani na višim hipsometrijskim visinama, kad dospeju na karst uglavnom poniru. Kako režim površinskih tokova koji poniru takođe zavisi od padavina, možemo reći da režim karstne izdani je direktno uslovljen atmosferilijama.

Kao posledica ovoga je uglavnom neujednačen njihov režim. Imamo veliki broj slučajeva u dobro razvijenim i karstifikovanim masivima da vrela koja su tokom sušnih perioda suva, tokom obilnih padavina daju preko $100 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 14.11: Izdan razbijenog tipa u vodonosnoj sredini kavernozne poroznosti^[14.1]

1. bunar sa vodom jer je presekao sistem kaverni ispunjenih vodom, 2. suv bunar jer je presekao sistem kaverni bez vode, 3. suv bunar, nije presekao ni jedan sistem kaverni i pukotina, 4. reka u koju se vrši isticanje karstne izdani, 5. karstna vrela

14.5.1 PRIHRANJIVANJE IZDANI (PODZEMNIH VODA)

O nekim vidovima prihranjivanja podzemnih voda je već bilo reči ali u nekom drugom kontekstu. Generalno, prihranjivanje podzemnih voda može biti:

1. Na račun padavina: izdani se mogu prihranjivati na račun kiša i na račun snega odnosno formiranog snežnog pokrivača. Padavine u vidu kiša u trenutku kada se dese postaju deo hidrološkog ciklusa. Deo padavina infiltracijom dospeva do izdani i ovaj deo smatramo efektivnim delom padavina jer učestvuje u prihranjivanju podzemnih voda. Ukoliko su se desile padavine u vidu snega, dolazi do formiranja snežnog pokrivača koji ostaje kao takav do trenutka kada temperature vazduha ne postanu pozitivne, odnosno dok ne dođe do otapanja formiranog snežnog pokrivača. Od trenutka formiranja snežnog pokrivača pa do njegovog otapanja može proći više meseci. U trenutku kada dođe do otapanja snežnog pokrivača, tada imamo i porast nivoa podzemnih voda.
2. Na račun površinskih tokova: dešava se kada je nivo reke na višoj koti od nivoa izdani i kada za to postoje odgovarajući uslovi. Na prvom mestu izdan i površinski tok moraju biti u hidrauličkoj vezi. Dakle, ukoliko je korito površinskog toka zaglinjeno i ukoliko ne postoji hidraulička veza površinski tok-podzemne vode, neće doći do poniranja površinskog toka, odnosno neće doći do prihranjivanja podzemnih voda na račun površinskih tokova. Ovo se uglavnom odnosi na reke i izdani formirane u aluvijalnim nanosima.

Ukoliko imamo rečni tok koji je formirao svoj tok po nekom karstnom masivu, može doći do sukcesivnog gubljenja vode rečnog toka ili može u jednom ponoru da izgubi svu svoju vodu. Svaki ponor ima svoj kapacitet poniranja i ukoliko je proticaj reke manji od kapaciteta poniranja ponora, onda će sva količina vode da nestane i ode u podzemlje čime dolazi do prihranjivanja podzemnih voda. U slučaju kada je proticaj reke veći od kapaciteta poniranja ponora, deo voda površinskog toka će ponirati a deo će nastaviti da teče dalje koritom reke. Ovakve slučajeve uglavnom imamo tokom kišnog dela godine, odnosno tokom velikih voda.

3. Na račun podzemnih voda: ukoliko imamo formirane različite izdani (npr. zbijena i karstna izdani) i ukoliko je jedna od njih na većoj hipsometrijskoj visini, onda će se podzemne vode izdani koja se nalazi na nižoj hipsometrijskoj visini prihranjivati na račun podzemnih voda izdani koja se nalazi na višoj koti.
4. Veštačkim putem: čovek za svoje potrebe, npr. poljoprivrednu proizvodnju, često vrši navodnjavanje poljoprivrednih površina, čime vrši i prihranjivanje podzemnih voda.

14.5.2 KRETANJE PODZEMNIH VODA

Kretanje podzemnih voda odnosi se prvenstveno na slobodne, gravitacione vode, a objašnjava se procesima infiltracije i filtracije. **Infiltracija** predstavlja kretanje vode u zoni aeracije, za razliku od kretanja podzemne vode koje se odvija u zoni potpunog zasićenja porozne sredine vodom. Infiltracijom se zapravo obuhvataju one vode koje su sa površine ušle u zemlju i nastavile da se kreću subvertikalno naniže (kroz nadizdansku zonu ili zonu aeracije) sve do nivoa izdani. Na ovaj način se vrši i prihranjivanje izdani vodom sa površine terena.

Proces filtracije predstavlja mehaničko kretanje slobodne vode u poroznom prostoru, pod dejstvom hidrauličkog gradijenta, a u uslovima potpunog zasićenja vodom. Razlikujemo gravitaciono, silazno ili descedentno kretanje (kretanje sa slobodnim nivoom) i uzlazno odnosno ascedentno kretanje (kretanje pod pritiskom). Silazno kretanje podzemnih voda se odvija najčešće u pripovršinskim delovima litosfere. Odvija se pod dejstvom gravitacionih sila pa ovo kretanje nazivamo i gravitacionim. Uzlazno kretanje podzemnih voda prisutno je u delovima gde postoje različiti hidrostatički pritisci, a kretanje voda je uvek iz oblasti sa višim ka oblastima sa nižim hidrostatičkim pristicima. Ovo kretanje se uglavnom odvija u dubljim delovima litosfere^[14.1].

Već je rečeno da je poroznost i to aktivna jedan od najznačajnijih faktora koji utiče i definiše uslove kretanja podzemnih voda. Kretanje vode u poroznoj sredini kreće se kroz sisteme otkrivenih i međusobno povezanih pora, pukotina i kaverni koje su različitih veličina, oblika i položaja.

Kod podzemnih voda sa slobodnim nivoom, kretanje voda može imati laminarni ili turbulentni režim. Za kretanja voda kod kojih su strujnice međusobno paralelne kažemo da je laminarno kretanje. Javlja se pri malim brzinama tečenja. Henri Darsi je prvi koji je pokušao da definiše količinu vode koja protiče kroz poroznu sredinu u uslovima laminarnog kretanja podzemnih voda. Na osnovu sprovedenih eksperimenata, uspostavio je linearni zakon filtracije koji je poznat još kao i Darsijev zakon filtracije i koji glasi^[14.1]:

$$Q = K_f \cdot F \cdot \frac{\Delta H}{l}$$

gde su:

Q – filtracioni proticaj podzemnih voda koji karakteriše količinu slobodne vode koja se kreće kroz poroznu sredinu (m^3/s),

F – površina poprečnog preseka kroz koji se vrši kretanje toka i koja je upravna na smer kretanja podzemnih voda (m^2),

K_f – koeficijent filtracije koji zavisi od fizičkih svojstava stena (poroznosti) i filtrirajuće tečnosti (m/dan , m/s , cm/s),

$\frac{\Delta H}{l} = i$ – razlika nivoa podzemnih voda na putu filtracije koja se naziva hidraulički gradijent (bezdimenzionalna veličina).

Ukoliko gornju jednačinu podelimo sa površinom poprečnog profila (F) dobijamo:

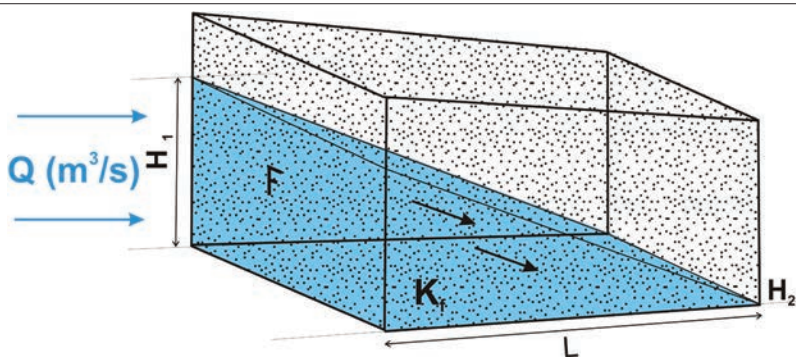
$$\frac{Q}{F} = K_f \cdot \frac{\Delta H}{l} = K_f \cdot i$$

Kako je Q/F brzina filtracije, može se konstatovati da je

$$V = \frac{Q}{F} \text{ (m/s)}$$

Dakle, kretanje voda, bilo da se kreće kroz međuzrnsku poroznost, ili kroz pukotine ili kaverne, odvija se određenim brzinama koje su u svakom trenutku promenljive veličine. Ovu brzinu kretanja podzemnih voda nazivamo brzinom filtracije i predstavlja jednu od najznačajnijih karakteristika kretanja podzemnih voda u poroznoj sredini.

Darsijev zakon filtracije opisuje *laminaran režim* kretanja podzemnih voda. U prirodnim uslovima odgovara kretanju u intergranularnim i slabije ispucalim stenama. Mnogobrojni opiti su pokazali da se može primeniti i u gruboklastičnim i pukotinskim stenama.



Slika 14.12: Laminaran režim strujanja^[14.1]

Odstupanje od Darsijevega zakona laminarnog kretanja javlja se usled velikih brzina kretanja podzemnih voda koje je karakteristično za intenzivno karstifikovane stene koje imaju povezane sisteme kaverni i pukotina velikih dimenzija. Tada nastupa *turbulentni režim strujanja*, kada dolazi do vrtložnog kretanja.

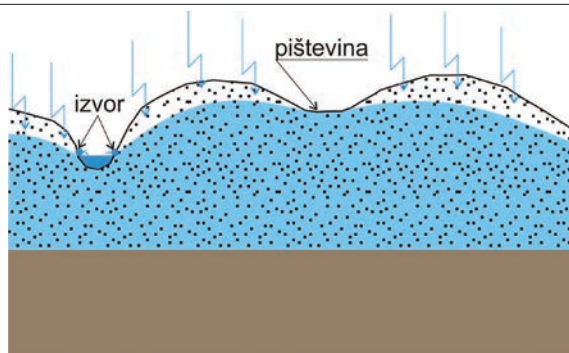
14.5.3 DRENIRANJE PODZEMNIH VODA

Dreniranje podzemnih voda predstavlja proces pražnjenja izdani prirodnim putem i može biti:

1. putem isparavanja sa nivoa izdani: isparavanje je deo hidrološkog ciklusa i kao takvo dešava se stalno i svugde. Kako su izdani uglavnom odvojene od atmosfere nadizdanskim delom ili zonom aeracije (kod slobodnih nivoa izdani) ili su odvojeni uslovno vodonepropusnom povlatom (kod izdani pod pritiskom), isparavanje podzemnih voda je mnogo manje od isparavanja koje je prisutno na površini terena. Kada posmatramo izdan i isparavanje sa izdani, ono može biti značajnije ukoliko je nivo izdani u neposrednoj blizini površine terena, ili može biti beznačajno ukoliko se radi o izdanima koje se nalaze na velikim dubinama, kakav je slučaj sa karstnom izdani.
2. dreniranje se može vršiti i uz pomoć vegetacije, odnosno putem transpiracije. Tačnije, ukoliko je nivo izdani u nivou korenovog sistema, deo podzemnih voda biljka uzima sa mineralnim rastvorenim materijama. Procesom transpiracije, zadržava neophodne mineralne materije, a višak vode izbacuje putem lista i vraća u atmosferu. Proces transpiracije predstavlja deo evapotranspiracije i kada je nivo izdani blizu površine terena, možemo transpiraciju i isparavanje sa nivoa podzemnih voda posmatrati zajedno kao evapotranspiracija podzemnih voda.
3. može da se drenira u drugu izdan: o ovome smo pričali u prethodnom poglavlju kada smo govorili o prihranjivanju. I ovde je potrebno imati dve različite izdani,

a dreniranje se vrši iz one izdani koja je na hipsometrijski višoj koti u odnosu na onu koja u ovom slučaju se prihranjuje na račun voda koje su istekle odnosno izdrenirale iz više izdani.

4. može da se drenira direktno u površinski tok, jezero, močvaru, more ili okeane. Ovo se dešava kada su nivoi podzemnih voda na višim kotama od kota nivoa površinske vodene površine. Tada, u vidu podvodnih izvora ili kontinualno duž toka reke se vrši dreniranje izdani i prihranjivanje u ovom slučaju površinskog toka. Sva četiri navedena načina dreniranja spadaju u skiveni tip dreniranja.
5. i na kraju, dreniranje podzemnih voda može biti i otkriveno i to koncentrisano (u vidu mlazeva, odnosno izvora) i difuzno isticanje (kada nivo površine terena i nivo podzemnih voda imaju skoro iste kote tako da dolazi u ovom delu do zamočvarenja, ovo nazivamo pištevina).
6. pored prirodnog načina dreniranja izdani, postoji i antropogeno, veštačko dreniranje: čovek za svoje zadovoljavanje svojih potreba koristi podzemne vode. Ovde se misli na prvom mestu na vodosnabdevanje, zatim za potrebe stočarstva i industrije, odvodnjavanje kod poljoprivredne proizvodnje, za potrebe balneoturizma (banjskog turizma), geotermalne energije, ...



Slika 14.13: Pojave isticanja na površini terena, koncentrisano u vidu izvora i difuzno u vidu pištevina^[14.1]

Kako se izvori smatraju najznačajnijim prirodnim objektima koji dreniraju izdani, o njima će biti malo više reči. Mesta koja predstavljaju prirodno isticanje izdanskih voda na površini zemlje mogu biti u obliku izvora, pištevina, a mogu biti koncentrisanog i razbijenog tipa. Javljaju se najčešće na površini terena gde su otkrivene izdanske zone i u okviru izraženih tektonskih oblasti (pukotine, razlomi). Načini pojavljivanja izvora na površini terena su različiti i prvenstveno uslovljeni uzajamnim dejstvom geološko-tektonskih faktora i lokalne hidrografske mreže. Pojavljivanje izdanskih voda na površini terena uslovljeno je erozionom rasčlanjenošću (rečne doline, jaruge, kotline) i filtracionom nejednorodnošću stena vezanom sa litofacijalnim izmenama u planu i profilu, neravnomernom ispucalošću i karstifikovanošću stenskih masa.

Postoje različite klasifikacije izvora. Ovde ćemo navesti neke od njih.

Na osnovu postojanosti isticanja, odnosno da li u toku višegodišnjeg perioda imaju postojano isticanje bez prekida (presušivanja) ili tokom određenih vremenskih perioda ostaju bez vode (presušuju), razlikujemo^[14.1]:

1. stalne izvore, i
2. povremene (intermitentne) izvore.

Takođe, shodno hidrodinamičkim karakteristikama nivoa izdani, izvori se mogu svrstati u dve velike grupe a to su^[14.1]:

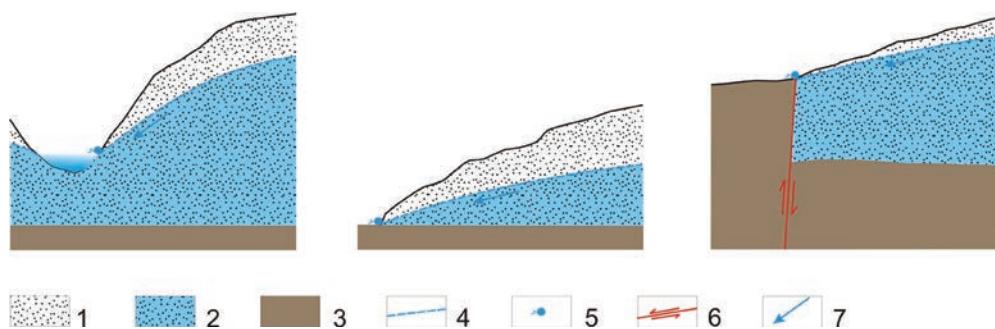
1. izvori koji dreniraju izdani sa slobodnim nivoom, i
2. izvori koji dreniraju izdani pod pritiskom.

Izvore možemo svrstati i u kategorije koje ukazuju koju izdan drenira izvor, tako da razlikujemo^[14.1]:

1. izvore koji dreniraju zbijeni tip izdani,
2. izvore koji dreniraju pukotinski tip izdani, i
3. karstne izvore ili vrela.

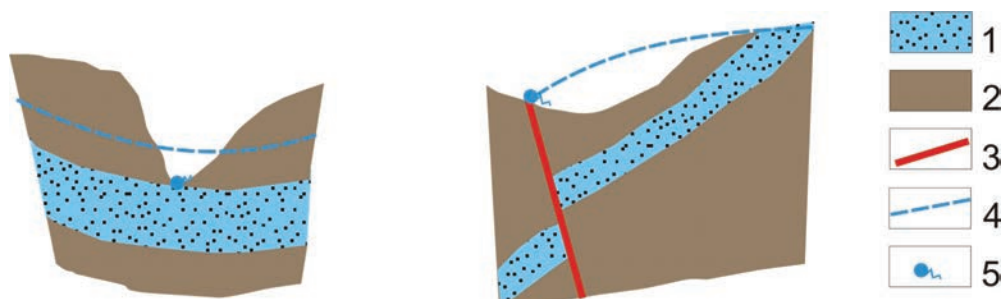
Postoje klasifikacije i na osnovu fizičkih i hemijskih karakteristika voda izvora ali o tome ovde neće biti reči.

Izvori koji dreniraju izdan sa slobodnim nivoom: Ove izvore nazivamo silaznim, gravitacionim ili descendentnim izvorima. Iz razloga što se izdani sa slobodnim nivoom javljaju u okviru svih tipova izdani (zbijeni tip, pukotinski i karstni tip izdani), tako razlikujemo i silazne izvore koji dreniraju zbijeni tip izdani, zatim silazne izvore koji dreniraju pukotinske i karstne izdani. Kod ovog tipa izvora, podzemne vode bilo kog navedenog tipa izdani, ističu pod dejstvom sile zemljine težee, a mesta na kojima se javljaju izvori su u delovima gde površina terena preseca nivo podzemnih voda (depresioni izvori) ili se javljaju na kontaktu vodonosnih i vodonepropusnih odnosno slabije vodopropusnih stenskih masa (kontaktni i barijerni (prelivni) izvori). Kako je sama izdan pa samim i tim i režim isticanja kod ovih izvora uglavnom uslovljen pluviogafskim režimom, prisutne su velike oscilacije isticanja kod ovih izvora, odnosno velike su razlike između minimalnih i maksimalnih zabeleženih vrednosti količina isteklih voda. Na slici 14.14 dat je šematski prikaz depresionog, kontaktnog i barijernog izvora koji dreniraju zbijeni tip izdani.



Slika 14.14: Silazni (gravitacioni) izvori, levo - depresioni, u sredini - kontaktni, desno - barijerni
 Legenda: 1. zona aeracije (nadizdanska zona), 2. izdan formirana u okviru međuzrnske poroznosti, 3. vodonepropusne ili slabije propusne stene, 4. nivo izdani, 5. izvor, 6. rased, 7. pravac kretanja podzemnih voda

Izvori koji dreniraju izdan pod pritiskom: ove izvore nazivamo još uzlaznim, arteskim ili ascedentnim izvorima. Mesta pojavljivanja ovih izvora su uglavnom uslovljena rasednim strukturama, a javljaju se i kada se erozijom dođe do toga da površina terena preseca nivo izdani pod pritiskom. Ovi izvori imaju postojaniji režim isticanja, tačnije, tokom godine ne dolazi do velikih promena u količinama isteklih voda. Takođe, nema velikih promena ni u fizičkim i hemijskim karakteristikama voda koje se dreniraju putem uzlaznih izvora. Na slici 14.15 dat je šematski prikaz izvora koji dreniraju izdan pod pritiskom formirana u integranularnoj poroznosti.



Slika 14.15: Uzlazni (arteski) izvori, levo - erozijom je dovedeno do toga da površina terena preseca vodonosni sloj pod pritiskom, desno - rasednom strukturom uslovljeno mesto pojavljivanja uzlaznog izvora
 Legenda: 1. izdan pod pritiskom formirana u okviru međuzrnske poroznosti, 2. vodonepropusne ili slabije propusne stene, 3. rased, 4. nivo pijezometarskog pritiska, 5. izvor

Izvori koji dreniraju pukotinske izdani se, takođe, javljaju u obliku uzlaznih i silaznih izvora. Uzlazni (artesiani) izvori se vezuju za određene tektonske pukotine i razlome, koje mogu da zaležu duboko ispod lokalnog erozionog bazisa. Ove oblasti karakterišu visoki pritisci, prisutna je pregrejana para, vode su mineralne sa čestim prisustvom gasova. Silazni su vezani za deo pukotinske izdani iznad lokalnog erozionog bazisa, odnosno za zonu intenzivne ispućalosti koja je prisutna u zoni raspadanja magmatskih, metamorfnih i čvrstih sedimentnih stena.

Izvori koji se hrane vodama karstne izdani isto tako mogu biti uzlazni i silazni izvori. Javljaju se kao povremeni koji su uglavnom silazni izvori, stalni koji su vezani za kanale i pukotine koje su prisutne ispod regionalnog erozionog bazisa i mogu biti submarinski (karstni kanali koji zaležu ispod mora). Ovi izvori se mogu javiti u obliku vrela, potajnica, estavela, boćatnih izvora i vrulja. Vrela su snažni karstni izvori velike izdašnosti (mogu imati isticanje i preko 150 m³/s). Karakteriše ih neravnomernost u isticanju u toku godine, a javljaju se na kontaktu intenzivno karstifikovanih karstnih masiva i obodnih uslovno vodonepropusnih geoloških formacija, zatim po obodu karstnih polja, na obalama mora itd. Potajnice (interminantni izvori) karakteriše povremen, ritmičan rad koji je uslovljen postojanjem kaverni, šupljina i kanala u vidu krive natege (vidi poglavlje 13 - karstni proces). Estavele imaju dvostruku hidrogeološku strukturu tako da povremeno rade kao ponori, a povremeno kao povremena vrela (vidi poglavlje 13 - karstni proces). Boćatni izvori daju u određenim periodima poluslanu vodu (boćatnu) koja nastaje usled mešanja slanih i slatkih voda. Vrulje su izvori koji se javljaju ispod nivoa mora/jezera pa se na površini mora/jezera vidi komešanje vode. Ovo su submarinski izvori.

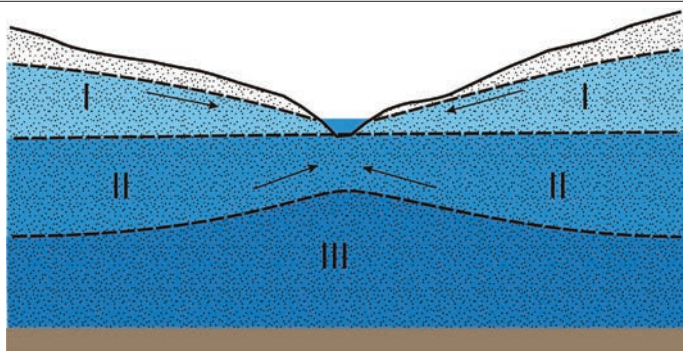
14.6 HIDRODINAMIČKA ZONALNOST

Osnovni faktori koji određuju hidrodinamičku zonalnost su: odnos hranjenja površinskih i podzemnih voda, geološko-tektonska građa konkretnog regiona, poroznost, vodopropusnost, izdašnost vodonosne sredine, njena otkrivenost na površini zemlje, reljef terena i dubina usecanja rečnih tokova i klimatske karakteristike. Sve ovo generalno utiče na brzinu, odnosno intenzitet vodozamene u okviru izdani. Shodno intenzitetu vodozamene mogu se izdvojiti sledeće hidrodinamičke zone:

- I - zona intenzivne vodozamene (u vertikalnom profilu ova zona je na najvišim kotama, izdani su u direktnoj vezi sa atmosferom, brzina kretanja podzemnih voda je veća u odnosu na druge hidrodinamičke zone, prisutno je značajno obnavljanje rezervi podzemnih voda, posledica ovoga u izdani su prisutne malomineralizovane vode koje su pogodne za vodosnabdevanje),
- II - zona usporene vodozamene (nalazi se ispod zone intenzivne vodozamene, nalazi se ispod lokalnog erozionog bazisa površinskih tokova, kretanje podzemnih voda

je znatno sporije u odnosu na prvu hidrodinamičku zonu, i imamo manje izraženo dreniranje podzemnih voda, vode mogu biti povišene mineralizacije i temperature)

III - zona veoma usporene vodozamene (ovo je najdublja hidrodinamička zona, prisutne su na dubinama većim od 1000 m, brzina kretanja podzemnih voda je toliko mala da možemo reći da su ovo skoro stagnirajuće vode, period obnavljanja se meri geološkim vremenom, visoko su mineralizovane i termalne vode.



Slika 14.16: Šematski prikaz hidrodinamičke zonalnosti^[14.1]

I - zona intenzivne vodozamene,

II - zona usporene vodozamene,

III - zona veoma usporene vodozamene

14.7 HIDROGEOLOŠKE STRUKTURE

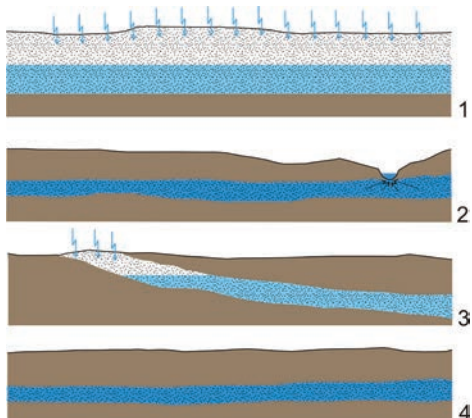
"Geološko telo ili geološka struktura unutar čijih granica ostaje neprekidan karakter rasprostranjenja, uslova formiranja i hemijskog sastava podzemnih voda, predstavlja hidrogeološku strukturu"¹³. Najčešća klasifikacija hidrogeoloških struktura bazirana je na stepenu poznavanja uslova prihranjivanja i isticanja podzemnih voda, tako da razlikujemo^[14.1]:

1. otvorene,
2. poluotvorene,
3. poluzatvorene,
4. zatvorene hidrogeološke strukture.

Otvorene strukture su one kod kojih su poznate zone rasprostranjenja izdani, zone prihranjivanja izdani i zone dreniranja izdani. U okviru ove hidrogeološke strukture formiraju se izdani sa slobodnim nivoom, dakle imamo u okviru izdani kretanje podzemnih voda pod dejstvom sile gravitacije. Poluotvorene izdani su one kod kojih su poznate zone dreniranja, ali su zato delimično poznate oblasti prihranjivanja.

3 Dragišić i Živanović, 2014: Opšta hidrogeologija, str. 288

U ovom slučaju nije u potpunosti poznata zona rasprostranjenja izdani. Kod poluzatvorenih hidrogeoloških struktura imamo poznatu oblast prihranjivanja ali oblast dreniranja je nepoznata ili delimično poznata. Formirane izdani u okviru poluzatvorenih hidrogeoloških struktura najčešće prihranjuju druge izdani što se ponekad može utvrditi jedino skupim i detaljnim hidrogeološkim istraživanjima. I na kraju imamo zatvorene hidrogeološke strukture kod kojih nisu poznate ili su delimično poznate oblasti prihranjivanja i oblasti dreniranja. U okviru ovih izdani uglavnom je javljaju konatne vode koje su uglavnom visokih mineralizacija povećanih temperatura.



Slika 14.17: Šematski prikaz tipova hidrogeoloških struktura^[14.1]

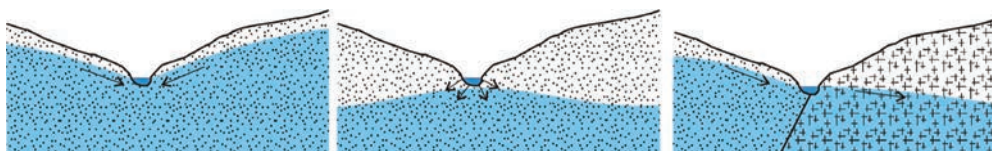
1. otvorena HGS 2. poluotvorena HGS 3. poluzatvorena HGS 4. zatvorena HGS

14.8 UZAJAMNI ODNOS POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA

Ukoliko postoji aktivna hidraulička veza između površinskog toka i podzemnih voda, uzajamni odnos površinskih i podzemnih voda može se biti:

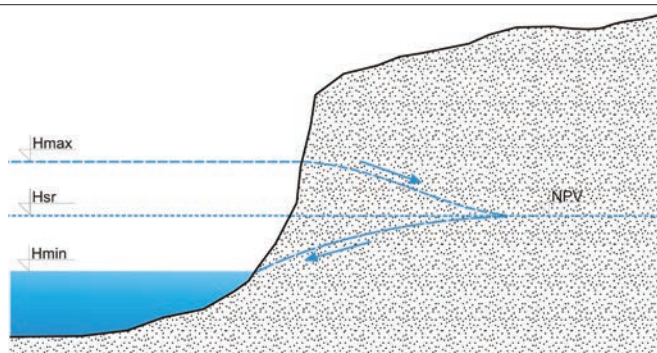
1. podzemne vode prihranjuju površinski tok - kada je kota nivoa podzemnih voda na višoj apsolutnoj visini od nivoa površinskog toka (reke). U ovom slučaju reka dobija vodu na račun podzemnih voda, proticaj reke raste od izvora ka ušću i u deonicama reke gde reka nema pritoka.
2. podzemne vode se prihranjuju na račun površinskih voda - kada je kota nivoa površinskih voda na višoj apsolutnoj visini u odnosu na nivo podzemnih voda. U ovom slučaju reka sukcesivno, polako gubi vodu, odnosno idući od izvora ka ušću, na deonicama gde nema pritoka, proticaj koji je osmotren nizvodnije je manji od onog koji je izmeren uzvodnije.
3. kombinovani slučaj - najčešće se javlja u slučajevima kada reka formira tok prateći npr. geološku granicu, odnosno kada imamo različite geološke formacije na levoj i desnoj dolinskoj strani. U ovom slučaju može se desiti da u okviru jedne dolinske

strane nivo izdani bude na višoj koti od nivoa reke a na drugoj dolinskoj strani da bide niži. Dakle, u ovom slučaju imamo na jednoj strani prihranjivanje reke na račun podzemnih voda a na drugoj imamo slučaj da reka gubi vodu, odnosno prihranjuje izdan. Da li će reka na nizvodnijem profilu imati više ili manje vode u odnosu na uzvodni profil zavisi od razlike koliko dobija odnosno gubi vode.



Slika 14.18: Šematski prikaz tipova hidrogeoloških struktura^[14.1]

Ovde ćemo napomenuti još i to da, ukoliko postoji aktivna hidraulička veza između reke i podzemnih voda formiranih npr. u okviru aluvijalnih nanosa, u zavisnosti od hidrološkog stanja rečnog toka, možemo imati različite slučajeve uzajamnog odnosa reke i podzemnih voda. Naime, pri intenzivnim padavinama dolazi do naglog porasta nivoa površinskih i podzemnih voda. Ovde napominjemo da porast nivoa u površinskim tokovima, kao i kasnije pad (tokom sušnog perioda) je znatno bržu u odnosu na porast/pad nivoa podzemnih voda. Zbog ovog, može se desiti da tokom poplavnih talasa imamo slučaju da reka prihranjuje podzemne vode, a da tokom sušnih perioda izdan prihranjuje rečni tok.



Slika 14.19: Prihranjivanje/dreniranje izdani na račun površinskih voda u funkciji različitih hidroloških stanja rečnog toka

14.9 ZNAČAJ I ODRŽIVOST PODZEMNIH VODA

Problem vodenog resursa je opšte poznat u svetu, naime najozbiljniji problem 21. veka je kvalitet vode i njeno snabdevanje. U svetu, zalihe vode opadaju, broj stanovnika raste tako da potreba za vodom raste brzinom koja, u pojedinim oblastima postaje neodrživa. Sa druge strane, klimatske promene utiču na to da pojedini delovi u budućnosti će imati manje padavina (manje prihranjivanje podzemnih i površinskih voda), što će uticati na to da će ti regioni imati manje rezerve voda za potrebe različitih korišćenja. Takođe, sa porastom stanovništva rastu i potrebe za vodom, ali zbog navika i mentaliteta čoveka, dolazi do sve većeg zagađenja postojećih vodnih resursa. Na ove probleme se počelo da ukazuje još u poslednjoj deceniji prošlog veka a putem svih medija se intenzivno skreće pažnja na ove probleme tokom 21 veka. U izveštaju o razvoju vodenih sistema u svetu - *Voda za ljude, voda za život*, koji je Unesco objavio 2003. godine u ime 23 agencija Ujedinjenih nacija, upozorava se na sve veću oskudicu u vodi po glavi stanovnika u mnogim delovima zemalja u razvoju usled rasta broja stanovnika, zagađenja i očekivanih promena u klimi.

Ono što je potrebno napomenuti je da je vođeni resurs obnovljivi resurs i zbog toga je potrebno ne narušavati kvalitet vodnih resursa (na prvom mestu podzemnih voda). Podzemna voda ima veliki značaj i u ulozi obnovljivog izvora energije u obliku geotermalne vode koja se može koristiti za toplifikaciju naselja i dobijanje električne energije (zelena energija). Za dobijanje električne energije su potrebne veoma visoke temperature, oko 200°C koja se eksploatiše (ispumpava) iz geotermalnih rezervoara pod velikim pritiskom^[14.7]. Pumpanjem vode iz tih rezervoara prema elektrani na površini, smanjuje se pritisak pa se vruća voda pretvara u paru i pokreće turbine. Iskorišćavanje geotermalne vode je jedna od alternativa konvencionalnoj proizvodnji energije kao odgovor na aktuelnu problematiku klimatskih promena i postizanje ekonomsko-energetske efikasnosti (nema emisije štetnih gasova koji nastaju sagorevanjem uglja i nafte). Geotermalna voda se nalazi na velikim dubinama, mnogo većim od obične malomineralizovane podzemne vode koja se koristi za vodosnabdevanje i druge tehničke potrebe. Što je veća temperatura, postiže se bolja energetska iskorišćenost, jer može da se primeni višestepeno korišćenje geotermalne energije, odnosno nakon proizvodnje električne energije, istorišćena termalna voda može da se dalje koristi za zagrevanje naselja, plastenika i slično. Energetska iskorišćenost može da se pojača i korišćenjem toplotnih pumpi. Toplotna pumpa je uređaj koji može toplotnu energiju da transportuje iz spoljašnje okoline u zgradu ili iz zgrade u spoljašnju okolinu, tako da se u zimskom periodu koristi za grejanje, a u letnjem periodu može da se iskoristi za hlađenje. Optimizacijom parametara toplotne pumpe postiže se maksimalni koeficijent korisnog dejstva u toku celog perioda upotrebe pri minimalnim temperaturama geotermalne vode (14 do 16 °C) ^[14.8].

Održivo korišćenje podzemnih voda se ostvaruje multidisciplinarnim pristupom. Pre svega je neophodno izvršiti geološka i hidrogeološka istraživanja, kako bismo sagledali opšte uslove postojanja podzemnih voda odnosno hidrogeološke karakteristike terena, kako zbog mogućnosti njenog korišćenja, tako i zbog adekvatne zaštite podzemnih voda, odnosno sprečavanja ili minimiziranja različitog negativnog antropogenog uticaja (npr. izgradnja deponije i ekosistemskog procesa koja će da zavisi od tipova izdani, odnosno njegovih hidrodinamičkih karakteristika i vodopropusnosti stenskih masa).

Istraživanja obuhvataju terenska, rekognosciranje terena, zatim izradu istražnih bušotina i bunara (kao krajni proizvod konačne odluke korišćenja podzemnih voda za određene potrebe) i laboratorijska koja se odnose na utvrđivanje hemijskog sastava podzemnih voda i karakteristika uzorka stenskog materijala izvađenog tokom procesa bušenju. Bušenjem se utvrđuje hidrogeološki profil date lokacije, odnosno definišu se hidrogeološki kolektori - vodnosnik, koji će se koristiti za eksploataciju, kao i hidrogeološki izolator, odnosno uslovno vodonepropusni deo izdani, koji je bitan sa aspekta izgradnje deponije i ekosistemskih procesa. Hidrogeološke karakteristike određene lokacije (tipovi izdani, izvori, bušotine i ostali kaptažni objekti, hemizam vode, strukturno geološke karakteristike kao što su rasedi, navlake..) prikazuju se na hidrogeološkoj karti. Osnova za izradu hidrogeološke karte je geološka karta, odnosno litološke karakteristike terena (tipovi stena prema kojima se utvrđuje podela izdani). Svaku hidrogeološku kartu prati prognozni hidrogeološki profil čija pouzdanost i tačnost zavisi od profilisanih, izbušenih bušotina i bunara koji daju vertikalni prikaz date lokacije. Hidrogeološka karta i hidrogeološki profil su ispraćeni legendom.

Probim crpenjem na terenu, u bušotinama i bunaru, utvrđuje se određena količina vode koja se može eksploatisati a da se pri tome ne remeti kvantitativni režim izdani. Naime, ukoliko se voda upotrebljava u nekontrolisanim količinama i ukoliko se remeti prirodni balans između prihranjivanja i isticanja izdani, nakon izvesnog vremena može doći do opadanja nivoa podzemnih voda, odnosno do smanjivanja njihovih rezervi. Zato je potrebno utvrditi optimalnu količinu eksploatacije vode i izvršiti raspodelu vode prema prioritetima (voda za piće, tehnička voda, ...).

Kvalitativna i kvantitativna kontrola podzemnih voda se uspostavlja kontinuiranim monitoringom praćenja režima podzemnih voda pomoću pijezometara ili merenja nivoa i proticaja voda koje ističu putem izvora. Pijezometri predstavljaju istražne objekte pomoću kojih se prati nivo podzemnih voda (registruje se obaranje i porast nivoa) i kvalitet vode (prati se prirodni režim kvalitativnih parametara podzemnih voda ali se i registruju hemijske neispravnosti i anomalije koje mogu nastati dejstvom čoveka). Pomoću pijezometara se takođe može utvrditi povezanost površinskih i podzemnih voda, što je od ključnog značaja pri utvrđivanju kontaminacije podzemnih voda od strane zagađenih površinskih voda raznim čvrstim i tečnim otpadom.

Povezanost površinskih i podzemnih voda utiče na međusoban prenos zagađenja, a ovo je od velikog značaja kada se u ovim delovima nalazi bunar koji kaptira vodu za piće, i koji u svom radijusu dejstva može još više da privuče dospele zagađujuće materije. Radijus dejstva bunara je zona uticaja bunara, odnosno depresioni levak koji se formira usled eksploatacije vode, gde su strujnice vode usmerene od granične linije radijusa prema centralnom delu bunara^[14.9].

Prenos zagađenja zavisi od sadejstva kontaminirane vode i geoloških formacija. Gline i njima slične stene predstavljaju jako dobre izolatore, dok pesak, krečnjaci i intezivno ispucale i porozne stenske mase uslovljavaju brz prenos zagađujućih materija. U pojedinim slučajevima na svom putu podzemna voda se "samopročisti" prolazeći kroz pojedine stenske formacije kao na primer kroz šljunak i pesak, ali nakon dužeg vremenskog perioda.

Proces samoprečišćavanja, odnosno prepuštanje odgovornosti remedijacije podzemnih voda samoj prirodi je nedovoljno jer je i neizvesno. Čovek svojim pristupom i načinom ponašanja prema životnoj sredini pre svega treba da spreči bilo kakvu emisiju zagađujućih materija, a ukoliko se desi potrebno je na pravi način odgovoriti problemu (postojanjem strategije za vanredne situacije).

Na osnovu detaljne hidrogeološke istraženosti terena vrši se linearizacija zaštitnih zona, odnosno propisivanje i utvrđivanje sanitarnih zona zaštite. U svetu se ti kriterijumi razlikuju zbog različitih hidrogeoloških i hidrodinamičkih uslova (koji se utvrđuju detaljnim hidrogeološkim istraživanjima) koji vladaju od izvorišta do izvorišta, kao i zbog raznih postojećih i potencijalnih aktivnosti i urbanističkih planova u zoni zaštite podzemnih voda. Naime, potrebno je uskladiti niz aktivnosti sa linearizacijom zaštitnih zona, jer na primer ograničavanje bilo kakve aktivnosti na većoj površini terena ograničava mogućnost poljoprivrednog ili nekog drugog iskorišćavanja. U svetu je teško naći države sa identičnim pravilnicima koji zakonski regulišu ovu materiju. Zajednički princip je sistem zoniranja u tri ili četiri uže i šire zone zaštite prema kriterijumima koje je svaka zemlja pojedinačno utvrdila. Generalna podela je na tri osnovne zone: I zona (zona neposredne zaštite) odnosi se na administrativnu zonu fizičkog obezbeđenja koja obuhvata pojas od 10 do 50 m oko objekta, II zona (uža zona zaštite) se odnosi na zonu uticaja bunara (radijus dejstva bunara) i III šira zona zaštite obuhvata šire područje ili celo sliv posmatranog područja u zavisnosti od hidroloških i hidrogeoloških uslova terena.

Upravljanje podzemnim vodama, adekvatnim menadžmentskim pristupom, zakonskim normama i utvrđenom ekonomskom politikom daje se kompletan doprinos u okviru multidisciplinarnog pristupa njene adekvatne zaštite i održivosti.

Preporučena literatura i filmovi:

1. Dragišić, V., Živanović, V., 2014: *Opšta hidrogeologija, Rudarsko - Geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu*
2. <https://www.youtube.com/watch?v=8mfBomrw0rs>

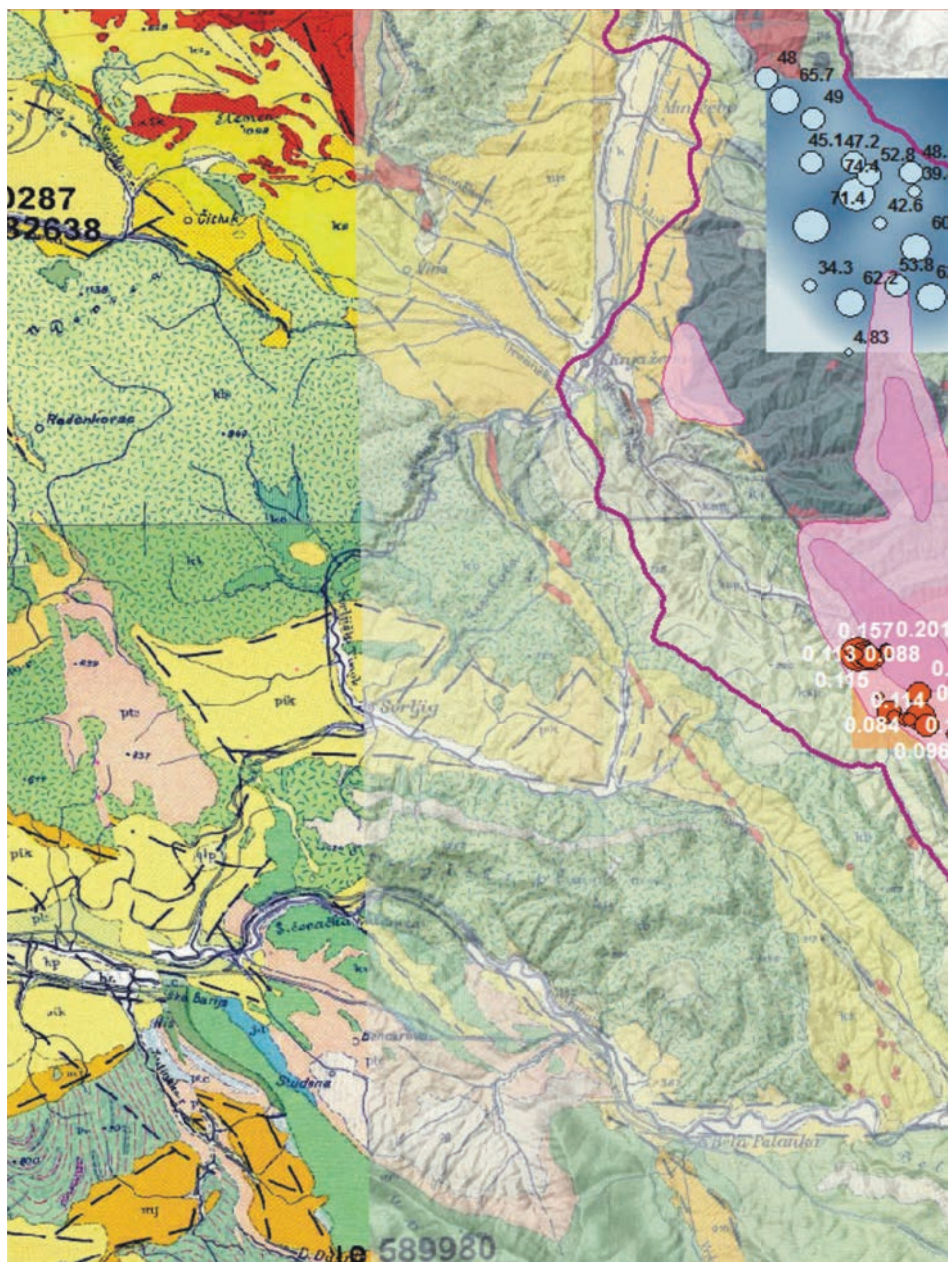
Reference:

- [14.1] Dragišić, V., Živanović, V., 2014: *Opšta hidrogeologija, Rudarsko - Geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu,*
- [14.2] <http://www.arheo-amateri.rs/2015/04/rimski-akvadukti-cudo-antickog-građevinarstva/>
- [14.3] Shiklomanov, I. A., 1993: *World fresh water resources, In P. H. Gleick (ed), Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, New Your, pp13-24*
- [14.4] Ristić Vakanjac, V., 2020: *Hidrologija I deo - Reke i rečni sliv, Rudarsko-geološki fakultet, u štampi*
- [14.5] <https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>
- [14.6] Prohaska, S., 2003: *Hidrologija I deo, Rudarsko-geološki fakultet.*
- [14.7] http://hr.wikipedia.org/wiki/Geotermalna_energija
- [14.8] http://sr.wikipedia.org/wiki/Toplotna_pumpa
- [14.9] Krešić, N., Vujasinović, S., Matić, I., 2006: *Remedijacija podzemnih voda i geosredine, Rudarsko - Geološki fakultet*

Slike u poglavlju:

- 14.1 *modifikovana* ^[14.2]
- 14.2 *preuzeta* ^[14.4]
- 14.3 *preuzeta* ^[14.4]
- 14.4 *preuzeta* ^[14.6]
- 14.9 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.10 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.11 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.12 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.13 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.16 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.17 *modifikovana* ^[14.1]
- 14.18 *modifikovana* ^[14.1]

GEOLOŠKA KARTA



15. GEOLOŠKA KARTA

Karta je dvodimenzionalni prikaz trodimezionalnog dela planete Zemlje, ali i drugih svemirskih objekata, npr. Meseca i Marsa.

Karte mogu biti raznih namena. Karta od koje se polazi u nekom radu je topografska karta, cela planeta Zemlja je danas detaljno topografski iskartirana. Važan proizvod kartiranja i savremene tehnologije je i ortofoto satelitski snimak.

Geološka karta prikazuje vrste stena, strukturne oblike, granice distribucije geoloških objekata, povećane koncentracije nekih elemenata, pozicije nekih bušotina, pojave mineralnih sirovina, rudnike i drugo. Geološku kartu prati geološki stub, vertikalna slika šematizovanih formacija od najstarijih do recentnih (skorašnjih) razvijenih na kartiranom prostoru. Obavezno se prikazuje profil sa jednim ili dva pravca - linijama prikazanim na geološkoj karti, profil je vertikalni presek terena po zamišljenoj ravni po nekom pravcu. Karta ima legendu kartiranih jedinica, male pravougaonike iste boje i šrafure kao i kartirana jedinica sa pratećim tekstom koji opisuje šta ta kartirana jedinica prikazuje. Svaka geološka karta ima svoj tumač – knjigu gde su date geološke karakteristike kartiranog prostora, opis stena od nastarijih do najmlađih, magmatske procese, karakteristične strukture i ležišta mineralnih sirovina^[15.1].

Gornji deo karte uvek prikazuje sever, dole je jug, desno je istok, a levo je zapad.

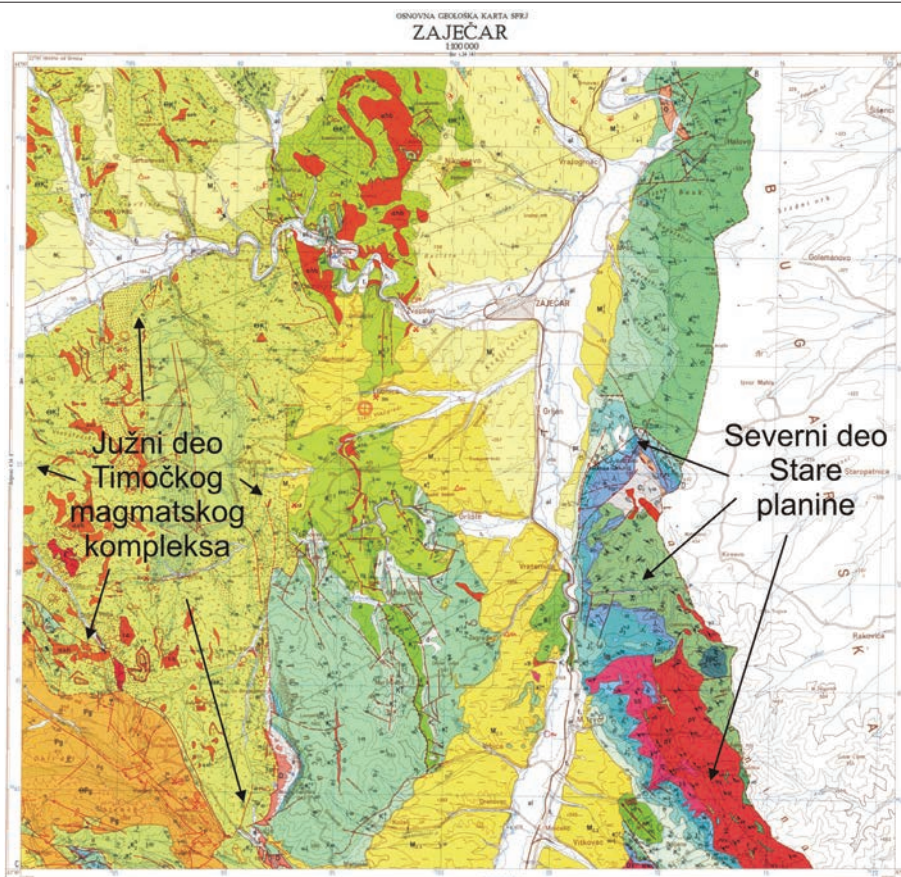
Sledi razvoj geološke karte na prostoru Srbije i bivših Jugoslavija koji u kratkim crtama ide sledećim redosledom ^[15.2]:

Geološka karta:

1. Kraljevine Srbije, 1:750.000, J. Žujović, 1886;
2. Stare Srbije i Makedonije, 1: 500.000, J. Cvijić 1906-1911;
3. Kraljevine Srbije, 1: 400 000, D. Antula i D. Simonović 1900;
4. Kraljevine SHS, 1: 500.000, J. Žujović, 1929;
5. Kraljevine Jugoslavije, 1: 1.000.000, od K. Petković, 1931;
6. FNRJ, 1: 500 000, V. Mikić, 1953;
7. SR Srbije, 1: 200 000, B. Milovanović i B. Ćirić, 1968 i
8. SFRJ, 1: 500 000, u izdanju Saveznog geološkog zavoda, 1971.

Izdvojili bi Geološku kartu Srbije 1 : 200.000, B. Milovanović i B. Ćirić, 1968, koja iako nije, naravno, precizna kao kasnija OGK SFRJ (1 : 100.000), daje lep i jednostavan prikaz geoloških jedinica na prostoru Srbije i jako je dobra za edukativne svrhe i pri pisanju preglednih radova. Prostor Srbije je prikazan na 10 listova 1:200.000.

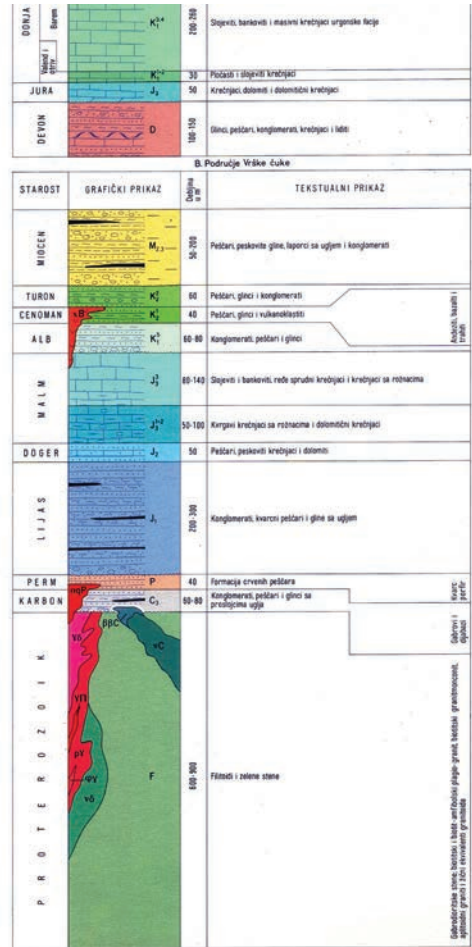
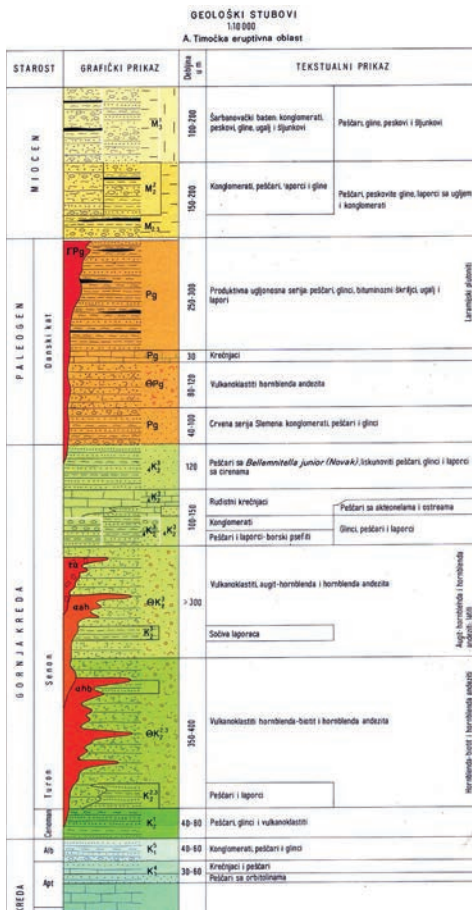
Posle pomenutih karata na našim prostorima tokom više decenija rađena je Osnovna Geološka Karta SFRJ u razmeri 1:100.000. Prikazan je prostor, od zapada prema istoku: Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Srbije i Makedonije. Karta je rađena na topografskoj osnovi 1:25000 gde se od 16 listova formirao jedan list razmere 1:100.000. Jedan broj geologa je proveo ceo svoj radni vek na izradi OGK SFRJ. Ove karte su rađene od 1959. do 1980. godine, dobrog su kvaliteta, štampane su na kvalitetnom papiru, danas je digitalizovana i rade se dopune od slučaja do slučaja. Puno informacija se može dobiti na sajtu <http://geoliss.mre.gov.rs/>.



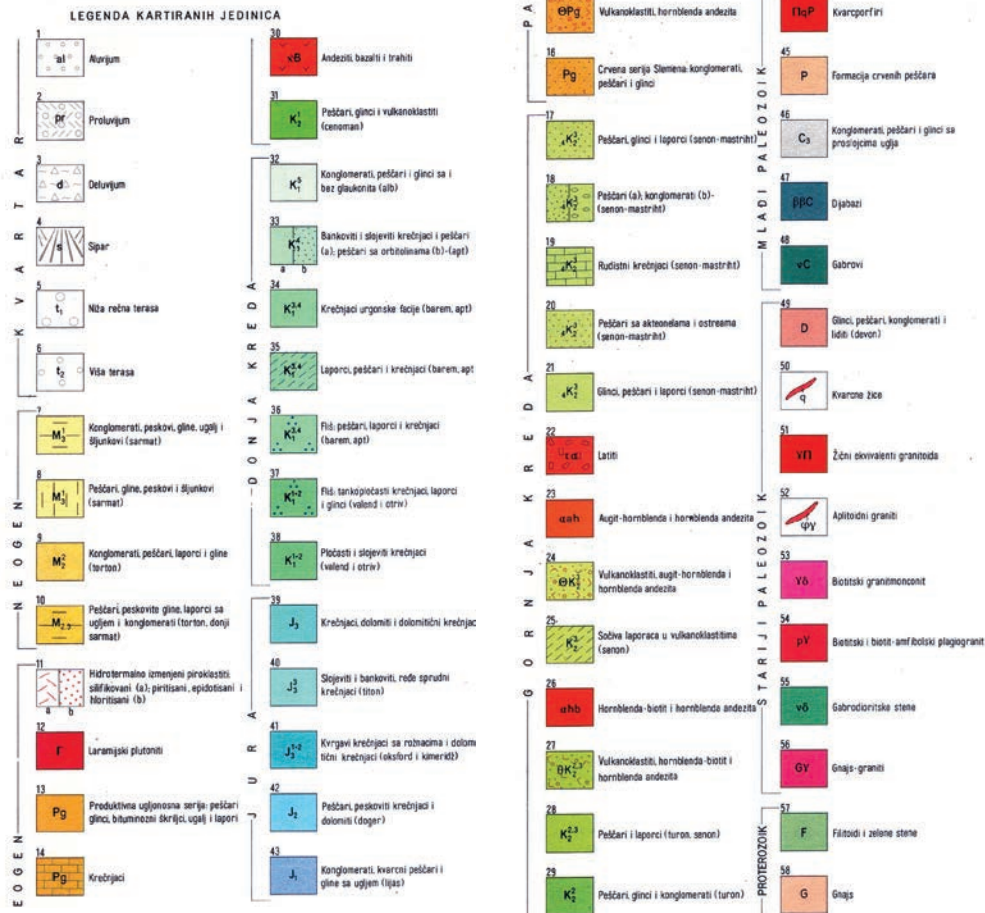
Slika 15.1: Osnovna geološka karta - OGK 1:100.000, list Zaječar, autori karte: Miroslav Veselinović, Ivan Antonijević, Čedomir Lončarević, Mihajlo Kalenić, Dušan Rajčević, Branislav Krstić, Vladimir Banković i Bogdan Rakić

Litološke jedinice su prikazane standardnim bojama i oznakama. Specifičnosti kao što su npr. hidrotermalne izmene stena su prikazane šrafurama ili tačkicama različite boje. Svaka jedinica ima oznaku slova i broja, kao K_1 – donja kreda ili J_3 – gornja (kasna) jura ili samo slova. Magmatske stene, takođe, imaju svoje karakteristične boje –

graniti su obojeni nijansama crvene i imaju oznaku grčkog slova gama - γ ili dijabazi koji su tamno plavo-zelene boje sa oznakom beta - β . Strukture su označene crvenom punom ili isprekidanom linijom, padovi su prikazani sa kratkom crnom linijom i brojčanom oznakom sa prikazanim pravcem pada. Prostor Srbije je prikazan na 80 listova 1:100.100.



Slika 15.2: Geološki stub OGK lista Zaječar, levo - gornji deo geološkog stuba koji prikazuje geološku istoriju razvoja prostora ovog lista od miocena do donje krede, desni - donji deo geološkog stuba prikazuje geološku istoriju razvoja prostora ovog lista od donje krede do proterozoika



Slika 15.3: Legenda kartiranih jedinica OGK lista Zaječar

Karta je rađena na elipsoidu (matematičkom modelu planete Zemlje) koji se zove Bessel 1841. Postoji puno elipsoida, suština je da su različitih dimenzija, od države do države. Danas su vrednosti elipsoida standardizovane na osnovu gravimetrijskih i magnetnih karakteristika planete Zemlje, a uzimajući u obzir i GPS (Global Position System). Sadašnji elipsoid koji je u širokoj upotrebi zove WGS 84 (World Geodetic System), a proizašao je iz merenja GRS 80 (Geodetic Reference System). Kartografska mreža OGK SFRJ je Gauss – Kruger za zone 5, 6 i 7, gde je referentna tačka Hermennskogel u Austriji. To je tačka odakle je rađen geodetski premer započet od geodeta Austro-Ugarske monarhije i nastavljen tokom Kraljevine Jugoslavije, a upotrebljen za osnovu geodetskog sistema SFRJ. Zone znače sledeće, kako grinički meridijan (meridijan je luk spaja geografske polove) ima vrednost 0, na 15-om stepenu (15°) od griniča je meridijan koji prolazi kroz Sloveniju, kako je širina zone Gauss-Kruger mreže 3

stepena, 1,5 na zapad i 1,5 stepeni na istok od odabranog meridijana, to je bivša SFRJ bila podeljena na tri zone gde su centralni meridijani bili na 15°, 18° i 21° od graniča (podeljeno na tri je 5, 6 i 7). U Bugarskoj je, takođe, bila primenjena Gauss Kruger mreža ali zona do Srbije je bila 8 – znači 24°, sa tim što je elipsoid bio „Koordinatni sistem 70“ baziran na elipsoidu Krasovski 1942-1983, drugačiji od elipsoida Bessel 1841. Pomenuto je navedeno da bi se ukazalo na problem različitih dimenzija elipsoida i mreža u kartografiji.

U razmeri 1:200.000 dostupan je pregledni „Geološki atlas“ Srbije koji se može preuzeti preko sajta <http://geoliss.mre.gov.rs/?page=atlas>.

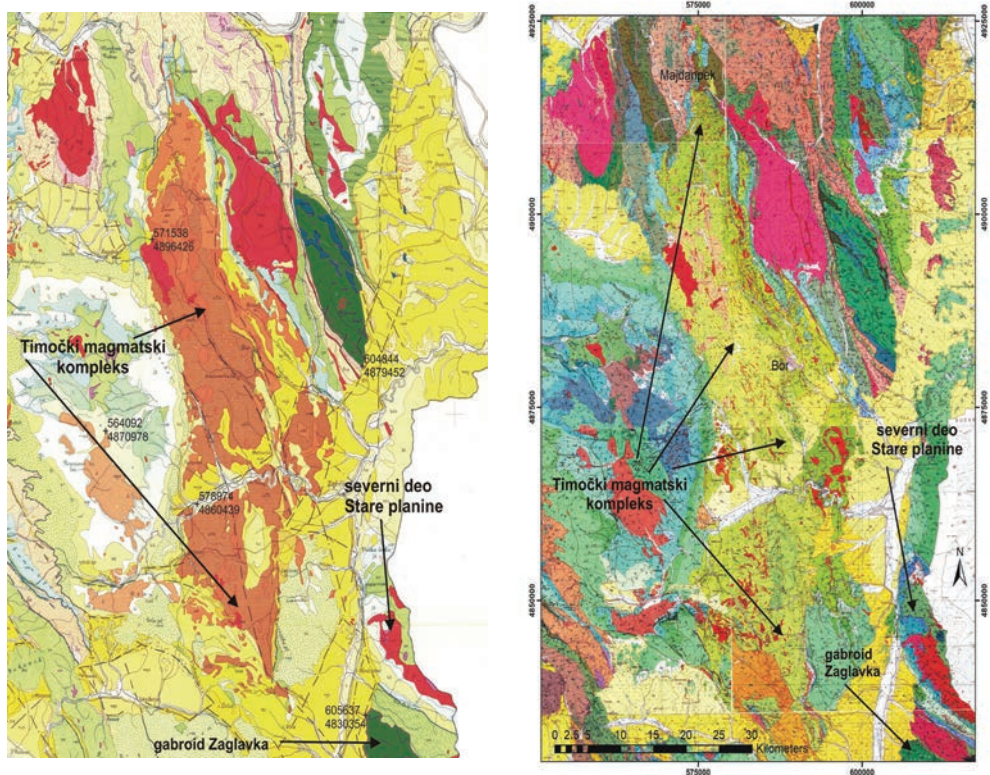
Kao primer daćemo dve karakteristične geološke strukture na prostoru Srbije (i Bugarske). Svi su čuli za ležišta bakra i zlata Majdanpek i Bor, kao i za Staru planinu. Manje je poznato danas široj javnosti da na području Stare planine postoje brojne pojave prirodne radioaktivnosti, pa čak i rudnici (sada zatvoreni) odakle se eksploatisala ruda urana.

Karta OGK 1:100.000 list Zaječar je prikazana iz razloga što se na karti vidi geologija južnog dela Timočkog magmatskog kompleksa i severnog dela Stare planine.

15.1 TIMOČKI MAGMATSKI KOMPLEKS

Majdanpek i Bor pripadaju geološkoj strukturi koja se zove „Timočki magmatski kompleks“ – skraćeno TMK. Tokom gornje krede došlo je do višefaznog vulkanizma srednje kiselog karaktera sa brojnim pojavama uglavnom andezita i andezitskog piroklastičnog materijala sa intruzijama za koje se smatra da su donele hidrotermalne rastvore. Dužine je nešto preko 80 kilometara, od Majdanpeka na severu do Bučja na jugu. Maksimalne širine je oko 25 kilometara. Smatralo se (ne i tvrdilo) do kasnih 90-tih da je produktivan samo severni deo TMK i tu su poznata ležišta bakra i zlata, pored ostalih: Majdanpek, Čoka Marin, Lipa, Čoka Kuruga, Cerova primarno, Cerova cementacija, Mali Krivelj, Veliki Krivelj, Brezanik, Tilva Roš i Borska reka. Ruda je predstavljena sa dve mineralne asocijacije i generalno dva tipa ležišta: 1. halkopirit-bornit-pirit-magnetit - ska: Majdanpek, Veliki Krivelj i Borska reka (tzv. niske sulfidizacije) i 2. kovelin-halkozin±enargit - pirijska: Brezanik i Tilva Roš (tzv. visoke sulfidizacije). Vulkanizam je višefazan. Vremenski posmatrano vulkanska aktivnost trajala je od cenomana do gornjeg mastrihta, najintenzivnija je bila u senonu (podrazumeva koniak, kampanj i delom mastriht) i gornjem mastrihtu (approx. 94 – 66 miliona godina). Pomenuti nazivi su „katovi“ gornje krede. Suština procesa nastanka rude je da su vreli hidrotermalni rastvori različitog sastava i kiselosti reagovali sa stenama kroz koje su prolazili, menjali ih – alterisali i tokom tih procesa deponovali sulfide bakra^[15.3].

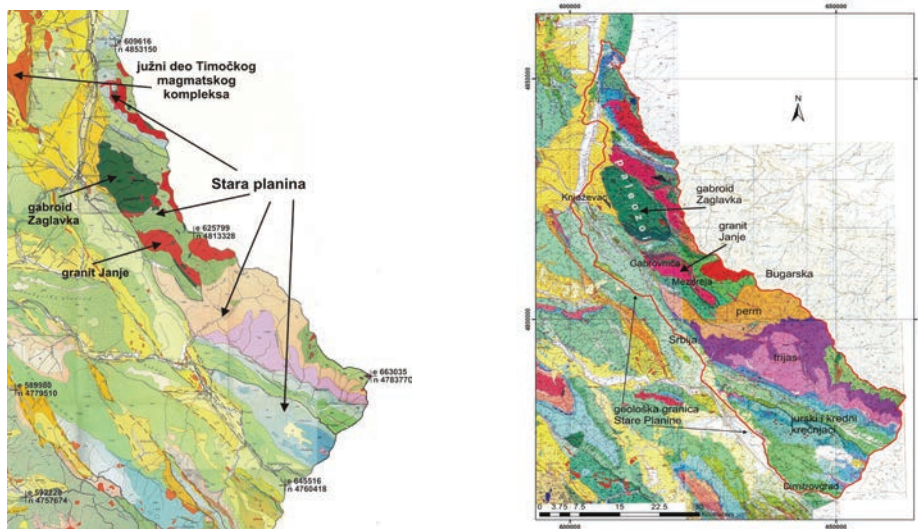
Slične strukture sa ležištima bakra postoje u Bugarskoj i eventualno se mogu pratiti do Burme. Na karti 1:200.000 TMK je prikazan narandžastom bojom kako se inače prikazuju srednje kiseli vulkaniti. Na OGK 1:100.100 izlivi andezita su prikazani narandžasto ali je piroklastični materijal prikazan zelenkasto jer se smatralo da treba da ima boju gornje krede, sa dodatom šrafurom za hidrotermalno izmenjene stene u ovom slučaju su nazvani “vulkanoklastiti” andezita sa hornblendom i drugim mineralima, tu su bile velike rasprave i diskusije, ali i to je deo nauke. Sa aspekta stranih kompanija TMK je bio prilično “popularan” tako da je sve što nije pripadalo nacionalnom preduzeću RTB Bor, je bilo pokriveno istažnim pravima zapadnih kompanija. Pomenuto je vezano za period posle 2000. godine pa do trenutka ulaska kineske kompanije Zidin u Srbiju. Sa istorijskog aspekta, a to treba znati sa aspekta zaštite životne sredine, ruda bakra u Boru je počela da se eksploatiše 1903. godine. Rudnik je otvorio Đorđe Vajfert. Dakle životna sredina se rudarskom aktivnošću devastira, prvenstveno formiranjem jalovišta, a kasnije preradom - prženjem i topljenjem rude, do danas (2019) skoro 116 godina, a i u budućće će, jer jednostavno ne postoji apsolutna zaštita životne sredine u ovim slučajevima. Ova “ekološka šteta” je nepopravljiva, međutim, stvorena je i ogromna količina novca, generacije su živlele od bakra i zlata iz Borske rudne zone.



Slika 15.4: Prikaz Timočkog magmatskog kompleksa i severnog dela Stare planine, levo - na geološkoj karti SR Srbije 1:200.000 iz 1968. godine autori B. Milovanović i B. Čirić, desno - isti prostor prikazan na OGK SFRJ 1:100.000, u ovom slučaju je to asemblaž od 8 listova

15.2 STARA PLANINA

Stara planina je “geološki asemblaž” – mozaik. Izgrađena je od potpuno različitih stena. Granice između ovih stena su “hladne” nema alteracija i drugih karakteristika “vrućih” kontakta. Sa severne strane uslovno se prati severno od Zaječara. Južnije, u svom “centralnom” delu na prostoru Srbije se nalazi ono što većina naziva Starom planinom, sa sličnom geologijom u Bugarskoj. Nastavlja se lučno prema jugoistoku, a kroz Bugarsku skoro po paraleli sve do Crnog mora. Ograničena je sa srpske strane rekama od njih, linija toka Belog Timoka. Uslovno od severa parte se metamorfiti i intruzivi različitog sastava. Od posebnog značaja kao izvor radioaktivnosti je granit Janje – crvene boje, intruziv kiselog sastava, paleozojske starosti (silur, devon), prikazan na slici 15.5. Kao orijentir za upoređivanje prikazanih struktura (Stare planine i TMK) jasno se izdvaja gabroid Zaglavka zelene boje, bazičnog sastava – takođe paleozojske starosti - silur, devon?. Kako se nastavlja prema jugu razvijeni su permski (kasni paleozoik) i donje trijaski sedimenti (rani mezozoik). Permski i donje trijaski sedimenti su predstavljeni uglavnom crvenim, a lokalno sivim peščarima – ovi sedimenti se nazivaju “šarena serija”. Nastali su raspadanjem i transportom pomenutih granita, gabroida i metamorfita razvijenih u severnom delu Stare planine. Proces raspadanja i sedimentacije se odvijao u kontinentalnim uslovima u toploj i vlažnoj klima. Hidroksidi gvožđa poreklom iz gabroida, minerali glina (iz raznih feldspata), radionukleidi i uran porekom iz granita Janje su deponovani u sedimente permske i donje trijaskie starosti. Tako da u okviru Stare planine primarna prirodna radioaktivnost je kod granita Janje, gde su bili rudnici Gabrovnica i Mezdreja, ruda urana je nastala u tektonskim prostorima kroz koje su cirkulisali vrući rastvori i uranovim koncentracijama obogatili pukotine i strukture. Sedimentno nastala, takođe, prirodna radioaktivnost je u okviru “šarene serije” permsko-donje trijaskie starosti^[15.4]. Mezozojski sedimenti jurske i kredne starosti su obojeni krem plavom i zelenom bojom, a po sastavu su uglavnom krečnjaci – sedimentne tvorevine nastale u mirnim uslovima u okeanu.



Slika 15.5: Prikaz Stare planine, levo - na geološkoj karti SR Srbije 1:200.000 iz 1968. godine autori B. Milovano-
vić i B. Čirić, desno - isti prostor prikazan na OGK SFRJ 1:100.000, u ovom slučaju je to asemblaž od 6 listova

Preporučena literatura:

1. *Geological Mapping Procedures*
https://www.researchgate.net/publication/313799558_Geological_Mapping_Procedures
2. *Geologic Maps, Portraits of the Earth*
<https://pubs.usgs.gov/gip/70039220/report.pdf>
3. *Basic Principles of Geological and Thematic Mapping*
<http://www.geology.cz/etiopie-2018/outputs/manual/basic-principles-of-geological-and-thematic-mapping.pdf>
4. *Геологическая карта мира*
http://www.200stran.ru/maps_group5_item303.html
5. *Osnovna Geološka karta SFRJ 1:100.000., Tumači, Savezni geološki zavod*

Reference:

- [15.1] Marović, M., 2005: *Geotektonika, autorizovana skripta, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd*
- [15.2] Dimitrijević, M., 1978: *Geološko kartiranje, udžbenik, ICS, Beograd*
- [15.3] Vakanjac, B., 2000: *Uporedna proučavanja tipomorfni paragenetskih odnosa u pojedinim ležištima bakra borske rudne zone, doktorska distertacija, Rudarsko geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.*
- [15.4] Masod Abdulquader, S., Vakanjac, B., Kovačević, J., Naunović, Z., Zdjelarević, N., 2017: *Natural Radioactivity of Intrusive-Metamorphic and Sedimentary Rocks of the Balkan Mountain Range (Serbia, Stara Planina), Minerals 8(1):6, DOI:10.3390/min8010006*

16.

GEOHEMIJSKA ISPITIVANJA



16. GEOHEMIJSKA ISPITIVANJA

Geohemija je nauka koja se bavi ispitivanjem - proučavanjem hemijskog sastava planete Zemlje i drugih kosmičkih tela, Sunca, Meseca, Marsa, asteroida, kometa, kao i kruženje hemijskih komponenti endogenim i egzogenim procesima u vremenu i prostoru^[16.1].

Nekada je direktnom analizom bilo moguće odrediti samo sastav stena i lave na Zemlji, kao i nađenih metalnih i kamenih asteroida. Od 1969. kada je čovek kročio na Mesec sovjetskim roverima Lunohod, a kasnije i NASA roverima na Mars ispituje se "in situ" hemijski sastav i drugih kosmičkih tela.

Postoje karakteristične asocijacije elemenata u stenama. Zna se da u ofiolitima - tokom subdukcije, otkinutim delovima okeanskog dna i sadašnjem okeanskom dnu, postoje u odnosu na druge vrste stena, povišene koncentracije npr. Ni, Cr i Mg. Takođe, u granitima su, opet u odnosu na druge stene, povišene koncentracije U, Th i Li. Stene se raspadaju, a pomenuti Ni, Cr, Mg i U, Th, Li mogu biti transportovani iz primarnih stena i deponovani na većoj ili manjoj udaljenosti u druge sredine ili ostati u produktu raspadanja in situ. Tako se uran može složenim procesima deponovati u peskovito - glinovite sedimente (ova ležišta se zovu "roll front" sedimentna ležišta urana). Za razliku od urana, nikl ostaje u serpentinitu, koncentracija mu se poveća i ova ležišta se zovu lateritska ležišta nikla^{[16.2][16.3][16.4]}.

Elementi mogu imati različit broj neutrona (različitu masu) u jezgri i to su izotopi, gde su pojedini izotopi istog elementa karakteristični za različite sredine. Ovo proučava izotopna geohemija.

Pojedina jedinjenja se rastvaraju u vodi, ili vodom mogu biti transportovane sitne hidratizane čestice, glina ili silicije sa vodom - $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$, kada se talože i dođe do gubitka vode, koncentrišu se i nastaju ležišta gline ili opala. Takođe, u reakciji sa različitim vrstama tla iz vode se mogu obarati elementi i jedinjenja.

Geohemija ima veliki, može se reći ogroman značaj u nauci o životnoj sredini. Koncentracije i izvori zagađenja se mogu sa velikom preciznošću odrediti geohemijskim istraživanjima.

Geohemijska anomalija je koncentracija nekog elementa koja je znatno veća od tzv. fonske ili uobičajne vrednosti za neko područje. Postoje zakonski određene koncentracije elemenata i jedan od termina je "maksimalno dozvoljena koncentracija"

ili MDK i remediaciona vrednost. Ako se radi o neorganskim elementima MDK, može da ukazuje na prirodno povišene koncentracije i antropogeno povišene koncentracije, oba slučaja su od značaja za životnu sredinu. Remediacione vrednosti ukazuju da je na nekom prostoru zbog izuzetno visokih vrednosti nekog polutanta potrebno intervenisati da bi se njegov uticaj na životnu sredinu smanjio ili ako je moguće prostor očistio.

16.1 SASTAV ZEMLJINE KORE

Često se koristi termin koncentracija nekog elementa po "Klarku i Vašingtonu". Frenk Klark i Henri Vašington su 1924. izdali čuvenu knjigu "The Composition of the Earth's Crust by Frank Wigglesworth Clarke and Henry Stephens Washington", knjiga se može naći na internetu. Podaci prikazani u knjizi su više decenija bili glavni izvor informacija o sastavu Zemljine kore. Kako će korisnicima ovog udžbenika biti potrebni podaci o distribuciji elemenata u Zemljinoj kori, ove informacije se mogu naći u niže, navedenoj literaturi.

Sledeća potrebna informacija u radovima vezanim za geohemiju će biti - koliko neki element prevazilazi maksimalno dozvoljene koncentracije "MDK". Na internetu postoje razna zakonska akti i izveštaji a neki od njih su:

1. Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja;
2. Uredba o graničnim vrednostima prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci koje zagađuju površinske vode i rokovima za njihovo postizanje, Službeni glasnik RS, br. 24/2014
3. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu: 30/2018-50;

Mogu se tražiti i podaci drugih zemalja, što je od značaja ako se radi o međunarodnim projektima i pisanju radova i tada se traži pod terminom "Maximum permissible concentration" in soils/waters/air. Jedinice u kojim se daju podaci su uglavnom:

1. grama po toni, g/t, ppm;
2. miligrama po kilogramu, mg/kg;
3. mililitra po litru, ml/l;
4. grama ili miligrama po kubnom metru, g/m³ ili mg/m³.

Geohemijska anomalija je koncentracija jednog ili više elemenata u stenama, zemljištu, vodi i vegetaciji nekog prostora koja se razlikuje od normalnih vrednosti (fon) za taj prostor.

Generalno koncentracije najzastupljenijih elemenata u Zemljinoj kori bi bile sledeće: kiseonika (O) 46,4%; silicijuma (Si) 28,2%; aluminijuma (Al) 8,32%, gvožđa (Fe) 5,63%; kalcijuma (Ca) 4,15%; natrijuma (Na) 2,36%; magnezijuma (Mg) 2,33%; kalijuma (K) 2,90%; titana (Ti) 0,57% i vodonika (H) 0,14%^[16.5].

16.2 GEOHEMIJA

Osnivačem geohemije se smatra Viktor Goldšmit (Victor Moritz Goldschmidt) koji je početkom XX veka nizom radova pod nazivom "Geochemijski zakoni raspodele elemenata" (Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente - The Geochemical laws of the Distribution of the Elements) objasnio koji elementi i koje asocijacije elemenata, minerala i stena se i zašto nalaze u određenim geološkim sredinama. Doktorirao je sa 24 godine, a sa 34 je dobio nagradu za svoj rad o metamorfizmu Kristijanije^[16.6].

Goldšmit elemente u smislu asocijacija i distribucije u geološkim sredinama deli na sledeće^[16.7]:

1. Litofilni elementi;
2. Siderofilni elementi;
3. Halkofilni elementi i
4. Atmosofilni elementi.

Litofilni elementi

Imaju afinitet prema stenama. To su: Al, Na, B, Ba, Be, Br, Ca, Cl, Cr, Cs, F, I, Hf, K, Li, Mg, Na, Nb, O, P, Rb, Sc, Si, Sr, Ta, Th, Ti, U, V, Y, Zr, W i lantanidi. Nazivaju se još i visoko reaktivnim metalima. Uključuju neke reaktivne nemetale i pored njih titan, cirkon i vanadijum. Pošto imaju veliki afinitet prema **kiseoniku** najviše litofilnih elemenata je koncentrisano u Zemljinoj kori.

Siderofilni elementi

Imaju afinitet prema **gvožđu**. To su: Au, Co, Fe, Ir, Mn, Mo, Ni, Os, Pd, Pt, Re, Rh i Ru. Retki su u zemljinoj kori zato što prave veze sa Fe u zemljinom jezgru pri velikim pritiscima i gde je Fe u čvrstom stanju. Pored pomenutih, u retke elemente u Zemljinoj kori spadaju i zlato, platina, paladijum, poznati kao plemeniti metali. Iridijum je izuzetno redak, toliko da je, između ostalog, po anomalijama Ir distribuiranim po planeti Zemlji, dokazan udarac meteorita u Jukatansko polustrovo koji se dogodio pre 65 miliona godina i doveo do izumiranja dinosaurusu.

Halkofilni elementi

Na grčkom halkos (Χαλκός) znači bakar, međutim, u kontekstu Godšmitove geohemijske klasifikacije, to su elementi koji u stvari imaju afinitet prema **sumporu**, a slab afinitet prema kiseoniku. Radi se o metalima: Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ga, Ge, Hg, In, Pb, Po, S, Sb, Se, Sn, Te, Tl i Zn. Ovo su tipični metali koji grade sulfidne minerale u rudnim ležištima. Kako su halkofilni elementi u sulfidima, koji su gušći od silikata, smatra se da su koncentrisani ispod litofilnih elemenata koji su u silikatnim jedinjenjima, nastali tokom primarne kristalizacije Zemljine kore.

Atmofilni elementi

Ovi elementi se nalaze uvek kao gasovi. To su: H, C, N i H. Ugljenik je svrstan u ovu grupu jer pravi jedinjenje sa kiseonikom - ugljen monoksid, koji se kasnije oksiduje do ugljen dioksida. Iako su najveće koncentracije vodonika u vodi, svrstan je u grupu atmofilnih elemenata.

16.3 GEOHEMIJSKE SREDINE

Mogu se podeliti na sledeći način:

1. Stene;
2. Regolit - tlo, zemljišta;
3. Slatke tekuće i stajaće vode i materijal koji nose;
4. Mora i okeani;
5. Atmosfera;
6. Biljke;
7. Životinje.

U ovoj knjizi ćemo se baviti prvenstveno opštim karakteristikama i uzorkovanjem stena, regolita i slatke vode (uključujući i suspendovani nanos, taloge i aluvijone).

1. Stene su u suštini izvor svih elemenata i jedinjenja na planeti Zemlji. Primarno su postojale samo magmatske stene. Sa pojavom vode i uslova kakvi su danas, promena temperature, atmosfera, živi svet i drugo, elementi na planeti Zemlji se kreću specifičnim ciklusima u zavisnosti da li se radi o hidrološkim, geotermalnim, biološkim ili nekim drugim ciklusima. U poznata 4 tipa magmatskih stena (ultrabazične, bazične, srednje kisele i kisele) očekuju se karakteristične asocijacije i opsezi koncentracija elemenata, minerala i jedinjenja. Često kod ispitivanja magmatskih stena pored mineralnog sastava se ispituju oksidi Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K i Ti i na osnovu toga se određuju tipovi ili varijeteti^{[16.3][16.8]}.

U nauci o životnoj sredini je potrebno nekad uzeti uzorak stene da bi se uporedio sastav sa npr. sastavom nekog kontaminiranog zemljišta. Na prostoru već puno puta pominjanog Zlatibora se ne očekuju povišeni sadržaji Cu i As već Ni, Cr i Mg, dok na prostoru Bora, Cu i As su u prirodno povišenim koncentracijama.

Krečnjaci mogu da eliminišu ("obore") neke štetne komponente koji se kreću kao rastvorene kiseline. U ugljevima koji su blizu površine ili koji su kontaktu sa podzemnim vodama mogu da se deponuju povišene koncentracije urana.

Uzorkovanje stena za hemijsku analizu treba da se izvede na izdanku - mestu gde je stena primarno na svom mestu, nije donešena i otkrivena (nije pokrivena vegetacijom). Uzorak se uzima sa više mesta na jednom izdanku. Treba koristiti čekić i dleto. Težina može da varira od 1 do 4kg. Što je veći uzorak rezultat je tačniji, ali treba voditi računa o vremenu, nošenju i svrsi za šta se uzorak uzima. Uzorak se stavlja u platnenu vreću i ubacuje se kartonska cedulja na kome treba da pišu koordinate, vrsta uzoraka, vreme uzimanja, ime i prezime osobe koja je uzela uzorak, svrha uzorkovanja, težina i kompanija. Uzorak se melje na, uslovno rečeno 70 meša - 210 μ m ili na sitniju granulaciju (meš - mesh, što je veća vrednost meša granulacija je manja, zrna su sitnija).

2. Regolit - tlo, zemljišta, je rastresit, nekonsolidovan, neorganski materijal koji se nalazi između primarne stene i atmosfere/hidrosfere. Treba imati u vidu da je ovaj materijal u stvari uvek i biocenoza sa svojim specifičnostima. Regolit postoji i na drugim kosmičkim telima npr. Marsu i Mesecu. Može da nastane kao ostatak raspadanja neke stene na mestu ili može da bude transportovan (vodom, vetrom, ledom) pa deponovan.

Regolit je izgrađen od: tla/zemljišta ili pedolita, aluvijuma, saprolita koji se deli na gornji i donji i saproka (osnovne neizmenjene stene).

Tlo/zemljište ili pedolit je nastalo dugotrajnim procesima raspadanja u atmosferskim uslovima uz delovanje živih organizama. Osnova je neorganski materijal koji se sastoji uglavnom od čestica gline, peska i šljunka. U gornjim slojevima je veća koncentracija organskih materija. U zavisnosti od karaktera zemljišta u njemu se mogu pod određenim uslovima deponovati različiti polutanti.

Saprolit je razorena, izlomljena i izmrvljena stena. Deli se na gornji - potpuno izmenjena, izmrvljena i oksidisana stena i donji - izlomljena, razorena stena delimično izmenjenog sastava.

Generalno pored prirodne distribucije elemenata, jedinjenja, minerala, vlažnosti i organizama koji žive u regolitu treba napomenuti da geohemijski posmatrano u gornjim delovima regolita su oksidacioni uslovi, a u donjim redukcionim.

Naravno, uvek postoje izuzeci, npr. kada su blizu površine ležišta uglja koja su uvek redukcionog karaktera i strukture duž kojih se kreće voda. Oksidacioni i redukcionni uslovi u regolitu se najbolje mogu videti u bušotinama, nekada i na svežim otkopima koji se rade tokom gradnje većih objekata. U procesu oksidacije se gube elektroni, materijal iz bušotina je žućkast, crvenkast i braonkast, različitih nijansi, ove boje nastaju zbog hidroksida i oksida gvožđa. U procesu redukcije se primaju elektroni, materijal iz bušotina je tada skoro beo bez žutih nijansi, svetlo do tamno siv, zelenkast svetlo sivo plavičast, skoro crn, moguće su pojave sulfida i organskog materijala. U redukcionnoj sredini su aktivni SO_4^{2-} i H^+ i dolazi do povećanja saliniteta podzemnih voda.

AD 1 i 2. Što se tiče stena i regolita razlikujemo rezidualni, transportovani i deponovani materijal. Rezidualni materijal je npr. primarna stena "in situ", nije došlo do degradacije i transporta. Transportovani materijal je odvojen od primarnog materijala i transportovan je na manje ili veće distance od rezidualnog materijala. Fragmenti manje transportovanog materijala imaju oštre ili ne zaobljene ivice, više transportovani materijal ima zaobljene ivice. Tokom transporta dolazi i do hemijskih promena, oksiduje se gvožđe iz minerala sa Fe, zatim Ca, Na i K se izlužuju iz feldspata u vodama sa pH ispod 7, pa nastaju i minerali glina i drugi procesi^{[16.3][16.9]}.

Uzorkovanje rastresitog materijala se vrši po prethodno određenim lokacijama ili se odluka donosi na terenu. Kada se prati zagađenje nekog prostora u vremenu, potrebno je ponavljati uzorkovanje više puta godišnje tokom godišnjih doba i u više-godišnjem periodu. Neka incidentna zagađenja treba pratiti dnevno, na primer kod provaljivanja jalovišta ili izlivanja cisterne koja je prenosila opasan materijal. Potrebno je nositi terensku opremu. U suštini uzorkovanje se vrši malim raskopima. Površinski sloj uglavnom nije reprezentativan zato što je izložen padavinima i vetru pa je potrebno uzeti uzorak sa neke dubine, najčešće ispod sloja trave, često sa iste pozicije treba uzeti dva, nekad i tri uzorka sa dubine od 10-25, 40-60 i 70cm ili 10, 50 i 100 cm što zavisi od slučaja. Posebno dobre rezultate distribucije elementa daje uzorkovanje po mreži. Mreže mogu biti različitih dimenzija, česte su 2x2km, 1x1km do 100x100m pa i 10x10m. Uzorak se uzima lopatom ili ašovom manjih dimenzija, treba voditi računa o premazima alata, boji koja može da se skine pri uzorkovanju i da promeni uzorak. Takođe, pri uzorkovanju treba skinuti zlatan nakit, zlato je mekano pa se prave legure sa srebrom, bakrom, niklom i to takođe može da poremeti uzorak. Za razliku od uzorka stene, materijal uzet iz regolita je rasteresit i može da bude vlažan pa ga je potrebno po dolasku u bazu ili mesto gde će se čuvati osušiti. Ako se ne osuši pošto površinski slojevi regolita sadrže vlagu i organizme, razvijaju se produkti raspadanja i neprijatni mirisi. Količina uzetog uzorka zavisi od slučaja, ali ne bi trebala da bude manja od 2kg. Kao i kod uzorkovanja stena, uzorci se stavljaju u platnene vreće sa oznakom na vreći i sa ubačenom kartonskom ceduljom.

3. Slatke, tekuće i stajće vode i materijal koji nose, posebno tekuće, nose ra-
stvorenja jedinjenja, hidratizane čestice i suspendovani nanos. Materijal koji nosi voda
se deli, sa aspekta geohemijskih ispitivanja na aluvijum, mulj, suspendovani nanos i
tešku frakciju - šlih.

Aluvijum je nanos koji je donešen vodenim tokovima. Vremenom reke mogu me-
njati korito (meandriranje) i velike količine nanetog materijala ostaju na mestu bivšeg
toka. Lokalno može imati anomalno povišene koncentracije nekog elementa u zavi-
snosti od stenskog materijala koji nosi i deponuje. Takođe, ako je karbonatnog ili ne
karbonatnog sastava ima i različite geohemijske osobine.

Mulj je jako sitnozrna frakcija. Obično je recentan - skorašnji, nov, uzima se pažljivo
rukavicama ili tankim ne obojenim gvozdenim alatom. Može da nosi razne polutante.
Količina uzetog mulja varira, nekad je prisutan u malim količinama. Uglavnom se
stavlja u najlon kese i u bazi ili skladištu se odvaja od vode i suši.

Suspendovani nanos je materijal koji nosi rečni tok. Sadrži rastvore i čestice. Pozna-
to je da se akumulaciona jezera pune ovim materijalom. Sitnozrni glinovito-peskoviti
materijal se deponuje u akumulacijama što za posledicu ima oplicavanje akumulacija,
odnosno akumulacija sa deponovanjem materijala sve manje količine vode može da
prihvati. Pri tome, ako se uzvodno nalaze jalovišta i deponije nastale eksploatacijom
metaličnih mineralnih sirovina, rastvoreni, primarno sulfidni materijal, npr. Pb, Z, As,
Cd i drugi bivaju nošeni vodenim tokovima i deponuju se u akumulacije npr hidro-
elektrana. Pored toga, iz komunalnih i divljih deponija ocednim vodama raspadnut
organski materijal, fragmenti plastike, stakla i drugog, takođe, se deponuju u akumu-
laciona jezera. Ovaj deponovani materijal posle više decenija rada neke hidroelektrane
postaje jako zagađen i opasan po životnu sredinu^[16,10].

Teška frakcija - šlih (stream sediment) se deponije na mestima gde, od zna-
čaja za geohemijska ispitivanja, potoci i manje reke, gube brzinu, pa se teže česti-
ce deponuju gravitacijom. Karakterističan primer je "ispiranje zlata" koje se vrši
zahvatanjem nataloženog materijala koji se posebnim sudom tanjirastog ili izdu-
ženo-tanjirastog oblika "ispitakom" (malo drveno korito) prepira vodom, gde lakši
silikatni materijal biva ispran vodom, a teži u kome se nalaze zrna jedinjenja Fe i/
ili druga i zlato talože na dnu. Preprani materijal se tretira živom koja amalgami-
ra zlato dok zrnca drugih teških jedinjenja ostaju. Amalgamirano zlato se obrađuje
plamenom, živa isparava, a zlato ostaje. Druga, čistija, varijanta izostavlja postupak
amalgamiranja i radi se uglavnom kada se zlato eksploatiše u većim aluvijonima i
projektima gde se koristi mehanizacija. Kad se radi "šlihovska prospekcija" uzi-
ma se sitna frakcija i nije potrebno da se eliminišu svi nemetalični minerali. Ovaj
materijal se obrađuje mikroskopski, i takođe se melje pa se rade hemijske analize.

Kada ima više šljunka i drugog nanosa potrebno je raskopati nanet materijal da bi se došlo do dubljih nivoa, iz razloga što teži sitnozrni materijal se kontinualnim tokom reke, promenom vodostaja i brzine, pomera i pada do primarne stene "bedrock", pa ga je potrebno uzeti ispod šljunka^[16,10].

16.4 METODE ISPITIVANJA UZORAKA

Jedna od najvažnijih informacija koju treba da dobijemo geohemijskim ispitivanjima je hemijski sastav uzorka. Danas je to relativno jednostavno. Nekada su morale da se rade dugotrajne i mukotrpne analize analitičke hemije ili spektralne analize gde su se merile gustine linija, tragova elemenata na fotografskoj ploči posle spaljivanja uzorka u grafitnim elektrodama i druge. Postoje dva uređaja (pored ostalih) koja daju brzu i tačnu analizu. To su XRF i AAS analizatori. Napominjem da se rade mnoge složene analize skupim uređajima u specijalizovanim laboratorijama i neke će biti spomenute kasnije.

XRF – Rendgenska Fluorescentna Analiza – X Ray Fluorescence. Ovom metodom može da se odredi do 80 elemenata periodnog sistema. Nivo tačnosti je gram po toni g/t, druga oznaka za istu veličinu je ppm – parts per million, nije prihvaćena od Međunarodnog sistema jedinica, ali se uveliko koristi u praksi. Mogu da se mere i procenti, ali su vrednosti grama/toni uglavnom od značaja za ispitivanje koncentracija polutanata. Proces se odvija tako što rendgensko ili X zračenje - fotoni (dijapazon elektro magnetnog zračenja) visoke energije izbace pogođene ili ekscitovane elektrone (uprošćeno pobude – daju im veću energiju) iz svojih K, L ili M orbitala i nastaju prazni prostori na tim mestima. Elektroni nižih energija popunjavaju ta prazna mesta – šupljine u vrlo kratkom vremenskom intervalu - jako malim delovima sekunde. Tada nastaje specifično fluorescentno zračenje (fluorescencija) koje se meri. Talasna dužina fluorescentnog zračenja se izračunava iz Plankovog zakona. Dakle, materijal emituje zračenje koje ima karakteristike atoma koji se u probuđenoj probi nalaze. Detekcija se odvija proporcionalnim detektorima koji su u čvrstom stanju tzv. PIN diode sastava Si(Li) – silicijum-litijum, Ge(Li) – germanijum-litijum i drugi. Dolazni foton (onaj foton što je nastao padom elektrona nižih energija u šupljine u orbitalama je u stvari fluorescencija) jonizuje veliki broj atoma detektora – proporcionalno dolaznoj energiji nastaloj fluorescencijom. Nastaju električni impulsi koji se složenim procesima u prijemniku i razdvajanjima "spliterima" mere. Dakle, potrebni su emiter X zračenja i prijemnik fluorescentnog zračenja. Ovo je suština procesa funkcionisanja merenja koncentracija elemenata XRF uređajima. Velika prednost ovih uređaja je što su relativno mali, prenosni, mogu se lako povezati za razne vrste računara, metoda je nedestruktivna, mogu se nositi na teren. Ima više vrsta i proizvođača, Termofisher, Olympus, Skyray i drugi. Mi smo konkretno imali izvanredna iskustva sa uređajem Termofisher Niton XL3t u Mongoliji tokom istraživanja urana i Termofisher Niton XL3t gold⁺ kojim

su ispitivane probe sa Stare planine, oblasti grada Al Zintan u Libiji i drugim lokacijama. Proba za geohemijska ispitivanja u životnoj sredini treba da je sitnozrna i suva, ako je potrebno treba je samleti na bar 70 mesh-a – 0,210mm. Proba se u pomenutom uređaju može da ispituje u modovima test all geo i soil. Dijapazoni merenja traju po 60 sekundi za specifične filtere. Preporučujemo merenje u trajanju od 240 sekundi, dakle 4 minuta u modu test all geo sa svim uključenim filterima. Uređaj je u kutiji i ne proizvodi štetno zračenje po operatera. Probe se pripremaju u specijalnim plastičnim kutijicama gde je deo izložen zračenju prekriven veoma tankom plastičnom folijom, a moguće je, uzorak staviti u tanke male najlon kese u količini od 20 do 30 grama, što je praktično i jednostavno. Takođe, iako je uređaj moguće nositi na teren, ovo ne preporučujemo, zato što su emiter X zračenja i detektor mali i lako se mogu oštetiti, udarom, vodom i sl. Cena uređaja je od 30000 do 35000 evra, a jedna analiza “pucanje” za sva 4 filtera je između 17 i 20 evra u svetskim laboratorijama. Važno je napomenuti da uređaj ne treba “paliti i gasiti” tj. uključivati i isključivati za vreme kratkih pauza, treba oko 10-ak minuta da se kod uređaja uspostavi sistem. Potrebno je odrediti probe koje će se raditi, izvršiti merenja i po gašenju uređaja ostaviti ga da se ohladi u potpunosti bar 8 časova. U slučaju pregrevavanja sistem obaveštava operatera i tada je potrebno ostaviti uključen uređaj na “stand by” bez rada 20-ak minuta i potom nastaviti sa radom. Po pravilu 5% analiza urađenih na XRF uređaju treba da se proveriti na atomskom apsorberu – AAS^{[16.11][16.12]}.

AAS – Atomska Apsorpciona Spektroskopija – Atomic Absorption Spectroscopy.

Ovom metodom može da se odredi 70 elemenata periodnog sistema. I ovde se dobiju vrednosti koncentracija g/t. Za ovu metodu je potrebna laboratorija, uređaj je većih dimenzija i potrebna je specifična priprema uzorka. Suština je da se uzorak prevedu u rastvor, gde se posebnim hemikalijama rastvaraju npr. sulfidi, oksidi i sl., za šta postoje procedure. Rastvor se raspršivačima dovodi u plamen, gde pojedini elementi pri procesu gorenja puštaju specifičnu svetlost, određene talasne dužine. AAS metoda se bazira na Beer-Lambertov-om zakonu. Uređaj funkcioniše na sledeći način: sa jedne strane je detektor, u sredini je plamnik gde se raspršuje rastvor, a sa druge strane je izvor svetlosti – lampa karakteristične talasne dužine za pojedini element. Lampa određene talasne dužine svetlosti koja je specifična za neki element i definisanog intenziteta - svetli tokom merenja. Tokom gorenja probe svetlost koju ispušta određeni element se preko monohromatora odvaja od količine svetlosti koju daje lampa. Ovo se prevodi u detektor i dobija se ispitivana koncentracija elementa od interesa^{[16.11][16.12]}. Meri se sadržaj jednog po jednog elementa i lampe se moraju za svaki element menjati, naravno proces je automatizovan, meri se npr. Ni sa jednom lampom, Cu sa drugom, Zn sa trećom itd. Pre rada sa serijom proba potrebno je izvršiti podešavanje uređaja preko standarda – rastvora sa poznatim koncentracijama elemenata.

Pomenute dve metode su u praksi često praćene observacijom uzoraka u **binokularnoj lupi** ili **mikroskopu**, a kada se radi o neorganskom materijalu mogu se praviti preparati koji se posmatraju u propuštenoj ili odbijenoj svetlosti.

Ako je moguće potrebno je utvrditi i mineralni sastav jer možemo na osnovu toga da zaključimo da je povišena koncentracija nekog elementa prirodnog porekla. Uveličanja u optičkom mikroskopu su do 1500 puta.

Često se polutanti vezuju za organski, glinoviti materijal i Fe hidrokside, tako da bi pri pripremi uzoraka trebalo izbegavati “pranje” vodom ili nekim rastvaračima. Ako smo izvršili merenja / hemijske analize i imamo lupom vidljivu frakciju trebalo bi je ispitati i mikroskopski.

Pomenuto su brze i jeftine – standardne metode, slede specifične metode gde se neće detaljno objašnjavati funkcionisanje uređaja, ali ćemo ih navesti.

Neutronska aktivaciona analiza - Neutron activation analysis (NAA) – uzorak se bombarduje neutronima čime od elemenata nastaju radioaktivni izotopi. Karakteristike radioaktivnih emisija (A. alfa čestice – jezgro helijuma – 2 neutrona i 2 protona, B. beta čestice – brzi elektroni – elektroni visoke energije i C. gama zračenje – fotoni) i vreme poluraspada novonastalih izotopa su poznati. Mogu se meriti koncentracije elemenata koje su manje od 1 g/t. Ova metoda se koristi pri ispitivanju koncentracija zlata u probama, zato što je zlato mekano i pri mlevenju i homogenizaciji u centrifugama pravi nepravilne koncentracije, pa rezultati često mogu biti pogrešni.

Masena spektrometrija – Koristi se ispitivanje izotopa elemenata jer izotopi imaju različite mase. Molekuli se izlažu energiji koja izbacuje elektron/e – ovo je proces jonizacije. Zatim se jonizovani izotopi dovode u analizator gde se razdvajaju po težini ili naboju. Razdvojeni materijal se detektuje. Poznata primena je kod utvrđivanja starosti organskog materijala preko izotopa ugljenika C12/C14.

Elektronska mikroskopija i elektronska mikroanaliza – Funkcioniše tako što koristi snopove elektrona koje fokusira u elektromagnetno polje. Proba treba da bude u čvrstom stanju, lepo ispolirana i prevučena grafitnom ili ređe zlatnom veoma tankom prevlakom da bi se iz sistema odveli (sekundarni) elektroni koji nastaju u procesu. Generalno i uprošćeno dešavaju se dve stvari: 1. Izbijanje elektrona iz probe i 2. stvaranje luminiscencije. Što je element teži na ekranu se vidi kao svetliji. Moguće je postići uveličanja do 100.000 puta. Kako pri reakciji elektronskog snopa sa probom tj. izbijanjem elektrona u probi nastaje i rendgensko – X zračenje, mogu se preko detektora (Si-Li npr.) dobiti informacije o hemijskom sastavu ispitivanog mesta na probi. Kod elektronske mikroanalize se snop fokusira na tačku vrlo malih dimenzija i u pomenu toj reakciji upada elektronskog snopa visoke energije u probu i izbijanja elektrona iz probe zatim nastanka X zračenja i luminescencije, dobijene elektromagnetne energije se mere i dobijaju se informacije o hemijskom sastavu^[16.13].

Gama spektrometrija – su metode za detekciju uprošćeno – radioaktivnog zračenja ili stručno detekciju alfa čestica, beta čestica i gama fotona. Ima raznih tipova i vrsta. Suština je da čestica ili gama foton udari u detektor i izazove izbijanje elektrona koji se detektuje. Jedan od klasičnih detektora za gama zračenje je natrijum-jodid, kristal gde je Na sa dodatkom male količine talijuma (Tl). Uređaji mogu biti i sa gasnim jonizatorom i drugi. Takođe, mogu biti različitih veličina, veliki za avio gama spektrometriju, nešto manji za auto gama spektrometriju, ručni itd. Jedan od uređaja sa kojim smo imali iskustva je Exploranium GR135 Identifier - Radiation Identification Device, ručni uređaj kojim je na terenu moguće meriti radioaktivnost izraženu u total gama impulsima u sekundi ili minuti i koncentracije urana, torijuma i kalijuma. Takođe, moguće je vršiti merenja u zadatom vremenu koja se memorišu na uređaju i kasnije se podaci prenesu na računar. Na našem tržištu dostupan je uređaj Gamma scout – radi po principu Gajger-Milerovog brojača kojim se mogu meriti gama, beta i alfa zračenje i jedinice su mili siverti na čas – mSv/h. Gajger-Milerov brojač je u suštini cev ispunjena plemenitim gasom, helijumom, neonom ili argonom i funkcioniše tako što kada radioaktivna čestica ili gama foton udare u cev sa gasom, gas postaje provodnik^[16,13].

Postoje i druge analitičke metode, ali bi njihovo objašnjenje prevazilazilo svrhu ove knjige.

16.5 ANALIZA I PRIKAZ REZULTATA

Rezultati se čuvaju i obrađuju u bazama podataka, uvek su povezani sa rezultatima kartiranja koje je neophodno sprovesti tokom procesa uzorkovanja. Objekti se moraju definisati u koordinatnom sistemu, opisati i uraditi dokumentacione fotografije. Sve ovo ide u izveštaj i prave se karte distribucije merenih elemenata, polutanata i sl.

Neophodno je dati tabelarne prikaze merenih podataka. Obično u gornji red tabele ide: redni broj, naziv obseravcione tačke, koordinate – prvo za istok zatim za sever, merena vrednost od interesa npr. Ni ppm ili Ni_g/t, U ppm – U_g/t, As ppm – As_g/t i sl., zatim napomena – uzorak uzet sa površine ili sa 30cm dubine, težina uzorka i drugo.

Podaci se na karti mogu prikazati na različite načine. Najjednostavnije je da se koncentracije polutanata daju na podlogama u vidu tačaka različitih veličina. Prikazivanje koncentracija nekog elementa različitim bojama dovodi do zabune. Nepisano pravilo je da se različiti elementi prikazuju različitim bojama, a njihove koncentracije krugovima (kvadratima, trouglovima...) različite veličine, što je veća koncentracija simbol je veći. Takođe, korišćene boje za pojedine elemente (nigde nije definisano) su za - Pb, Zn, W nijanse sive, za Fe – mrko-crvena, As – narandžasta, Hg i U – crvena, Th, Cr i Cu – nijanse zelene... Vrednosti se mogu prikazivati i tačkama iste veličine sa

nijansama iste boje, gde se naveće koncentracije prikazuju bojom najvećeg intenziteta, ovo se primenjuje kada se radi interpolacija merenog elementa na karti. Tada se dobijaju površine obojene različitim nijansama boje kojom prikazujemo distribuciju elementa, a na mernim mestima su tačke. Mogu se prikazati i granice koncentracija sračunate interpolacijom na kojima se stavljaju vrednosti npr. linije koje prikazuju 10 g/t, 20g/t, 50g/t itd.

Kada se radi uzorkovanje po mreži, što je čest slučaj potrebno je uraditi posebne karte za svaki mereni element ili jedinjenje od interesa.

Podloge na kojima se prikazuju rezultati mogu biti topografske karte, ortofoto snimci, neme karte, karte reljefa i druge. Na kartama obavezno mora da postoji legenda sa prikazom simbola i koncentracija merene komponente, razmernik u vidu linije koji označava 100m, 500m, 1km, 2,5km...10km i sl., zatim oznaka za sever, naslov karte (npr. Distribucija arsena) i koordinate prikazane kao linije sa vrednostima na ivici karte ili kao krstići na mesima preseka koordinata.

U tekstu je potrebno opisati razloge uzorkovanja, metode rada (konsultovanu literaturu, terenske radove, laboratorijsku pripremu uzoraka, instrumentalne metode merenja), prikazati rezultate, objasniti rezultate i dati zaključak.

16.6 PRIMER GEOHEMIJSKIH ISPITIVANJA NA PROSTORU ARHANGAJA (ZAPADNA MONGOLIJA)

Na kraju ovog poglavlja daćemo jedan tipičan primer primene geohemijskih metoda pri istraživanju ležišta mineralnih sirovina, konkretno bakra i cinka.

Tokom 2009. godine uzeto je na prostoru centralne i zapadne i jugozapadne Mongolije oko 5000 geohemijskih uzoraka koji su ispitani na Au, Ag, Cu, Pb, Zn i druge. Prikazani prostor se zove Arhangaj i nalazi se u zapadnom delu Mongolije. Kao osnova uzeti su višedecenijski podaci istraživanja geologa bivšeg SSSR-a i Mongolije.

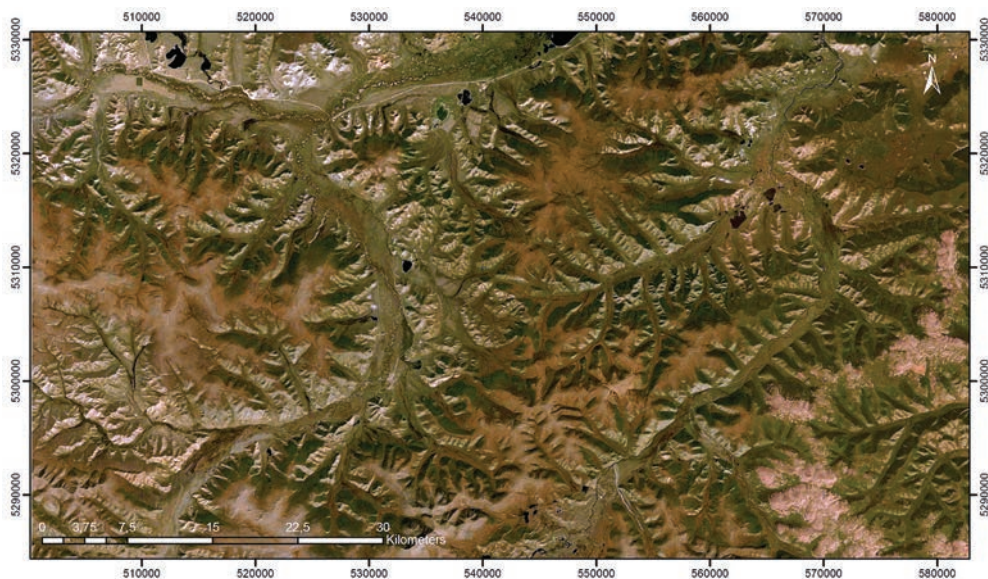
Uzorci su iz potencijalnih zona uzimani na dva načina: 1. kao uzorci stena - tzv. rock chip i 2. uzorci deponovanog nanosa (postoje rezidualni, transportovani i deponovani), tzv. steram sediment, tu je još i termin šlih - teška frakcija iz vodotokova. Kako u Mongoliji nema čestih vodotokova, uzimani su uzorci na osnovu morfologije terena. Uzorci stena se uzimaju razbijanjem stenskog materijala čekićem u težini do 4kg. Uzorci deponovanog nanosa se uzimaju iz malih raskopa širine do 1-2m i dužine do 5m, materijal se propušta kroz sita različitih dimenzija.

Karte koje slede su karakterističan metodološki rezultat pomenutih ispitivanja.

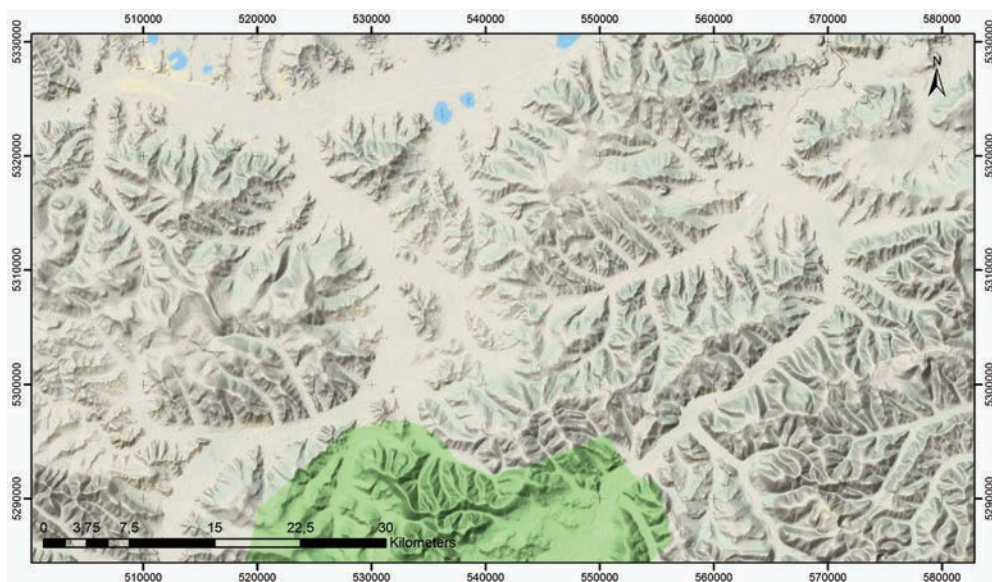
Treba znati da se na sličan način vrši uzorkovanje tla, zemljišta, mulja, raznih taloga i drugog materijala u svrhu nalaženja potencijalnih polutanata u životnoj sredini. Rekonstrukcijom koncentracija sa pozicija uzetih uzoraka na terenu se relativno jednostavno i lako nalaze izvori zagađenja.



Slika 16.1: Šematski prikaz pozicije ispitivanog prostora



Slika 16.2: Satelitski ortofoto snimak ispitivanog prostora (SASPlanet, ESRI Imagery)



Slika 16.3: Model morfologije terena ispitivanog prostora (SASPlanet, Google Landscape)



Slika 16.4: Izlomljeni komadi stene sa izdanka "in situ" pripremljeni za pakovanje (foto: B. Vakanjac)

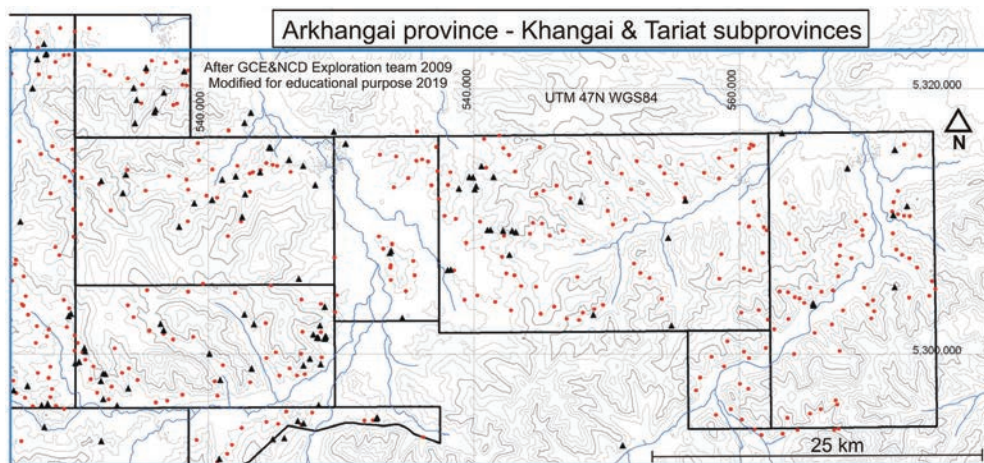


Slika 16.5: Hematitisanii vulkaniti (crvenkasto) uzorka ARH2618 i narandžasta tračica kojom se označava pozicija uzimanja uzorka (foto: B. Vakanjac)

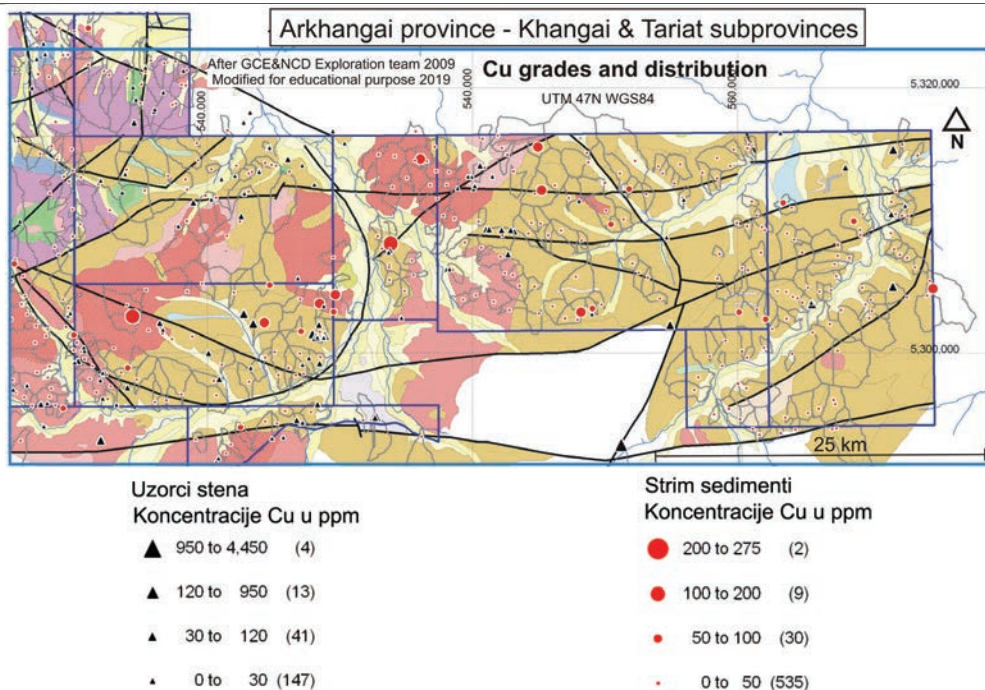


Slika 16.6: Pozicije rezidualnog, transportovanog i deponovanog materijala
(foto: B. Vakanjac)

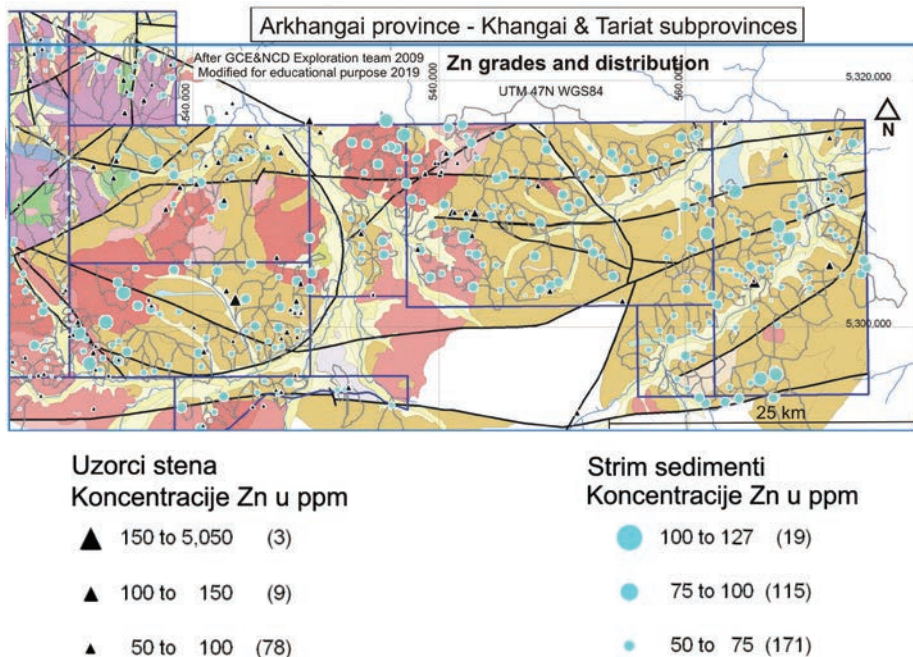
Slika 16.7: Uzorkovanje deponovanog materijala
(detalj sa fotografije 16.6)
(foto: B. Vakanjac)



Slika 16.8: Pozicije uzorkovanja stenskog materijala (crni trouglovi) i nevezanog deponovanog materijala (crvene tačke)



Slika 16.9: Distribucija i koncentracija bakra dobijena na osnovu izvršenog geohemijskog uzorkovanja i rezultata laboratorijskih analiza



Slika 16.10: Distribucija i koncentracija cinka dobijena na osnovu izvršenog geohemijskog uzorkovanja i rezultata laboratorijskih analiza

Napomena: uz slike 16.9 i 16.10: Intruzivne stene su prikazane nijansama crvene boje, vulkanske stene nijansama zelene, sedimentne stene su oker do braonkaste, metamorfiti su ljubičastih nijansi, aluvijoni vodotokova su žute boje.

Preporučena literatura:

1. David Draling, *Elements, Terrestrial Abundance*, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/E/elterr.html>;
2. Barbalace Kenneth, *Periodic Table of Elements. Environmental Chemistry.* com <https://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/>;
3. WebElements;
4. Jefferson Lab, *It's Elemental — The Periodic Table of Elements*, <https://education.jlab.org/itselemental/index.html>,

Reference:

- [16.1] McSween, Jr., Harry, Y., Huss, G. R., 2010: *Cosmochemistry*, Cambridge University Press, Cambridge, England
- [16.2] Albarède, F., 2007: *Geochemistry: an introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, England
- [16.3] McSween, Jr., Harry, Y., Richardson, S. M., Uhle, M. E., 2003: *Geochemistry pathways and processes*, Columbia University, New York, USA
- [16.4] Maksimović, Z., 1995: *Geohemija, autorizovana skripta*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [16.5] Smith, F. J., 1911: *Petrology*, In Chisholm, Hugh (ed.). *Encyclopædia Britannica*. 21 (11th ed.). Cambridge University Press. pp. 328–333.
- [16.6] Mason, B., 1992: Victor Moritz Goldschmidt: father of modern geochemistry, *Geochemical Society, San Antonio*
- [16.7] Goldschmidt, V., 1937: *The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks*, The seventh Hugo Müller Lecture, delivered before the Chemical Society". *Journal of the Chemical Society*: 655–673.
- [16.8] Đorđević, V., Đorđević, P., Milovanović, D., 1991: *Osnovi petrologije*, Nauka Beograd, Beograd
- [16.9] Miller, A., 1953: *The Skin of the Earth*, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Volume 80, Issue 343, London (Methuen)
- [16.10] Dimitrijević, N. 1988: *Hidrohemija*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [16.11] Rajković, M. B. et al., 1993: *Analitička hemija, Savremena administracija*, Beograd
- [16.12] Savić, J., Savić, M., 1987: *Osnovi analitičke hemije*, Svjetlost Sarajevo, Bosna i Hercegovina
- [16.13] Workman Jr. J., Springsteen, A., (Eds.), 1998: *Applied Spectroscopy*, Academic Press

17.

LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA



17. LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA

Eksplatacija mineralnih sirovina, njihovo istraživanje i proučavanje je jedna od najvažnijih privrednih i industrijskih delatnosti. Velike količine sredstava se troše u cilju nalaženja novih rezervi mineralnih sirovina. Rudno-mineralne rezerve, postrojenja za preradu i topljenje rude, rudnici uglja, nafta su glavni izvori prihoda nekih zemalja.

Istraživanja, a posebno eksploatacija i prerada mineralnih sirovina mogu, a često i dovede do izražene devastacije životne sredine, u vidu zagađenja zemljišta i voda različitim polutantima, uništenja bioceneza a često dolazi i do nepopravljive štete. Sve ovo utiče na zdravlje ljudi. Poznati su incidenti "Londonske magle" iz decembra 1952., višedecenijskog Minimata sindroma zbog trovanja živom u Japanu, nuklearne katastrofe u Černobilu iz aprila 1986., izlivanja nafte iz tankera, emanacije gasova i devastacije zemljišta i voda iz metalurških postrojenja - u Srbiji je to slučaj sa gradom Bor, ispuštanje gasova "staklene bašte" - posebno CO₂ koji, pored ostalih gasova, nastaje pri sagorevanju fosilnih goriva i mnogi drugi. Osim toga ugljevi, nafte i uljni škriljci nose uvek neku količinu sumpora koji njihovim korišćenjem dospeva u životnu sredinu. Pri eksploataciji mineralnih sirovina uvek dolazi do morfološkog narušavanja terena. Opet treba biti realan u sagledavanju ovih problema jer se mnogih "blagodeti" civilizacije ne bi odrekli tako lako.

Ovde se sukobljavaju različiti interesi i načini razmišljanja. Sredstva koja se troše i zarada koja se dobija istraživanjem i eksploatacijom mineralnih sirovina su ogromni. Konkretno, svi znamo da se neki ratovi vode zbog nafte. Opet, šteta koja nastaje eksploatacijom, preradom i korišćenjem mineralnih sirovina je nemerljiva. Neke oblasti na planeti Zemlji će se možda oporaviti posle veoma dugog vremena.

Nauka o ležištima mineralnih sirovina je multidisciplinarna i kompleksna. Konkretno, tu su kartiranje, geochemija, mineralogija, petrologija, strukturna geologija, fizička hemija, hemija, matematika, ekonomija, pa i politika i druge.

Geneza problema uticaja eksploatacije mineralnih sirovina na životnu sredinu je:

1. Elementi i minerali su mirovali u Zemljinoj kori i nisu dolazili u kontakt sa atmosferom, hidrosferom i biosferom;
2. Eksploatacijom mineralnih sirovina elementi i minerali dolaze u oksidacionu, vodom bogatu sredinu, dinamičnu procesima, potpuno drugačiju od one u kojoj su egzistirali tokom geološkog vremena;
3. U površinskim uslovima dešavaju se procesi reakcije iskopanih elemenata, jedinjenja i minerala sa agensima aktivnim na površini planete Zemlje (promene temperature, kiseonik, voda, ugljen dioksid i dr.);

4. Stvaraju se deposoli - u suštini prašine sastava gline, fragmenta iskopane rude, jalovine i jedinjenja prirodnog i antropogenog porekla. Ovaj materijal se vetrom rasipa po životnoj sredini, gde u vodi, zemljištu i vazduhu reaguje sa različitim agensima;
5. Formiraju se ocedne vode koje nose sumpornu i druge kiseline, rastvorene ili kao čestice neorganske i organske polutante (As, Ni, Pb i sl.), naftu, benzin, ulja, industrijske boje, rastvarače, fragmente plastike;
6. Stvaraju se isparenja i gasovi koji odlaze u atmosferu;
7. Ad. 3, 4, 5, i 6 oslobađaju se i ulaze u žive sisteme materije opasne po život različitih biocenoza;
8. Dolazi do morfološke devastacije terena.

17.1 DEFINICIJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA

Ima puno definicija koje se mogu naći u literaturi, sve se svode na povišen sadržaj neke geološke tvorevine koja je od ekonomskog interesa za eksploataciju. Niže je naša definicija koja se konceptualno ne razlikuje od mnogih drugih.

Ležište mineralnih sirovina je deo Zemljine kore koje nosi elemente, jedinjenja, minerale, stene i fosilna goriva u količinama koje su od ineteresa za istraživanje i eksploataciju u nekom trenutku^[17.1].

Mineralne sirovine su geološke tvorevine nastale prirodnim putem, fizičko-hemijskim procesima i predstavljene su elementima, jedinjenjima, mineralima, stenama i fosilnim gorivima^[17.1].

Mineralne sirovine - primeri:

- **elementi** - B (bor), Li (litijum), S (sumpor)...;
- **jedinjenja** - kuhinjska so (NaCl - natrijum hlorid), prirodna šalitra (KNO₃ - kalijum nitrat)...;
- **minerali** - talk, fluorit, apatit...;
- **stene** - krečnjaci, mermer, sijeniti, andeziti...;
- **fosilna goriva** - ugljevi, nafta i prirodni gas, uljni škriljci.

Od ineteresa za istraživanje i eksploataciju u nekom trenutku - Mogu se naći informacije o promeni cene nekog metala. Na svetskoj berzi cene neke mineralne sirovine variraju. Često se iz političkih razloga povećava ili snižava vrednost neke mineralne sirovine. Ovakve pojave mogu da dramatično utiču na planiranje i istraživanja u geologiji. Kina je npr. najveći proizvođač retkih metala bez kojih elektronska industrija ne bi mogla da funkcioniše.

U jednom trenutku u prvoj dekadi 2000-ih su podigli cene na realan nivo i potpuno poremetili tržište. Prerada retkih metala i zemalja je prilično "prljava" tehnologija (međutim, ni prerada drugih metala nije mnogo čistija prim. aut.) i skupa. Autor je posle pomenutog događaja, 2011. učestvovao u istraživanju radioaktivnih anomalija u fosfatima u Istočnoj Mongoliji oblasti Dornogovi od grada Sahn-Shand-a do 140 kilometara na sever sa pokušajem da se eventualno nađu koncentracije retkih metala.

Ruda je asocijacija (elemenata i) minerala sa ekonomski isplativom koncentracijom korisne komponente (kada se uzme u obzir eksploatacija i prerada do finalnog proizvoda)^[17.1]. Objekti odakle se eksploatiše ruda zovu se rudnici, mogu biti površinski ili podzemni.

Ruda ima mineralni, hemijski sastav, strukturu i teksturu. Mineralni sastav se određuje različitim metodama (mikroskopski, elektronskim mikroskopom, rendgen strukturnom analizom i dr.). Hemijski sastav se određuje analitičkom hemijom, XRF - rendgen fluorescentnom analizom (vrlo brza, tačna i efikasna metoda), AAS - atomskim apsorberom i dr. Struktura rude je razmeštaj i oblik minerala u mineralnom agregatu. Tekstura rude je vrsta, razmeštaj i oblik mineralnih agregata.

Mineralne parageneze su grupe minerala koji su nastali jednovremeno pri istim fizičko-hemijskim uslovima^[17.1].

Nekada se mineralne sirovine eksploatišu u prirodnom stanju: zlato iz rečnih nanosa, pesak, šljunak ili ugalj.

Rejonizacija ležišta mineralnih sirovina - razlikuju se: metalogenetska provincija (nekoliko stotina hiljada km², metalogenetski pojas (dužine nekoliko stotina do hiljada km i širine 50-100km), metalogenetska oblast površine nekoliko hiljada km², metalogenetska zona - izdužene definisane površine sa poznatim ležištima, baseni (kolubarski basen sa poznatim ležištima uglja), rudni rejon je deo metalogenetske oblasti ili zone sa definisanom geološkom građom potencijalnom na određene mineralne sirovine, rudne zone su naglašene linijske orijentacije rudonosnih površina dimenzije 20 do 50km, rudno polje dimenzija do nekoliko, češće 100 km², ležište mineralne sirovine i rudno telo^{[17.1][17.2]}.

Ležišta mineralnih sirovina su neobnovljivi resursi. Moguće je, međutim, reciklirati skoro sav metal i staklo.

17.2 KLASIFIKACIJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA

U suštini su u upotrebi najčešće dve klasifikacije

- I. Genetska - po načinu nastanka mineralne sirovine: magmatska, post-magmatska, ležišta raspadanja, sedimentna i metamorfogena.
- II. Po materijalnom sastavu: metalična (obojenih, crnih, plemenitih), nemetalična (minerala, stena...).
- III. Fosilna goriva, iako je možda njihovo izdvajanje u posebnu kategoriju diskutabilno, autori smatraju da je to opravdano zbog karaktera i geneze ovih sirovina u smislu da nastaju transformacijom biogenog materijala i da njihovo korišćenje dovodi do emanacije gasova "staklene bašte" bude stavljeno kao posebna grupa.

17.2.1 GENETSKA KLASIFIKACIJA

Geneza ležišta mineralnih sirovina je nauka koja se bavi procesima nastanka koncentracija elemenata ili minerala (i drugog npr. stena, fosilnih goriva) koji se eksploatišu rudarskim aktivnostima. Delom je sličan logici klasifikacije stene, koja je u poglavlju "Petrologija" data pojednostavljeno. U suštini sve počinje od magmatskih procesa, pa preko raspadanja stena, ostatka i pretaložavanja raspadnutog materijala do metamorfizma. Što se tiče fosilnih goriva suština procesa je slična, ali je "početni" materijal drugačiji, organski i procesi transformacije ovog materijala se razlikuju od procesa koji se dešavaju sa neorganskom materijom. Nastanak uglja i nafte će takođe biti dat u kraćem, informativnom obimu. U vezi sa prikazanim procesima navešće se mineralne sirovine na osnovu genetske klasifikacije po Bozunovu V. M. iz 1982^[17.3], koja je ovde izmenjena i prilagođena. Posle opisa procesa navešće se karakteristične mineralne sirovine u smislu:

ps (proces-vrsta stene) sa kojim procesima i stenama je mineralna sirovina vezana;

m - metalične mineralne sirovine,

nm - nemetalične mineralne sirovine.

Fosilna goriva će biti objašnjena posebno.

1 - Magmaški procesi

U suštini počinju sa hlađenjem magme, dok ne dođe do toga magma postaje stabilni rastop. Potrebno je da magma bude u blizini površine i u ovom slučaju polazimo od magme koja je po sastavu slična onoj iz gornjeg omotača.

1a. Likvidni segregati

Prvo očvršćavaju jedinjenja sa primarno sa Fe, a i sa Ni i Cu sa **sumporom**, u vidu kapljica stih koncentracija sulfida koje tonu kao teže kroz magmatski rastop i talože se na dnu magmatskog sistema - ove tvorevine se zovu likvidni segregati zato što su u polutečnom stanju. Po stabilizaciji na dnu sistema prelaze u mineralne faze i tada nastaju sulfidi Fe, Ni i Cu (najčešći minerali u ovom slučaju su pirotin, pentlandit i halkopirit);

1b. Kristalizacioni diferencijati

Posle, a delom i tokom formiranja likvidnih segregata dolazi do nastanka **oksida** Cr i Fe, ponekad sa Fe je u asocijaciji Ti (hromit, magnetit, titanomagnetit) oksidi hroma mogu da "povuku" i druge elemente i tada su "hromspinel". Ove tvorevine se zovu kristalizacioni diferencijati. Posle faza 1a. i 1b. primarni magmatski rastop više nije isti, osiromašen je metalima;

tokom 1a. i 1b. dolazi do izdvajanja samorodne platine;

1c. Procesi nastanka silikata sa Fe i Mn

Minerali su uglavnom olivin i piroksen (olivini i pirokseni, grupe minerala, zbog varijacija u sastavu). Sa druge strane nastaju minerali jedinjenja Al, Si, Ca i O - feldspati - u ovom slučaju bazični plagioklasi. Stvaraju se ultrabazične stene - duniti, peridotit, pirokseniti...

AD 1c. Serpentinizacija

U zonama subdukcije, pri zatvaranju okeana, kao kod nas npr. Tetisa - duniti, peridotiti i druge ultrabazične stene, kao fragmenti - delovi okeanske kore bivaju iščupani, odvojeni i tada trpe transformaciju, metasomatozu pa olivin prelazi u serpentin a piroksen u bastit pri temperaturama od oko 400 °C i uz prisustvo vode, ove sada izmenjene stene su "bačene" na karbonatne sedimente (krečnjake) trijaski i jurske starosti. Ovo se na prostoru Srbije i Balkana dešavalo pri kraju jure, a rezultat su planine Zlatibor, Divčibare i dr.

Ležišta:

ps - ultrabazične / duniti, harzburgiti, peridotit; m - platina, hrom, bakar, retke zemlje; nm - duniti, peridotiti, pirokseniti, dijamanti, hrizotil.

ps - serpentiniti, kao posebna grupa; m - nikl; nm - magnezit.

ps - bazične / gabrovi: m - titan, vanadijum, bakar, nikl, kobalt, platina, gvoždje; nm - gabrovi, anortoziti, dijabaz.

ps - alkalne stene / intruzivi sa povišenim sadržajem K i Na: m - gvožđe, nm - sijeniti, apatit, nefelin, grafit, sfen.

ps - kiseli i srednje kiseli intruzivi: m - gvožđe, nm - graniti, granodioriti, kvarcdioriti, perlit, apatit.

Magme nisu uvek primarnog sastava gornjeg omotača (mantla), mogu biti mešane kada dolazi to topljenja subdukovane kontinentalne litosferne ploče i tada nastaju srednje kisele stene, ili kada se stvara magma sa puno SiO_2 zbog pretapanja kristalina (metamorfita u osnovi kontinentalne kore) ili zbog diferencijacije magme i tada nastaju kisele stene gde je tipičan predstavnik kisele intruzivne stene - granit.

1d. Pegmatiti

Kada intruzivne stene različitog sastava očvrsnu ostaje vreli tečno-gasni materijal koji u pukotinama, obodnim i apikalnim (gornjim delovima) primarnih intruziva naknadno kristalizuje - tako nastaju pegmatiti. Tokom ovog procesa dolazi do nastanka korunda, smaragda, feldspata, retkih zemalja, a kod kiselih intruziva u pegmatitima su povišene koncentracije berila, urana, torijuma i litijuma.

Ležišta:

ps - ultrabazične i bazične; m - retke zemlje; nm - korund, smaragd.

ps - sijeniti i alkalne stene; m - retke zemlje, tantal, niobijum, cerijum, hafnijum; nm - feldspati, vermikulit, smaragd, safir.

ps - graniti; m - retke zemlje, torijum, uran, vanadijum, litijum; nm - feldspati, kvarc, muskovit, fluorit, turmalin, beril, topaz.

Prethodni tekst se odnosio uglavnom na intruzivne stene. Na površini, se ovi procesi manifestuju izbacivanjem piroklastičnog materijala i izlivanjem lave. Kao i u prethodnom slučaju (potpoglavlje "Magmatske stene") razlikuju se po sadržaju silicijum dioksida, 4 tipa, ultrabazične, bazične, srednje-kisele i kisele. Ove stene, na primer andeziti, mogu biti čvrste, pa se koriste kao građevinski materijal.

2 - Post magmatski procesi

2a. Kontaktno - metasomatski procesi

Stene pri intrudovanju su vrele i zapunjavaju strukture u litosferi. Pri tom procesu dolaze u kontakt sa drugim stenama pa svojom vrelinom i volatilijama (gasno-tečnim materijalom) deluju na okolne stene. Nastaju razne vrste kontaktnih stena - kontaktolita. Na primer, na kontaktu kiselih intruziva - granita i sedimentnih stena karbonatnog sastava - krečnjaka i drugih nastaju skarnovi, veoma čvrste stene trakastog izgleda (strukture) zelenkasto-sivih nijansi, primer ovih stena se jasno može videti na Kopaoniku (granitni intruziv) lokalitet Jaram. Vezano za kopaonički skarn koji je nastao, bilo je, sada izvađeno, ležište gvožđa Suvo rudište.

Ležišta:

ps - skarnovski; m - gvožđe, volfram, kalaj, molibden, bakar; nm - grafit, apatit, azbest, talk, bor, nefrit, hrizotil.

Ako vulkanska stena kvarc latit deluje na glince nastaju korniti, a na kontaktu i u pukotinama može da se deponuje Pb-Zn ruda kao što je to slučaj u delovima ležišta Rudnik na planini Rudnik.

2b. Hidrotermalni procesi

Ovi procesi su važni iz razloga nastanka ležišta obojenih i plemenitih metala, uglavnom Cu, Pb i Zn sa Au i nizom drugih metala. U suštini pregrejani vodeni rastvori sa kompleksnim jonima metala, sumporom, H^+ jonima i materijalom pokupljenim "uz put", silicijom sa vodom, jedinjenjima K, Na, Ca i drugim deluju na vulkanite duž prslina i pukotina, menjaju ih i tokom tog procesa se menjaju primarne stene i deponuju uglavnom sulfidi obojenih metala. Jedna od klasifikacija hidrotermalnih ležišta je po temperaturama nastanka i sastavu, pa postoje visoko temperaturna, srednje temperaturna i nisko temperaturna. Asocijacije elemenata i minerala se ovde razlikuju. Volfram, kalaj i molibden su karakteristični za visoko temperaturna ležišta, sulfidi Cu, Pb, Zn sa ili bez zlata za srednje temperaturna, asocijacija sulfida žive i antimona za niskotemperaturna. Promene na stenama koje se dešavaju pri tim procesima se zovu alteracije i po njima se definiše karakter procesa, temperature i sastav hidrotermalnih rastvora. Hidrotermalna sulfidna ležišta se još mogu deliti na ležišta visoke sulfidizacije kada na primer ima jedinjenja bakra sa sumporom kao što je kovelin i halkozin u asocijaciji sa piritom i niske sulfidizacije kada su u asocijaciji sulfidi bakra sa gvožđem (halkopirit i bornit), oksidi Fe i pirit (FeS_2).

Ležišta:

ps - bazične i ultra bazične stene / srednjetemperaturna: m - nikl, kobalt, bakar, gvoždje; nm - azbest, talk, magnezit.

ps - sredne kisele stene / srednjetemperaturna: m - olovo, cink, bakar, molibden, nikl, zlato, srebro, gvoždje; nm - kvarc kao gorski kristal, fluorit, barit.

ps - sredne kisele stene / niskotemperaturna: m - živa, antimon, zlato, telur, selen, srebro, arsen, mangan, olovo; nm - islandski kalcit, barit, fluorit, ahāt, gips, ametist, turkoazit.

ps - kiseli magmatski kompleksi /visokotemperaturna; m - gvoždje, volfram, kalaj, molibden, bakar, arsen, olovo, zlato; nm - smaragd, topaz, beril, silimanit, disten, grafit, flogopit, korund.

ps - vulkanogena / obrazovana u zonama savremenog vulkanizma; m - živa, arsen; nm - sumpor, bor.

3a - Egzogeni procesi raspadanja

Kada su stene izložene atmosferskim uslovima (na prvom mestu promeni temperature i vodi) dolazi do raspadanja primarnog stenskog materijala. Delovanjem H^+ jona (reaguje sa K, Na i Ca) razara se kristalna struktura feldspata i nastaju hidratizirani alumosilikati - gline. Lateritske kore sa povišenom koncentracijom Ni se stvaraju na serpentinitima, poznat je primer na Zlatiboru - lokalitet Mokra gora. Malahit - hidrokarbonat bakra nastaje raspadanjem primarnih ležišta bakra i reakcijom sa karbonatnim rastvorima u egzogenim uslovima.

Ležišta:

ps - kore raspadanja; m - aluminijum, gvožđe, lateriti Ni; nm - gline, kaolini, fosforiti, gips, anhidrit, hrizopras, malahit.

ps - eluvijalno-deluvijalna; m - zlato, titan, platina, kalaj, hrom; nm - peskovi, barit, korund, hrizolit, granati.

3b - Egzogeni procesi sedimentacije

Raspadnuti materijal kao fragmenti ili kao rastvor se transportuje na različite distance. Ako je transport kratak fragmenti su oštih ivica, ako je dug ivice su zaobljene. Po završetku transporta i od fragmenata deponovanih duž puta nastaju različiti sedimenti. Tako nastaju šljunak, pesak, korund, zlato, platina, ... Treba napomenuti da se taloži (koncentriše) materijal koji se ne rastvara u vodi.

Ležišta:

ps - pri nastanku aluvijuma; m - zlato, platina, kalaj, volfram, titan; nm - peskovi, šljunkovi, gline, dijamant, korund, granati.

ps - u jezerima i močvarama; nm - vatrostalne i druge gline, peskovi.

ps - lednička; nm - peskovi, šljunkovi.

ps - eolska; nm - peskovi, les.

3c - Marinski biotemijski procesi sedimentacije

Dva najbolja primera bi bila nastanak krečnjaka i fosfata. Krečnjaci su nastali u mirnoj, čistoj, toploj morskoj sredini od ostataka biogenog materijala - ljušturica, koralala i algi karbonatnog sastava koji se taložio na dnu. Materijal za rast su organizmi uzimali iz okeana. Postoje i neorganogeni krečnjaci ali su oni znatno manje zastupljeni.

Fosfati su nastali takođe od ostataka biogenog materijala, a fosfor je dospao u morsku sredinu rastvaranjem stena, iz rečnog taloga i kao prašina iz atmosfere. Kad su organizmi bogati fosforom izumrli, bakterije iz organogenog mulja su dovele do izdvajanja fosfora iz izumrlih organizama a fosfati su ostali u sedimentima.

3d - Egzogeni procesi kristalizacije iz rastvora

Rastvoreni materijal se takođe transportuje, međutim koncentracija rastvorenog jedinjenja je mala da bi došlo do kristalizacije. Kada pod određenim uslovima dođe do velike koncentracije rastvora dolazi do procesa kristalizacije. Najbolji primer bi bio proces koji se odvija pri isušivanju bazena kod eksploatacije morske soli (NaCl). Takođe gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) nastaje kao evaporit vezano za morsku sredinu. Komponente mogu da budu donešene u sistem i iz različitih izvora i da se na nekom mestu pri kontaktu odvija reakcija kristalizacije.

Ležišta:

ps - marinska sredina; nm - soli, gips

3e - Egzogeni procesi kristalizacije pri promeni geohemijskih uslova

Smatramo da je ovo važan primer zbog antropogono povećane količine urana na površini planete. Uran u elementarnom stanju je prisutan kao U^{4+} (uranium) jon koji je slabo migrativan. Kada je u svom primarnom obliku, npr. u kiselim intruzivima i dođe u kontakt sa slabim kiselinama ili alkalijama, kao vodeni rastvori, tada prelazi u UO_2^{2+} (uranil) jon koji u vodi može da pređe velike distance u oksidacionim uslovima. Kada UO_2^{2+} jon dođe u redukcionu sredinu ponovo prelazi u U^{4+} jon i tada na "redoks" kontaktima dolazi do koncentracije urana - na ovaj način nastaju ekonomski najvažnija ležišta urana, u paketima sedimenata uglavnom u pustinjским uslovima. Uranil UO_2^{2+} jon prelazi u U^{4+} jon i u drugim sredinama kao što su to muljevi puni organskog materijala u velikim rekama, koncentracije uglja blizu površine i dr.

4 - Procesi metamorfizma

Generalno, ovo je obrađeno u poglavlju "Petrologija", metamorfizam je proces promene nekog stenskog materijala pod uticajem visokog pritiska i temperature.

4a. Procesi kontaktnog metamorfizma

Intruziv menja stene sa kojima je u kontaktu kao što je to primer granita Bukulje koji je transformisao naslage krečnjaka u "mermer Venčac".

4b. Procesi regionalnog metamorfizma

U metamorfnim oblastima, nastalim regionalnim transformacijama pod visokim pritiscima i temperaturama od oksida aluminijuma nastaje korund (Al_2O_3) u dva varijeteta crveni zbog prisustva Cr - rubin i safir koji može biti raznih nijansi u zavisnosti od primesa. Stene u kojima se nalazi su škriljci, gnajsevi i neki mermeri.

Ležišta:

m - gvožđe, mangan, zlato; nm - krovni škriljci, mermeri, grafit, šmirgla, disten, silimanit, andaluzit.

17.2.2 KLASIFIKACIJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA PO MATERIJALNOM SASTAVU

1. Ležišta metaličnih mineralnih sirovina^[17.2]:

- **Ležišta crnih metala** - Fe, Mn, Cr, Ti, V;
- **Ležišta lakih metala** - Al, Mg;
- **Ležišta legirajućih metala** - Ni, Co, Sn, W, Mo;
- **Ležišta obojenih metala** - Cu, Pb-Zn, Bi, Sb, As, Hg;
- **Ležišta retkih elemenata** - Be, Li, Rb i Cs, Ni i Ta, Zr i Hf;
- **Ležišta rasejanih elemenata** - Sc, Re, Ge, Ga, Cd, In, Tl, Se i Te, retke zemlje;
- **Ležišta plemenitih metala** - Au, Ag, Pt;
- **Ležišta radioaktivnih elemenata** - U, Th;

2. Ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina

2a. Klasifikacija po karakteru^[17.4]

- **Ležišta elemenata** - As, B, Br, F, P, J, Se, Na, K i Mg, Sr, S;
- **Ležišta kristala** - azbesti, dijamant, drago, poludrago i ukrasno kamenje, granati, korund i šmirgla, liskuni, pjezooptički kristal;
- **Ležišta minerala** - Al-silikati, alunit i alumi, barit, feldspati, gips i anhidrit, grafit, magnezit, pirofilit, talk i talkni kamen, vermikulit, volastonit, zeoliti;
- **Ležišta stena** - cementni laporci, gline, građevinski kamen, karbonatne stene, krovni škriljci, kvarcni pesak, kvarcne sirovine, prirodni mineralni pigmenti, siliciti, stene za forsterit, stene za keramiku i staklo, stene za petrurgiju, šljunak i pesak, vulkanska stakla;

2b. Industrijska klasifikacija ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina

- **Metalurške sirovine topitelji:** krečnjak, dolomit, fluorit, feldspat, kvarc, gips^[17.2];
- **Metalurške sirovine za vatrostalne materijale:** magnezit, dolomit, dunit, vatrostalne gline, kvarc, kvarciti, Al-silikati, grafit, pirofilit^[17.2];
- **Tehničko-juvelirske sirovine:** dijamant, granat, rubin, pijezooptički kvarc, islandski kalcit, optički fluorit, optički gips, liskuni, hrizotil azbest, Al-silikati, grafit, vermikulit, perlit, dijatomit, andeziti, felziti, kvarcit, dijabazi, bazalti i andezit-bazalti (za petrurgiju - stene koje se drobe i tope a potom liju u kalupe različitih željenih oblika), smaragd, safir, plemeniti-spinel, opal, beril, topaz, adular, turmalin, olivin, ametist, hrizopraz, citrin, pirop i almadin, kvarc, hematit, čilibar, žadeit, piroksen, nefrit, lazurit, malahit, ahat, kalcedon, amazonit, rodonit, opsidijan, labrador, rožnaci, pisani granit, silifikovano drvo, mermerni oniks, listvenit, obsidijan, fluorit, obojeni mermer^[17.2];
- **Hemijsko-agronomske sirovine:** soli, sumpor, karbonatne stene, pirit, gips, barit, fluorit, alumi, stroncijanit, celestin, dijatomit, kreda, kaolin, dolomit, bentonit, azbest, volastonit, talk, pirofilit, lidkuni, barit, gips, krovni škrljac, mumije, okeri, sijene, umbre, fosfati, kalijumove soli, borati, kreda, krečnjaci^[17.2];
- **Keramičko-staklarske sirovine:** kaolin, vatrostalne gline, teško topljive i lako topljive gline, bentonitske gline, feldspati, kvarc, kvarcni pesak, kvarcit, maršalit, talk, pirofilit, volastonit, dolomit, magnezit, kreda, krečnjak, pegmatit, grano-dioritne stene, nefelin-sijenit, kvarcni pesak, krečnjak, kreda, dolomit, kaolin, prirodna soda, mirabilit, nefelin, nefelin sijenit, trahiti, bazalti, andeziti^[17.2];
- **Sirovine za građevinarstvo:** lomljen i obrađen kamen magmatskog, sedimentnog i metamorfnog porekla pogodnih fizičko-mehaničkih svojstava, šljunak i pesak, drobljen i tesan kamen magmatskog, sedimentnog i metamorfnog porekla, različite monolitne magmatske, sedimentne i metamorfne stene, pogodnih fizičko-mehaničkih i dekorativnih svojstava, glina, ilovača, lesna ilovača, les, laporci, pesak^[17.2];

17.2.3 FOSILNA GORIVA

Sva fosilna goriva nastaju transformacijom nataloženog, izumrlog biogenog materijala, prekrivenog sedimentima gde je sprečen kontakt sa kiseonikom. Na deponovani materijal uvek deluju povišeni, nekad visoki pritisci i temperature. Slede opis i klasifikacija ugljeva, nafte, prirodnog gasa i uljnih škriljaca.

Ugljevi

Ugljevi nastaju taloženjem velike količine biljnog materijala, npr. paprati i drveta. Nastaje u više faza. Uglavnom materijal se:

1. deponuje - akumulira,
2. prelazi u treset, potrebno je da bude u vodenoj sredini i bez kiseonika,
3. karbonifikuje - dolazi do povećanja koncentracije ugljenika (C),
4. ugljonosni "paket" treba da bude prekriven sedimentima koji sprečavaju kontakt sa kiseonikom.

Vreme potrebno za ovaj proces je diskutabilno, nekada se smatralo da je potrebno desetine hiljada - stotine hiljada - pa i milioni godina. Tokom emanacije piroklastičnog materijala vulkana Sv. Helena (18. maja 1980. godine) oboren je veliki broj stabala, došlo je do mrvljenja drvenastog materijala i guljenja kore. Ovaj materijal je naglo dospelo u jezero Spiriti i od njega je vrlo brzo postao treset od koga će nastati ugalj. Sa druge strane tokom rada u Mongoliji autori su videli ležišta kamenog uglja paleozojske starosti - Zeeht i Shinjist, dakle preko 250 miliona godina, kao i naslage mrkog uglja donjo kredne preko 130 miliona godina starosti (K₁dz - donja kreda Zuunbayan serija), na terenu i u bušotinama, u sedimentima koji su bili reporni sloj za određivanje potencijalnosti na uran i ugljeve. Kod nas, u rudarskom basenu Kolubara se eksploatiše lignit, sedimentna serija sa lignitom se zove "gornji pont". Ovaj ugalj je nisko kalorične vrednosti, ima puno vlage, a sadrži sumpor i druge štetne materije. Koristi se uglavnom za proizvodnju struje u termoelektranama. Kada se ide Ibarskom magistralom u pravcu juga, odmah posle Stepojevca nailazi se na veliki otvoreni kop i u ovom delu se oseća kao da nešto gori i na sumpor. To su procesi oksidacije lignita u atmosferskim uslovima i oslobađanje gasova i para koji nastaju pri otkopavanju lignita. U Nemačkoj su takođe poznati problemi zbog eksploatacije lignita. Ovakvih primera po celom svetu ima mnogo.

Klasifikacija:

1a. Humusni - Nastaju uglavnom od mahovina, paprati i cvetnica koje dospevaju u plitku vodenu sredinu i preko treseta uz eliminaciju vode prelaze postepeno tokom vremena uz složene procese u ugljeve sa povećanjem količine ugljenika i smanjenjem količine kiseonika, vodonika i azota.

Na osnovu stepena ugljenifikacije i karbonifikacije organske materije mogu se podeliti na^{[17.5][17.6]}:

Mrke ugljeve, manji stepen karbonifikacije:

Ligniti ili mrki meki ugljevi, sadrže 57-67% C i

Tvrđi mrki ugljevi, sadrže 67-75% C;

Kameni ugljevi, viši stepen karbonifikacije:

Poluantraciti 8-12% volatilitija, 78-92% C i

Antraciti 4-8% volatilitija, 92-96% C;

Kameni ugljevi sa volatilitijama: Klasifikacija se vrši po količini volatilitija, mogu sadržavati od 12 do 45% volatilitija (posni, masni, gasni i gasno-plameni ugljevi).

1b. Liptobiolitni ugljevi - Sa humusnim ugljevima čine grupu humulita. Nastaju od smola, lišća, kutikula, spora i omotača spora viših biljaka^{[17.5][17.6]}.

1c. Sapropealni ugljevi - Nastaju od mikroorganizama. Biljnog porekla i od zooplanktona i delom od viših biljaka. Koriste se kao hemijske sirovine za tečna goriva i katrane^{[17.5][17.6]}.

Nafte

Nafte nastaju od koncentracija izumrlih morskih uglavnom mikroorganizama životinjskog i biljnog porekla, transformacijom njihovih belančevina, masti i ugljenih hidrata. Nafte mogu da migriraju kroz sedimente u zemljinoj kori dok ne naiđu na prepreku - "trap". Sastava su: ugljenika 82-87%, vodonika 10-15%, sumpora 0,001-7%, azota 0,01-0,08%, kiseonika 0-2%, mineralnih supstanci 0-0,1%^{[17.5][17.6]}.

Klasifikacija je data po šemi: Tip nafte - količina - sadržaj^{[17.5][17.6]}:

- **Parafinske** - preko 75% - parafina;
- **Naftenske** - do 70% - parafina;
- **Aromatične** - preko 50% - aromata;
- **Asfaltne nafte** - preko 60% - smole i asfalta;
- **Parafinsko-naftenske** - 60-70% parafina i preko 20% naftena;
- **Naftensko-aromatične nafte** - preko 35% naftena i preko 35% aromata;
- **Naftensko-aromatične-asfaltne nafte** - preko 25% naftena, 25% aromata i 25% smola i asfalta;
- **Aromatično-asfaltne nafte** - preko 35% aromata i 35% smole i asfalta.

Prirodni gas

Geneza prirodnog gasa je slična kao i kod nafte. Može da nastane i u procesu karbonifikacije ugljeva. Nastaje kada izumrli organski materijal biva transformisan delovanjem visokog pritiska i temperature. Formira i samostalna ležišta. Glavne komponente su: metan (CH_4) preko 80%, ugljen dioksid (CO_2), sumporovodonik (H_2S), kiseonik (O) i inertni gasovi posebno helijum (He). Od ugljovodonika može da sadrži takođe etan, propan, butan, izobutan i pentan^{[17.5][17.6]}.

Uljni škriljci

Uljni škriljci su sedimenti u čijim se porama, prslinama i slobodnom prostoru nalazi izmenjeni organski materijal. Potrebno je da imaju preko 10% organske materije (imaju do 60%). Gorivni materijal u uljnim škriljcima se zove kerogen, u čvrstom je stanju. Nastao je transformacijom biogenog materijala kako morskog od algi i planktona tako kopnenog od spora i polena. Tehnologija eksploatacije ugljovodonika i uljnih škriljaca je za sada skupa i opasna po životnu sredinu, ali su rezerve ovog materijala na planeti Zemlji velike i sigurno će se u budućnosti eksploatisati^{[17.5][17.6]}.

Klasifikacija: data po količini ulja koje nose "sadržajem": niskim manje od 8%, srednjim 8 - 15%, visokim 15 - 20%, izuzetno visokim - preko 20%^{[17.5][17.6]}.

17.3 PRIMERI NEKIH LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA

U ovom delu biće data tri primera. Dva su vulkanogeno hidrotermalna: ležište bakra i zlata Majdanpek i ležište urana Dornod. Treći primer je ležište uglja Kolubarskog basena.

17.3.1 LEŽIŠTE BAKRA I ZLATA MAJDANPEK

Ležište bakra i zlata Majdanpek je razvijeno u krajnje severnom delu timočkog magmatskog kompleksa. Osim toga ograničeno je još senonskim rovom i dislokacijom u kojoj je razvijen andezit sa pravcem pružanja S - J. Sama rudna tela ležišta Majdanpek vezana su za jednu razlomnu zonu u senonskim andezitima i prekambrijskim gnajsevima. Rudonosna zona je dugačka 3 km i široka nekoliko stotina metara.

Dominantna su dva različita tipa orudnjenja:

1. Impregnaciono-žiličasto-metasomatski (porfirski) i
2. Uslovno masivno sulfidni polimetalični.

U rudarskoj terminologiji, a i u literaturi koriste se termini “Južni Revir” i “Severni Revir”. Da bi pojasnili termine moramo da napomenemo da je i u okviru “Južnog” i u okviru “Severnog” revira kao dominantan konstatovan impregnaciono-metasomatski tip rudne mineralizacije sa piritom, halkopiritom i magnetitom. Ovaj tip mineralizacije, sa manje halkopirita nalazi se i između “revira”. U okviru “Severnog” revira pored impregnaciono-metasomatske rudne mineralizacije, deponovano je na kontaktu hidrotermalno izmenjenih andezita i mermerisanih krečnjaka masivno-sulfidno rudno telo sa piritom i sfaleritom (pored drugih, manje zastupljenih sulfida) koje je nazvano “Tenka”. U okviru “Severnog” revira nalazilo se i limonitno rudno telo “Blanšard”.

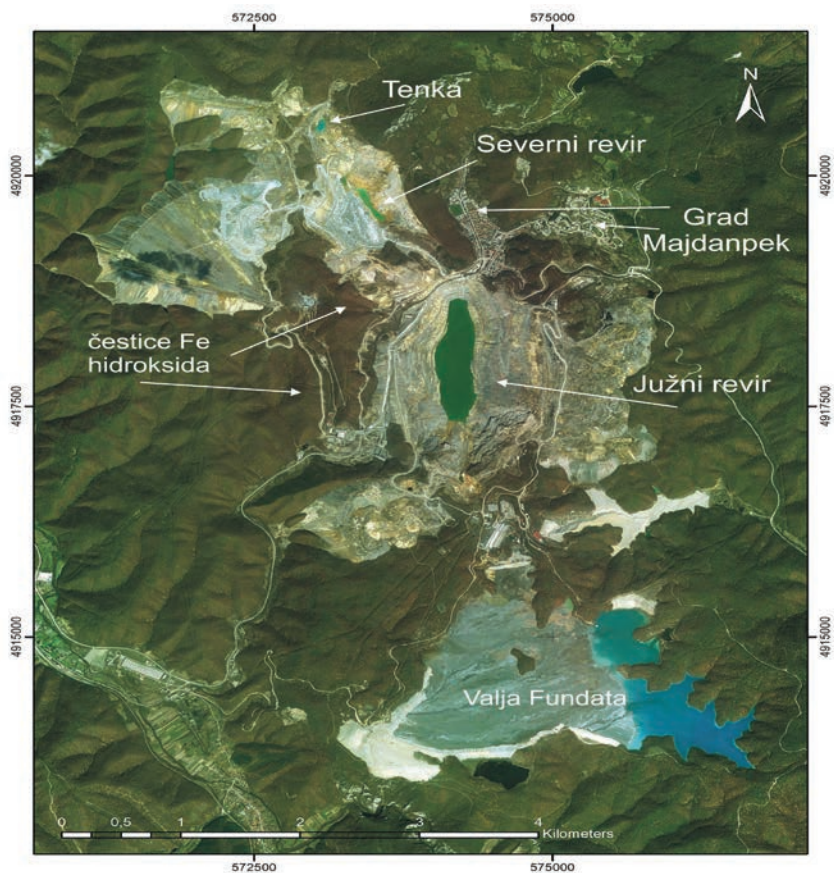
Metasomatska mineralizacija se uslovno može nazvati rudnim telom zato što nije definisana tačna granica prestanka impregnaciono-metasomatske mineralizacije, koja je razvijena u andezitima, škrljcima, filitima, delom i u karbonatnim stenama. Grubo rečeno zona mineralisana piritom, halkopiritom i magnetitom je dužine oko 4, a širine između 600 m i 1,1 km. Pored navedenog rudna mineralizacija je deponovana još i u kvarc i kvarc-karbonatnim žicama i skarnovima. U blizini skarnova postojala su masivna piritna rudna tela koja su uglavnom izvađena.

Masivno-sulfidno rudno telo “Tenka” dugačko je 150, a prati se do dubine od 100 m od površine terena. Pored toga (kao što je rečeno) masivno sulfidna mineralizacija je bila razvijena u blizini skarnova, a lokalno se može naći i u zonama jako hidrotermalno izmenjenih andezita i u kvarcnim žicama.

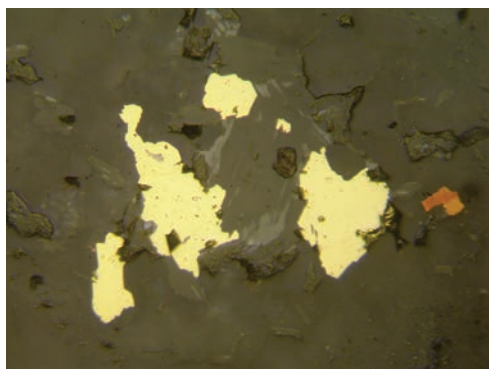
Limonitno telo “Blanšard” je nastalo površinskom atmosferskom oksidacijom primarnih sulfida i njihovom transformacijom u hidrokside gvožđa.

Sva pomenuta rudna tela su uglavnom eksploatisana, ali je ostalo dovoljno materijala koji se može koristiti u naučne i edukativne svrhe. Istraživanje u okolini Majdanpeka se odvijaju i danas.

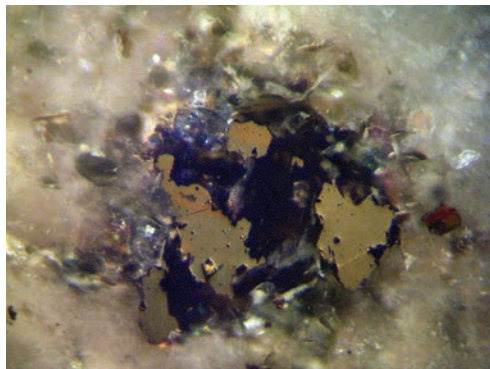
Kada se pažljivije pogleda ortofoto snimak u okolini kopova se na zelenoj osnovi - biljkama uočava blaga braonkasta nijansa. Nastala je tako što su deposoli sa sulfidima dospeli u okruženje rudnika, i od sulfida sa Fe su nastali hidroksidi. Sumpor je u vidu jako blage sumporne kiseline ocednim vodama otišao u vodotokove.



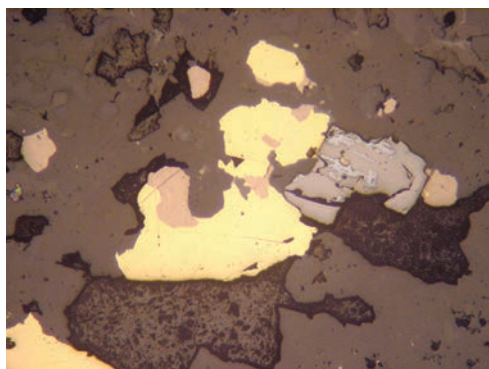
Slika 17.1: Satelitski ortofoto snimak rudnika Majdanpek (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)



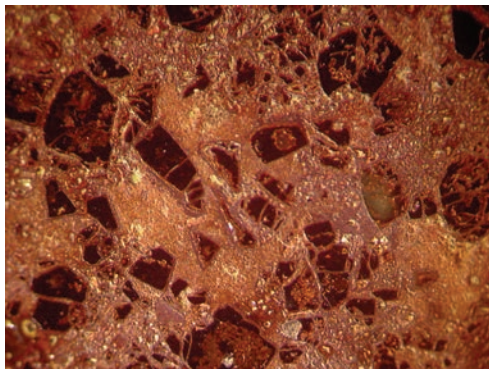
Slika 17.2: Impregnacije halkopirita (sulfid bakra i gvožđa) - glavne rude bakra u ležištu Majdanpek (2 mm) (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.3: Halkopirit sa slike 17.2 razvijen po baznom preseku alterisane hornblende (crno) (2 mm) (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.4: Agregat halkopirita (žuto), bornita (ružičasto) i magnetita sa hematitom (sivo) u izmenjenoj masi stene (mrko) (2 mm)
(foto: B. Vakanjac)



Slika 17.5: Limonit nastao od kataklaziranih agregata pirita - rudno telo Blanšard (1 cm)
(foto: B. Vakanjac)

17.3.2 LEŽIŠTE URANA DORNOD (ISTOČNA MONGOLIJA)

Na istoku Mongolije nalaze se vulkanske stene starosti kasne jure do donje krede ($J_3 - K_1$). Ovaj sistem vulkanita se proteže do Rusije. Vulkano - tektonske strukture su razvijene u kristalinskom fundametu. U okviru pomenutih vulkanita riolitiskog (kiselog sastava) razvijena su hidrotermalna, srednje do nisko temperaturna ležišta urana sa fluorom i molibdenom. Na prostoru Rusije ležište slične geneze kao i Dornod koji ćemo prikazati, je kod grada Krasnokamensk, a rudnik se zove Priargunski. Uranova ruda iz Ruskog rudnika je nešto boljeg kvaliteta, a ruda iz ležišta Dornod je železnicom vožena u to vreme u SSSR i mešana. Razdaljina između ova dva rudnika je oko 300km vazdušnom linijom. Matične stene su uglavnom piroklastiti, sa riolitima i vulkanskim staklom. Kao indikator slojevitih i sočivastih koncentracija uranove rude su bile pojave vulkanskog stakla. Ruda je sastava fluorit, molibdenit, pehblenda i apatit sa uranom i fluorom. Mineralizacija F – Mo – U rude je usko povezana sa asocijacijom riolitita i bazalta koja je rasprostranjena u argun-mongolskom vulkanskom pojasu. U blizini se nalazi grad Mardai koji je namenski bio izgrađen kao rudarski grad za 10.000 stanovnika uglavnom građana Sovijetskog Saveza. Potpuno je napušten 1993, a 2006 i 2007, tokom prolaska kroz grad smo videli da lokalno stanovništvo uzima gvožđe iz betonskih armatura, pa su neke zgrade potpuno uništene, što se može videti i na satelitskim ortofoto snimcima.



Slika 17.6: Naslage piroklastičnog materijala u blizini otvorenog kopa Dornod (slikan objekat je 5x3m) (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.7: Zrnasta stena u centru je iščupani deo fundamenta zaglavljen u piroklastičnom materijalu (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.8: Vulkansko staklo (crno) je indikator uranovih sočiva i traka (žuto), ostalo su prateći vulkaniti (matične stene) (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.9: Skrame žutih uranovih minerala razvijenih po prslinama u piroklastitima riolitiskog sastava (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.10: *Otvoreni kop Dornod (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 17.11: *Grad Mardai u blizini otvorenog kopa Dornod, prikazane su pozicije uništenih stambenih objekata gde je izvađena gvozdена armatura kao sekundarna sirovina (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 17.12: Fotografija pozicije 1 (slika 17.11) **Slika 17.13:** Fotografija pozicije 2 (slika 17.11)
(foto: V. Ristić Vakanjac) (foto: B. Vakanjac)

17.3.3 LEŽIŠTE UGLJA KOLUBARSKOG BASENA

Ugljonosni basen "Kolubara" se nalazi južno od reke Save. Razvijen je u pravcu jugo-zapada 50km od Beograda, a rekom Kolubarom je podeljen na istočni i zapadani deo. Površina kolubarskog ugljonosnog basena je oko 600km² dok je površina produktivnog dela 167km². Glavna mineralna sirovina je lignit. Procenjeno je da su rezerve istočnog dela 1 milijarda tona, a zapadnog oko 800 miliona tona. Za ceo basen su procenjene rezerve 3 milijarde tona lignita. U pravcu istok - zapad basen se prostire u dužini od 55km, a u pravcu sever - jug 15km. Ugalj je istraživao još od 1875, ali nije se ozbiljno eksploatisao do posle II svetskog rata.

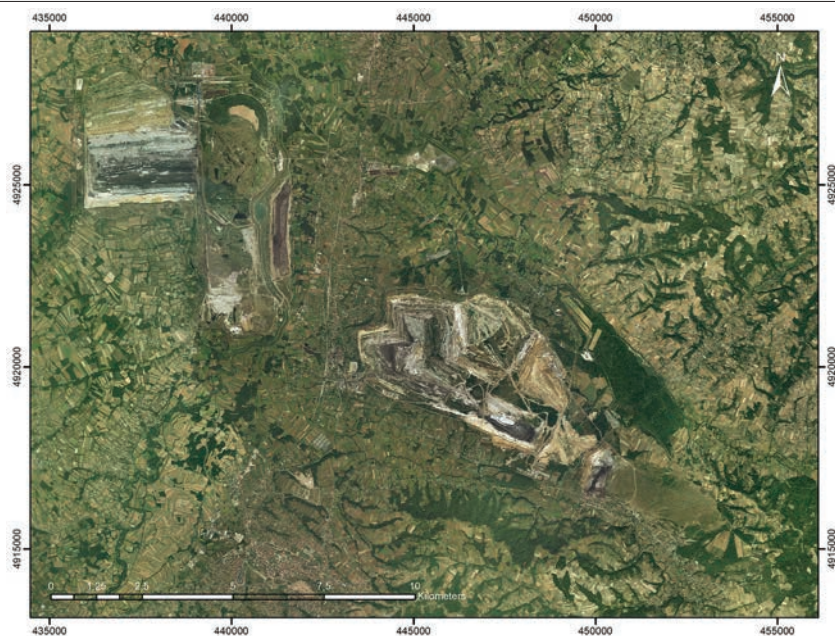
Najvećim delom Kolubarski lignit se koristi u termoelektranama za proizvodnju električne energije (TE Kolubara, TE Nikola Tesla A i B).

Kolubarski lignit je meki mrki ugalj. Spada u kategoriju humusnih ugljeva, gde huminiti čine 93,5% i 3,3% liptinita. Ugljenik je prisutan u količinama od 36,5 do 60%. Sumpora ima do 1,58%. Količina vlage je od 40,38 do 53,23%. Starosti je gornjeg ponta (kraj miocena) oko 5 miliona godina, debljina pontskih slojeva je od 250 do 300m.

Smatra se da je kolubarski lignit nastao od močvarne vegetacije koja je bila razvijena na obodu Panonskog mora.

Generalno produktivni paket formiran je na sledeći način: ispod podinskog ugljonošnog dela su šljunkovi, peskovi i gline; sledi podinski ugljeni sloj sa proslojcima peskovitih glina, peskova i glina; glavni ugljeni sloj, takođe sa proslojcima glina i peskova, retko i dijatomejskom zemljom; povlatni sloj je opet sa glinama, peskovitim glinama i peskovima.

Devastirani prostor rudarskim aktivnostima je oko 60km². Sa aspekta životne sredine proizvodnja električne energije putem termoelektrana koje sagorevaju lignit je prilično prljava tehnologija. Ispuštaju se velike količine ugljen monoksida, ugljen dioksida, sumpor dioksida, azotnih oksida, čestica i drugog. Takođe, proizvode se jako velike količine pepela koje se odlažu na deponije, a koje su redovno u blizini vodonokova (Save, Kolubare, Peštana, Turije) gde ocednim i podzemnim vodama različiti polutanti dolaze u životnu sredinu. U celom svetu površinske koncentracije uglja u svojim povlatnim delovima su redukciona sredina gde se na kontaktu sa oksidacionim pokrivačem u tzv. redoks granicama (zonama) deponuju nekad male, a nekad veće količine urana koji iz uranil jona prelazi u redoks sredinama u uranijum jon.



Slika 17.14: Zapadni (levo) i istočni (desno) kopovi Kolubarskog basena
(raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)



Slika 17.15: Karakter povlata i ugljenog sloja na kopovima Kolubare (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.16: Eksploatacija uglja bagerima na otvorenom kopu (foto: B. Vakanjac)



Slika 17.17: Iskopani lignit sa površinskog kopa Kolubarskog basena (foto: B. Vakanjac)

Preporučena literatura:

1. *Mudrinić, Č., 1997: Ležišta mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, str 1-389*

Reference:

- [17.1] *Janković, S., 1981: Ležišta mineralnih sirovina – geneza rudnih ležišta, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [17.2] *Jelenković, R., Simić, V., Životić, D., Kostić, A., 2010: Ležišta mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [17.3] *Tomanec, R., Vakanjac, B., 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera, Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju "Futura", Beograd. str. 1-363*
- [17.4] *Janković, S., Vakanjac, B., 1969: Ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina, Građevinska knjiga, Beograd, str. 1-247*
- [17.5] *Kostić, A., 2015: Ležišta i istraživanje nafte i gasa, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd*
- [17.6] *Aksin, V., 1967: Geologija nafte, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, NIS-Naftagas, Novi Sad*

18.

ZEMLIŠTA



18. ZEMLJIŠTA

Rastresiti površinski sloj Zemljine kore koji se odlikuje plodnošću naziva se zemljište ili tlo. Zemljište nastaje kao rezultat izuzetno kompleksne fizičke i hemijske izmene osnovne stenske mase pod dejstvom, pre svega atmosferilija, kao i složenim delovanjem različitih organizama kao što su mikroorganizmi, gljive i biljke, kroz dug vremenski period^[18.1]. Tri osnovna faktora koja utiču na nastanak zemljišta su fizičko raspadanje stena, obogaćivanje mineralnom materijom i izdvajanje organske materije^[18.2].

Održavanje visokog kvaliteta zemljišta je od značaja za opstanak na prvom mestu čovečanstva. Ono predstavlja bazu života za sve vrste biljaka i životinja, najznačajniji je resurs za proizvodnju hrane (kako poljoprivrednu proizvodnju, tako i stočarstvo), zemljište ima sposobnost da skladišti i transformiše sunčevu energiju, da čuva i memorije genetske resurse svih vidova života na planeti. U današnje vreme jedna od bitnijih funkcija zemljišta svakako je prečišćavanje i detoksikacija vode, kao i činjenica da je tlo pre svega osnovna baza stanovanja za kopnene organizme.

Budući da zemljište predstavlja jedan od najbitnijih resursa na planeti Zemlji od ključnog je značaja njegovo očuvanje, što se u praksi pokazalo kao izuzetno teško. Iako se zemljišta smatraju obnovljivim vidom resursa (ukoliko se pravilno koriste), usled ljudskog ponašanja možda bi bilo pravilnije svrstati ga u grupu neobnovljivih resursa pogotovo imajući u vidu dugo vreme koje je potrebno za njegov nastanak (2 – 3 cm zemljišta za 200 - 1000 godina^[18.3]). Intenzivno korišćenje zemljišta u biljnoj i životinjskoj proizvodnji dovodi do poremećaja različitih činilaca stvaranja zemljišta, koji određuju pravac i intenzitet njegovog stvaranja. Uporedo sa razvojem tehnologije, događa se sve veća kontaminacija, tj. degradacija zemljišta, unošenjem velikih količina teških metala, radionukleida, pesticida i drugih zagađujućih materija, kao i preterano uništavanje velikih površina tla izgradnjom urbanih objekata, infrastrukture i eksploatacijom mineralnih sirovina. Jedan od najboljih primera kontaminacije zemljišta jeste nuklearna katastrofa u Černobilu, usled koje je uništeno na hiljade hektara širom Rusije i Belorusije. Ekološka ograničenja imaju posebnog značaja u poljoprivredi, budući da se radi o biološkoj proizvodnji koju konstantno ugrožavaju spoljašnji zagađivači prirodne sredine. Takođe, samo korišćenje zemljišta u velikim razmerama u potpunosti menja uslove životne sredine..

U prirodi zemljišta nastaju usled različitih pedogenetskih faktora kao što su: reljef, klima, matična stena, organski svet i starost terena. Ovi faktori određuju pre svega brzinu nastajanja zemljišta, tj. pedogenetske procese koji se odvijaju u njemu, a kao rezultat mogu se obrazovati više ili manje plodna zemljišta. Iako na maloj površini, zemljišta Srbije su od velikog značaja po velikom broju sistematskih jedinica, nastala kao posledica geomorfološke raznovrsnosti i izuzetno promenljivog petrografskog sastava Srbije.

Zemljišta u Srbiji se mogu podeliti na tipska i atipska^[18.4].

Dugotrajnim i složenim prirodnim procesima u različitim geološkim, klimatskim, vodnim i vegetacionim uslovima nastala su **tipska zemljišta** Srbije. Ona se mogu podeliti na:

Rendzine su zemljišta koja se formiraju u oblastima brdsko-planinskog karaktera i karakteristična su za humidna klimatska područja. Nastaju u matičnim stenama u kojima dominiraju meki krečnjaci, fliš ili dolomitični supstrat, odlikuju se izuzetnom vodopropustljivošću i umerenom količinom humusne materije. Ovakva zemljišta su najčešće plitka, izuzetno porozna i prekrivena šumskom vegetacijom. Rendzine su pogodne za voćarstvo i vinogradarstvo, usled velike količine šljunka i fragmenata stena koji se nalaze u tlu^[18.5]. Ovakav tip zemljišta u Srbiji je najviše rasprostranjen u njenom jugozapadnom delu, Starom Vlahu, Raškoj i Metohiji^[18.6].

Rankeri su zemljišta koja se formiraju u planinskim predelima u kojima se razvija mešovita i četinarska vegetacija. Zemljište je humusno-silikatnog karaktera, usled razvika na podlozi od silikatnih i peridotitskih stena. Ovakvi tipovi zemljišta najčešće se koriste kao pašnjaci i livade, a u manjoj meri mogu služiti kao podloga za oranice krompira, ječma, raži i zobi^[18.5]. Generalno, imajući u vidu nadmorsku visinu na kojoj se nalaze, klimatske uslove i geološku podlogu, ovakva zemljišta nisu pogodna za biljnu proizvodnju. U Srbiji rankeri su najrasprostranjeniji na Zlatiboru, Kopaoniku, Goliji i Rudniku^[18.6].

Černozem (crnica) spada u red najplodnijeg zemljišta. Razvija se na geološkoj podlozi u kojoj dominira les, a vezana je za uslove suve kontinentalne i stepske klime. Osnova za izgradnju crnice je karbonatni les, tačnije eolski sediment izgrađen od 20-30% CaCO_3 . U ređim slučajevima može nastati na manjim površinama u pretaloženom lesu, aluvijumu ili eolskom pesku^[18.5]. U Srbiji zahvata semiaridne stepske prostore Vojvodine sa površinom od oko 1.000.000 ha, dok je u ostalim delovima zemlje zastupljen na oko 200.000 ha (Mačva, Stig i Braničevo)^[18.6].

Černozem, sa svojim karakteristikama, spada u najpogodnija zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju. Tokom perioda smanjenog raspadanja organske materije (jesen-zima) dolazi do nagomilavanja humusa na površini zemljišta, čime se omogućava obogaćivanje tla organskom materijom tokom toplijih perioda. Černozem spada u grupu dubokih zemljišta (1.5 m u Ukrajini). Odlikuju se izuzetno mrvičastom strukturom, stabilnih agregata i dobrom vodopropustljivošću. Lako se obrađuje, odlikuje se povoljnim vodo-vazдушnim i toplotnim režimom. Pogodne je strukture, bogatog humusnog horizonta i ilovastog mehaničkog sastava. Ovakva zemljišta su pogodna za navodnjavanje, a kada su zaštićena od poplava koriste se za biljnu proizvodnju bez ograničenja. Na zemljištima prve bonitetske klase, u uslovima navodnjavanja, postižu se visoki i stabilni prinosi gajenih biljaka^[18.5].

Smonica (Vertisol) se formira na matičnoj osnovi bogatoj glinom (preko 30%), u klimatskim uslovima koji se odlikuju čestom smenom vlažnih i suvih perioda. Osnovna karakteristika ovih terena jeste ta da tokom vlažnih perioda, usled visokog sadržaja gline, dolazi do bubrenja glinovitog zemljišta i smanjenja dreniranosti, dok se tokom suvih perioda dešava potpuno suprotno, tj. dolazi do kontrakcija i stvaranja pukotina u zemljištu u koje se obrušava zemljište iz površinskog horizonta. Obrada i gajenje biljnih kultura na ovakvim zemljištima ima značajna ograničenja, pogotovo usled nepovoljnog vodo-vazdušnog i temperaturnog režima, i vrlo kratkog perioda povoljnog za obradu. Uprkos tome hemijska svojstva smonica su izuzetno povoljna, odlikuju se neutralnom do slabo alkalnom hemijskom reakcijom. Bogate su humusom, ukupnim azotom i kalijumom^[18.5]. Ovakva zemljišta su pogodna za gajenje kultura suncokreta, šećerne repe i ostalih industrijskih biljaka, uz pravilno upravljanje (navodnjavanje i đubrenje). U Srbiji se javljaju na prostoru brdskog dela Šumadije i Kosova^[18.6].

Gajnjače (Eutrični kambisol) predstavljaju srednje teška zemljišta, sa izraženom teksturnom diferencijacijom unutar profila. Formirani humusni horizont se odlikuje izuzetno povoljnim vodo-vazdušnim režimom, usled pogodnog odnosa krupnih, srednjih i finih čestica i visokim kapacitetom apsorpcije. Stepem korišćenja, stepen erodiranosti, kao i stepen razvoja zemljišta znatno utiču na njihova hemijska svojstva. Sadržaj humusa je u intervalu od 2 do 5%, neutralne do slabo kisele hemijske reakcije. Kao primarni tip vegetacije karakteristične su hrastove šume. Međutim, ovaj tip zemljišta može biti pogodan i za ratarsku, povrtarsku i voćarsku proizvodnju^[18.5].

Crvenica (terra rossa) je tip zemljišta karakteristične crvenkaste boje, koja potiče od amorfnih gvožđevitih hidroksida. U geološkom smislu smatra se da je to tip reliktnog zemljišta koji je vezan za toplije klimatske uslove od današnjih. Odlikuje se crvenkastom, smeđecrvenom i žućkasto crvenom bojom, glinovito-prašinaste strukture. Ovakva tla prekrivaju krečnjake i dolomite, a često se nalaze i na dnu vrtača. Sadrži izuzetno mali procenat humusa, dok je mineralizacija znatno izraženija te su ova zemljišta nedovoljno plodna^[18.5]. Na teritoriju Srbije vezana su za područja karsta Istočne (Kučaj, Beljanica, Svrlijske planine...) i Zapadne Srbije (Stari Vlah i Raška), kao i za delove Metohije^[18.6].

Podzol (pepeljuša) nastaje na podlozi od kiselih silikatnih stena. Vezana su za planinska područja koja se nalaze iznad 900 m nadmorske visine, a odlikuju se vlažnom i hladnom klimom. Razviće ovih zemljišta vezano je za stenske podloge izgrađene od kvarcnih peščara, kvarcita i kiselih eruptivnih stena. Za ovakav tip zemljišta vezuje se četinarski tip vegetacije. Odlikuje se velikom kiselošću, sivopepeljste je boje, vodo-propusno i siromašno fosforom, kalcijumom i azotom^[18.5]. U Srbiji su podzoli lokalno rasprostranjeni i mestimično se pojavljuju u višim planinskim oblastima^[18.6].

Pseudoglej predstavlja zemljišta veoma nepovoljnih vodnih, vazdušnih i toplotnih karakteristika. Za ovaj tip zemljišta je značajno da znakovi hidromorfizma nastaju kao posledica prevlažavanja površinskog horizonta, uglavnom površinskom stagnirajućom atmosferskom vodom. Ovo zadržavanje vode nastaje usled prisustva nepropusnog, odnosno teže propusnog sloja (horizonta) u profilu. U ovakvim zemljištima izražene su kisele hemijske reakcije, a odlikuju se malim kapacitetom apsorpcije i malim procentom humusnih i hranljivih jedinjenja. Pseudoglej zemljišta nisu pogodna za poljoprivrednu proizvodnju, međutim, uz primenu kompleksnih meliorativnih mera se mogu donekle iskoristiti^[18.5].

Močvarna zemljišta: dugotrajnim zadržavanjem površinskih voda, ili usled visokog nivoa podzemnih voda, na aluvijalnim sedimentima nastaju močvarna tla. Razviće ovakvog tla praćeno je malom količinom kiseonika te ovakva zemljišta nisu povoljna za poljoprivrednu proizvodnju. Ukoliko se ova zemljišta razvijaju u planinskom klimatu, onda nastaju tresetna zemljišta ili tresave^[18.5]. Na teritoriji Srbije prisutna su duž reka Morave, Dunava i Save, kao i u barskim oblastima Vojvodine^[18.6].

Treset je organski materijal nastao u močvarnim predelima i sterilnim uslovima sa niskom pH vrednošću. Karakteristično za treset je to da nastaje od biljke Sphagnum, koja se odlikuje veoma sporim rastom (1 mm godišnje), te su tresetna polja stara više hiljada godina. U uslovima manjka kiseonika, nakon umiranja biljke ona se ne raspada već se taloži formirajući tresetna polja. Razlikuju se tamni i svetli treseti u zavisnosti od starosti treseta. Najsvetliji slojevi su mlađi i nalaze se u površinskim slojevima i imaju svega nekoliko stotina godina. Tamniji treseti se nalaze na većoj dubini, teži su i sabijeniji, a starost im se kreće od 5-8000 godina^[18.5].

U Srbiji su najviše rasprostranjeni na Goliji (Dajičko i Košaninovo jezero) i Tari (Crvene bare). Izgradnjom veštačke hidroakumulacije na reci Vlasinsko blato, pre više decenija uništena je najveća tresava na Balkanskom poluostrvu^[18.6].

Slatine (slana zemljišta): dopunskim vlaženjem podzemnim, ređe površinskim, vodama zaslanjenim i/ili alkalizovanim nastaju slatine. Ova zemljišta se odlikuju nepovoljnim fizičkim i hemijskim karakteristikama te se u retkim slučajevima koriste kao prirodni pašnjaci. Usled svog nepovoljnog statusa ovakva zemljišta se mogu koristiti za poljoprivredne aktivnosti samo uz ozbiljne mere meliorizacije^[18.5]. U Srbiji su ona rasprostranjena na stepskim i šumskostepskim terenima Bačke, Banata i Srema^[18.6].

Zemljišta koja su u početnim fazama nastanka i to nakon određenog erozivnog procesa, nazivaju se **atipska (nerazvijena) zemljišta**. U njih spadaju:

Aluvijalna zemljišta (Fluvisol) rasprostranjena su duž tokova velikih ravničarskih reka. Karakter ovakvih zemljišta najviše zavisi od režima smenjivanja velikih voda (poplavnih talasa) i malovodnih perioda. Najčešće su heterogenog mehaničkog sastava, izgrađene najvećim delom od peskova, ilovača i gline. Po karakteru mogu biti propustljiva do teže propustljiva, neutralne do slabo kisele hemijske reakcije. Ovaj tip zemljišta se može koristiti za proizvodnju biljaka uz određena ograničenja i primenu meliorativnih mera. U vreme velikih voda i visokog nivoa podzemnih voda kod aluvijalnih zemljišta (najčešće sa većim procentom glina) često dolazi do pojave zabarivanja tla, te je u tom slučaju potrebno izvršiti drenažu (odvodnjavanje) tla. Sa druge strane tokom sušnih perioda ova zemljišta zahtevaju navodnjavanje. Pored odvodnjavanja u periodu velikih voda i navodnjavanja tokom perioda suše, aluvijalna tla zahtevaju i meliorativno đubrenje i poboljšanje vazdušnog i toplotnog režima. Ukoliko se svi zahtevi tla adekvatno ispune na njima mogu da se postignu visoki i stabilni prinosi gajenih biljaka^[18.5].

Eluvijalna i deluvijalna zemljišta nastaju usled površinske izmene stenske mase. Eluvijalnim procesom, usled fizičko-hemijskog raspadanja stena, dolazi do stvaranja sloja rastresitog materijala koji se kasnije deluvijalnim procesom transportuje i akumulira. Eluvijana zemljišta se znatno razlikuju po debljini koja može varirati od nekoliko centimetara do dekametarskih razmera. Raspadnuti materijal ostaje na mestu (in situ), a tako akumuliran se naziva eluvijum, te otud naziv eluvijalna zemljišta. Deluvijalna zemljišta nastaju tokom obilnih padavina, kada povremeni površinski tokovi transportuju erodovani materijal niz padine i nagibe u reljefu. Ovako transportovan materijal se najčešće odlaže i akumulira u podnožju padina, čime se formira deluvijum, tačnije deluvijalna zemljišta. Oba tipa zemljišta su zastupljena u planinskim oblastima i nemaju proizvodni potencijal^[18.5].

Eolska zemljišta nastaju tokom dugotrajnog delovanja vetra, tj. tokom eluvijalnog procesa. Materijal koji se vetrom transportuje, oblikuje i akumulira naziva se eluvijum, te otud naziv eluvijalna zemljišta^[18.5]. Kod nas su zastupljena na prostoru Vojvodine u peskovitim terenima, a odlikuju se niskom vegetacijom i slabom plodnošću^[18.6].

Antropogena zemljišta nastaju usled dugotrajnog delovanja mehaničkih i hemijskih faktora na reljef zemljišta. Ovo delovanje prouzrokuje čovek, čime dolazi do česte promene oblika u reljefu i kvaliteta zemljišta. Delovanje čoveka na zemljišta uglavnom ima negativne uticaje na ista^[18.5].

Pored navedene podele zemljišta na tipska i atipska, postoje i druge mnogobrojne podele. Za poljoprivrednu proizvodnju najbitnija je klasifikacija zemljišta po kvalitetu – na bonitetske kategorije.

Preporučena literatura:

1. Mcqueen, K. G. and Scott, K. M., 2008: *Rock Weathering and Structure of Regolith*
https://www.researchgate.net/publication/271706163_Rock_Weathering_and_Structure_of_the_Regolith
2. Mcqueen, K. G., 2008: *Regolith Geochemistry*
https://www.researchgate.net/publication/271706155_Regolith_Geochemistry

Reference:

- [18.1] Miller, A., 1953: *The Skin of the Earth*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume 80, Issue 343, London (Methuen)
- [18.2] Đorđević, A., Radmanović, S., 2016: *Pedologija*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd
- [18.3] <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zq4rr82/revision/1>
- [18.4] Gračanin, M., 1951: *Pedologija – III dio – Sistematika tala*, Sveučilište u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb
- [18.5] Miljković, N. S., 1996: *Osnovi pedologije*, Institut za Geografiju, Novi Sad
- [18.6] <http://www.zemljiste.rs/vrste-zemljista/>

19.

GEONASLEÐE



19. GEONASLADE

U prethodnim poglavljima objašnjena je geologija kao naučna disciplina, kroz sve svoje grane i oblasti. Međutim, pored toga što nam geologija omogućava spoznavanje nastanka i funkcionisanja planete Zemlje, geologija je i izvor lepih predmeta i prirodne umetnosti. Od davnina se prirodna umetnost izuzetno ceni, pre svega zbog svoje izuzetne lepote.

Prva upotreba prirodnih elemenata u estetske svrhe (prevashodno kao nakit) poznata je još iz praistorije, kada su se upotrebljavale školjke i kamenje za izradu nakita. Nakit izrađen od različitih metala i dragog kamenja u drevnom Egiptu smatrao se, pored estetskog ukrasa, i simbolom bogatstva i položaja u društvu. U iste svrhe koristili su ga drugi drevni narodi, Kinezi, Sumeri, Grci, Rimljani, pa sve do danas. Pored dragog kamenja, zanimljivi fosili u današnjem društvu krase brojne objekte i domove. Dok su različiti pejzaži, oblikovani brojnim geološkim procesima, od vajkada predstavljali inspiraciju pesnicima, slikarima i piscima.

Danas, sa aspekta baštine bilo da je prirodna ili kulturna, postoje četiri osnovna postulata za potrebe njenog očuvanja^[19.1]:

1. Da takva baština treba biti očuvana zarad nje same;
2. Da postoji osnova za ekonomsko korišćenje;
3. Da može predstavljati podlogu za istraživanje, podučavanje i obrazovanje;
4. Da ima estetsku u kulturološku vrednost.

Kao posledica endogenih i egzogenih procesa nastaju mnogobrojni oblici na Zemljinoj površini. Oni mogu biti statički (oblici na koje aktivnosti više ne deluju – glacijalni relikti) ili aktivni (procesi se i dalje aktivno razvijaju – obale, reke, vodopadi...).

Očuvanje baštine, najvećim delom, otpočelo je shvatanjem biološkog i geološkog značaja određenih prostora. Industrijska revolucija stvorila je brojne probleme vezane ne samo za ekologiju, već i za zdravlje velikog broja ljudi. Kako bi se omogućila makar kakva zaštita u mnogim industrijskim zemljama zaštićeni su gradski parkovi i zelene površine koje predstavljaju „pluća grada“ i zelene oaze za beg iz industrijskog zagađenja.

Za izbor objekata geonasleđa postoje različiti kriterijumi kao što su: reprezentativnost, kompleksnost, mogućnost za multidisciplinarna istraživanja, itd^[19.1].

U grupe objekata geonasleđa spadaju: **geološki objekti** (petrološki, mineraloški, strukturni, hidrološki, hidrogeološki, paleontološki), **geomorfološki objekti** (tipovi reljefa) i **pedološki objekti** (tipovi zemljišta). Njihov značaj je višestruki i može biti naučni, kulturološki, ekonomski, obrazovni ili estetski^[19.1].

Očuvanje objekata geonasleđa se može vršiti **in situ**, tačnije zaštita objekta na mestu na kome se on nalazi, ili **ex situ**, čuvanje objekata u vidu zbirke koja se čuva u posebnim objektima^[19.1]. Prikupljanje objekata za formiranje zbirke je dugogodišnji proces koji obuhvata i arhiviranje podataka relevantnih za same objekte.

U Srbiji je trenutno pod zaštitom oko 10% prirodnih dobra i to^[19.2]:

- Rezervat biosfere – 1
- Vlažna staništa – 6
- Nacionalni parkovi – 5
- Parkovi prirode – 20
- Rezervati prirode – 120
- Spomenici prirode – 470

19.1 NACIONALNI PARKOVI SRBIJE

U prirodnoj baštini svake zemlje, nacionalni parkovi zauzimaju posebno mesto. Njihov značaj se ogleda u sveobuhvatnosti, tačnije sadrže sva četiri osnovna kriterijuma zaštite. Nacionalni parkovi pored toga što imaju izuzetnu prirodnu vrednost, predstavljaju i kulturno-istorijski značaj jedne zemlje. Proglašavanje jednog područja nacionalnim parkom predstavlja jedan od najviših oblika zaštite životne sredine. Srbija kao zemlja ima veoma dugu tradiciju zaštite prirode još iz 14. veka. Član 123. Dušanovog zakonika zabranjuje dalju seču šuma rudarima Sasima, omogućavajući im da koriste samo ono što su do tada posekli. Usled svoje nacionalne i međunarodne važnosti danas nacionalni parkovi prevazilaze granice država, te su svi nacionalni parkovi Srbije (ima ih 5: nacionalni park Fruška gora, Đerdap, Tara, Kopaonik i Šar planina) uključeni u Evropsku federaciju nacionalnih parkova (EUROPARC).

19.1.1 NACIONALNI PARK FRUŠKA GORA

Nacionalni park Fruška gora smešten je u Vojvodini (Srem), nedaleko od Novog Sada. Usled svojih visokih prirodnih vrednosti i kulturno-istorijskog značaja, nacionalnim parkom je proglašen još 1960. godine. Najviši vrhovi Fruške gore su: Crveni čot (538 m), Orlovac (512 m) i Iriški venac (490 m). Fruška gora se pruža paralelno sa desnom obalom Dunava, ukupne dužine od 80 km i širine od 15 km. Iako površina Fruške gore obuhvata oko 25.393 ha, zaštićena zona iznosi oko 26.672 ha^[19.3].

Park predstavlja jednu od četiri usamljene ostrvske planine Panonske nizije. Fruška gora se odlikuje neverovatnim geološkim oblicima, na celom prostoru je razuđena mnogobrojnim rečnim tokovima, što omogućava stvaranje mnogobrojnih bočnih grebena sa izuzetno strmim stranama koje se mogu pratiti od uskog grebena na vrhu, pa sve do podine planine.

Stvaranje Fruške gore počelo je tokom mezozoika (pre 90 miliona godina), a naučnici je, pre svega zbog geološkog značaja, nazivaju „ogledalo geološke prošlosti“. Park izgrađuju stene iz skoro svih geoloških perioda, jezgro planine izgrađeno je od stena paleozojske starosti, mezozoik je predstavljen konglomeratima različite granulacije, karakterističnim crvenim peščarima i krečnjacima, tercijar je predstavljen krečnjacima sa pojavama uglja, dok kvartarne naslage čine debeli slojevi lesa. Pored raznovrsnosti stena i mnogobrojnih procesa koji su se odigrali na ovim prostorima, Fruška gora je bogata i fosilnim vrstama, pronađeno je čak 164 životinjskih vrsta, starosti od oko 123 miliona godina^[19.3].

Danas Fruška gora predstavlja dom mnogim zaštićenim vrstama od kojih se čak 14 (vodozemci i gmizavci) nalazi na Crvenoj listi ugroženih vrsta. Orao krstaš je još jedan predstavnik Crvene liste koji je našao utočište na ovim prostorima. Bogatstvo flore se ogleda u prostranim šumama graba, hrasta, bukve, lipe i mnogih drugih (50 biljnih vrsta je pod zaštitom) ^[19.3].

19.1.2 NACIONALNI PARK ĐERDAP

Nacionalni park Đerdap predstavlja prirodnu granicu Srbije sa Rumunijom, nalazi se severoistočnom delu Srbije. Ukupna površina nacionalnog parka iznosi 63.786 ha, dok je pod zaštitnom zonom 93.968 ha. Ovo područje je proglašeno nacionalnim parkom 1974. godine^[19.4].

Najvažniji fenomen ovog područja svakako jeste Đerdapska klisura kroz koju protiče reka Dunav. Park se može pratiti dužinom od 100 km duž desne obale Dunava (od Golupca do Karataša) i širinom od 2-8 km, predstavljenih uzanim šumovitim brdsko-planinskim pojasom visine 50-800 mnnv iznad Dunava. Đerdap ima izuzetno specifičan istorijski razvoj koji je doveo do stvaranja složenih mreža klisura, kanjona i dubokih uvala, a zbog svog položaja ima veoma povoljnu klimu za razviće najrazličitijih vrsta flore i faune^[19.4].

Geološki posmatrano, Đerdapska klisura formirana je na mestu oticanja nekadašnjeg Panonskog mora, usecanjem kanjonskih dolina u krečnjake južnih Karpata. Ona predstavlja jednu od najdužih kompozitnih dolina Evrope, a sastavljena je od tri kanjonsko-klisurske doline i tri kotline. Posmatrajući nizvodno redaju se: Golubačka klisura (dužina 14,5 km, najmanja širina 230 m), Ljupkovska kotlina, klisura Gospodin vir (dužina 15 km, najmanja širina 150 m), Donjomilanovačka kotlina, klisura Kazan (dužina 19 km, najmanja širina 150m) i na kraju Oršavska kotlina^[19.4].

19.1.3 NACIONALNI PARK TARA

Nacionalni park Tara se nalazi u zapadnom delu Srbije, na teritoriji opština Bajina Bašta i Užice. Zahvata površinu od 24.991 ha i obuhvata najviši deo planine Tara^[19.5].

Park je nastao na krečnjačkoj podlozi u kojoj su reke Beli Rzav, Rača, Derventa i mnoge druge, dugogodišnjim usecanjem stvorile sistem dubokih klisura i kanjona. Park obiluje različitim karstnim oblicima kao što su vrtače, pećine, jame i uvale. Reljef se odlikuje heterogenošću, raznovrsnošću geološke podloge, vlažnom klimom i toplim krečnjačkim staništima, te su ovakvi uslovi omogućili stvaranje brojnih ekosistema, različitih šumskih, vodenih i pećinskih staništa. Ovo područje predstavlja dom velikom broju reliktnih i endemskih vrsta, koje čine ovaj park spomenikom pravih prirodnih vrednosti i retkosti. Jedan od najinteresantnijih endemoreliktnih predstavnika svakako jeste Pančićeva omorika (na ovoj lokaciji uspeva još od Tercijara) koju je pronašao i opisao Josif Pančić^[19.5].

19.1.4 NACIONALNI PARK KOPAONIK

U centralnom delu Srbije nalazi se jedan od najznačajnijih centara biodiverziteta endemične flore Srbije, nacionalni park Kopaonik. Predstavlja najveći planinski masiv u Srbiji, a pruža se od severozapada ka jugoistoku sa dužinom od oko 70 km i najvećom širinom od oko 40 km. Na površini od 11.969 ha nalazi prostor od velikog prirodnog značaja, zbog čega je proglašen nacionalnim parkom 1981. godine. Najviši deo nacionalnog parka Kopaonik je prostrana površ Ravni Kopaonik oko kog se uzdižu Pančićev vrh (2017 m), Karaman (1934 m), Gobelja (1834 m) i dr^[19.6].

Flora i fauna Kopaonika su veoma raznovrsne. Vrhovi su prekriveni četinarskim šumama smrče i jele, dok su se po stranama razvile velike površine četinarskih šuma bukve i hrasta.

19.1.5 NACIONALNI PARK ŠAR-PLANINA

Šar-planina predstavlja prirodnu granicu država Srbije, Makedonije i Albanije. Prema svojim morfološkim i geološkim karakteristikama pripada Dinaridima. Najznačajnije geomorfološke pojave Šar-planine predstavljene glacijalnim reliktima, brojnim cirkovima u kojima su se formirala lednička jezera, ispod kojih su uglavnom duboko usečene valovske doline koje predstavljaju izvorišta mnogih reka^[19.7]. Proglašen je nacionalnim parkom 1986. godine čime je 22.805 ha stavljeno pod zaštitu države.

Međutim, najveći značaj Šar-planine ogleda se u brojnosti leptira, čak 147 vrsta je svoje utočište našlo ovde, što je čini jednim od najbogatijih područja Evrope. Takođe Šar-planina čini čak 60% ornitofaune Srbije, sa preko 200 različitih vrsta ptica (orao bradan, tetreb, beloglavi sup, suri orao). Utočište na ovoj planini našle su i mnoge endemične vrste glodara kao što su kuna zlatica, kuna belica i dinarska voluharica^[19.7].

19.2 GEOLOŠKA BAŠTINA U SRBIJI I SVETU

Primera geološke baštine ima mnogo, za potrebe ove knjige predstavimo i ukratko opisati: **park prirode Stara planina, Lecanski andezitski kompleks - Đavolja varoš, Ha Long Bay arhipelag, Sudžin Tal lokalitet, Prirodni park El Torcal de Antequera.**

19.2.1 PARK PRIRODE STARA PLANINA

Stara planina, pored planina Šare, Tare, Prokletija i Kopaonika predstavlja jednu od najdragocenijih i najperspektivnijih turističkih oblasti u Srbiji. Pored svojih neverovatnih estetskih karakteristika, ona predstavlja i predele od velikog značaja u biološkom smislu. Stara planina se odlikuje mnogobrojnim prirodnim bogatstvima kao što su različiti morfološki i tektonski oblici, strme litice, vodopadi, prostrane livade i bogate šume. Takođe, Stara planina predstavlja predeo izuzetnog kulturološkog značaja, sa nekim od najstarijih srpskih manastira i fresaka.

Stara planina se uzdiže na udaljenosti od 70 km od Niša i 50 km od Knjaževca i Pirota (kojima i pripada), predstavlja prirodnu granicu prema Bugarskoj. Babin zub je planinski vrh koji se nalazi na nadmorskoj visini od 1758 m, odakle počinje uspon na Midžor (najviši vrh u Srbiji, sa visinom od 2169 m)^[19.8].

Napomena: Stara planina je opisana i u poglavlju 15.



Slika 19.1: Kontakt gabroida i granita na području Janje (foto: B. Vakanjac)



Slika 19.2: Granit Janje, lokalitet Gabrovnica (foto: B. Vakanjac)



Slika 19.3: *Babin zub*
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.4: *Babin zub, detalj, crveni konglomerat permske starosti, sivo su skrame lišaja*
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.5: *Jeļovičko vrelo*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.6: *Bioturbatna formacija kod sela Pakleštica*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.7: *Vodopad Tupavica*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



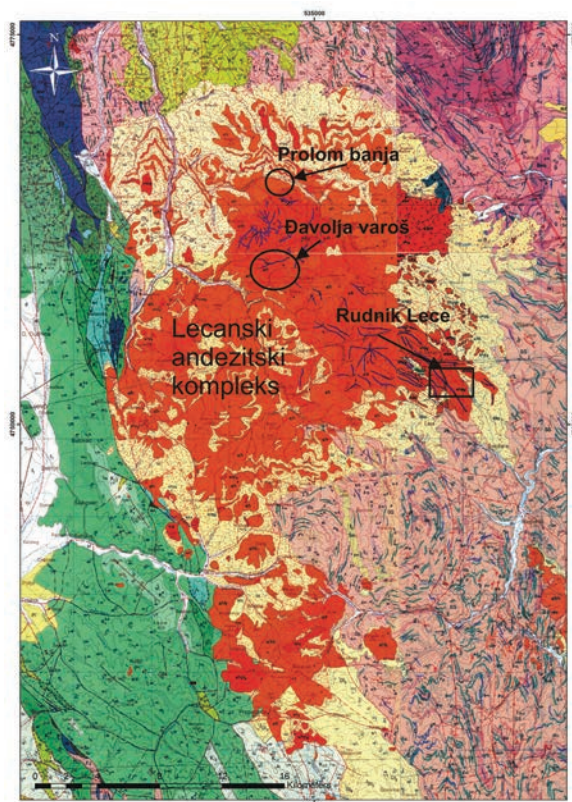
Slika 19.8: *Rosomački lonci (Slavinjsko grlo)*
(foto: V. Ristić Vakanjac)

19.2.2 LECANSKI ANDEZITSKI KOMPLEKS - ĐAVOLJA VAROŠ^[19.9]

Lokalitet „Đavolja varoš“, usled svojih izuzetnih karakteristika, pod zaštitu države stavljen je još 1959. godine, a 1995. je proglašen spomenikom prirode i prirodnim dobrom od izuzetnog značaja. Đavolja varoš predstavlja spoj dva izuzetno retka prirodna fenomena: razvijeni su specifični oblici reljefa koji u prostoru deluju izuzetno atraktivno (zemljane figure), i dva izvora jako kisele vode sa visokom mineralizacijom. Osim ovih pojava Đavolja varoš obiluje oblicima od kulturološkog značaja kao što su ostaci naselja, stare crkve, groblja i nekoliko zanimljivih rudarskih jama. O značaju ovog lokaliteta govori i podatak da je Đavolja varoš sve do kraja glasanja, 2010. godine, bila Evropski kandidat u trci da postane jedno od sedam svetskih čuda prirode.

Geološki ovaj prostor je vezan za andezitski masiv „Lece“ u okviru koga se nalazi i istoimeni rudnik zlata, olova i cinka. Ležište je nastalo delovanjem višefazne tektonike i hidrotermalnim aktivnostima koje su donele rudonosne fluide u okviru vulkanita (u ovom slučaju pomenutih andezita).

Geografski, spomenik prirode Đavolja varoš, se nalazi na jugu Srbije. Od Beograda je udaljen 288 km, 27 km jugoistočno od Kuršumlije, a 89 km jugozapadno od Niša.



Slika 19.9: Lecanski andezitski kompleks (narandžasto i žuto), ansemblaž od 4 lista OGK SFRJ 1:100.000



Slika 19.10: *Piroklastiti lečanskih andezita, materijal od koga je izgrađena i Đavolja varoš (foto: B. Vakanjac)*



Slika 19.11: *Crveni izvor (crvena boja potiče od limonitno-hematitnih koncentracija u vodi) (foto: V. Ristić Vakanjac)*



Slika 19.12: *Karakteristične piramide Đavolje varoši (foto: V. Ristić Vakanjac)*



Slika 19.13: *Đavolja varoš, detalj, u gornjem delu fotografije, mrko je prostor sa povišenom koncentracijom SiO_2 i Fe, indikator je za moguću sulfidnu rudu u okruženju (foto: B. Vakanjac)*

19.2.3 HA LONG BAY ARHIPELAG

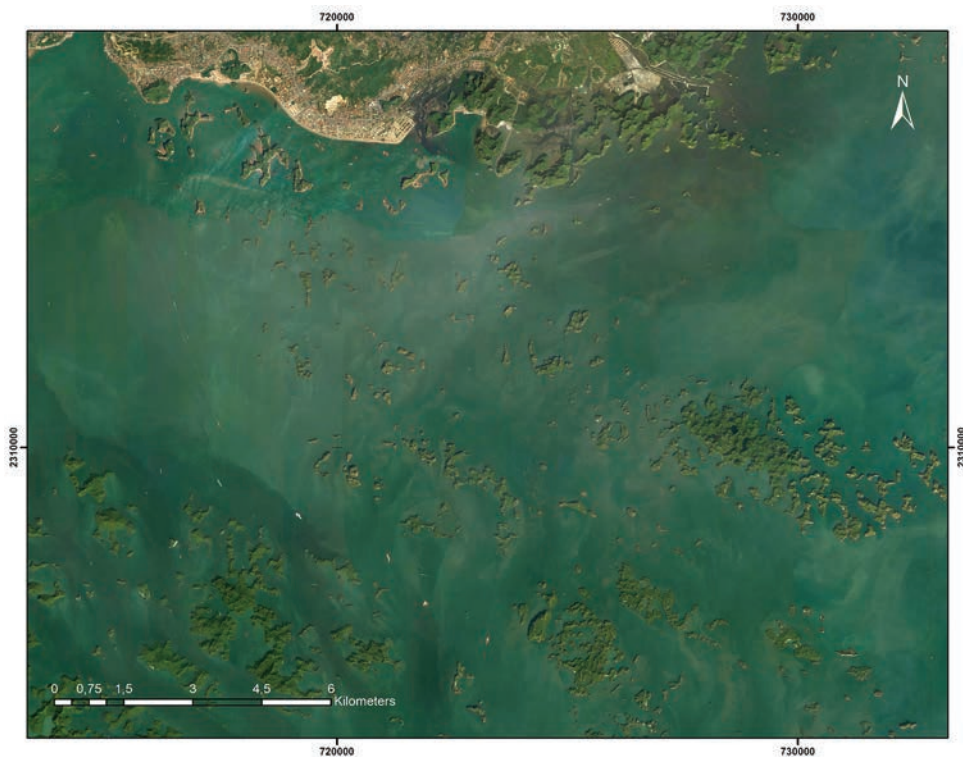
Ha Long Bay se nalazi na severu Vijetnama u južnom Kineskom moru oko 150 km jugoistočno od Hanoja i poznato je turističko mesto zaštićeno kao Svetska baština od strane Uneska, sadrži 1969 ostrva. Ha Long u prevodu znači "Mesto gde je sleteo zmaj".

Dugogodišnja istorija geološkog formiranja zaliva Ha Long je rekonstruisana čak od pre 500 miliona godina. Tokom paleozoika u ordoviciumu i siluru (500-410 miliona godina) je bio duboko more, tokom krabona i perma (340-250 miliona godina) plitko more, paleogena i neogena bio je obalno područje.

Ogromne količine krečnjaka debljine od oko 1000 metara su nastale u periodu od pre 340 do 240 miliona godina. Period intenzivne karstifikacije traje u zadnjih 20 miliona godina^[19,10]. U razvoju krečnjačke formacije konstatovano je 10 perioda diskontinuiteta stvaranja krečnjačkog materijala. Površine je oko 1500 kvadratnih kilometara. Sedimenti su izgrađeni od brahiopoda, graptolita, foraminifera, flore, koralja, ljuštura školjki i skeleta riba. Konstatovane su pojave i ležišta ugljeva, uljnih škriljaca, fosfata, krečnjaka, dolomita, silikatni pesak, gline, kvarc, pa čak i niskotemperaturne hidrotermalne pojave antimona i žive. Ipak imamo u vidu da je arhipelag u suštini izgrađen od krečnjaka^[19,10].

Iz razloga tektonskog uzdizanja prostora, kao i tople i vlažne i tople klime na prostoru Vijetnama razvijeni su izvanredni karakteristični karstni oblici. Posebno su fascinantne ogromne pećine.

Ekološki Ha Long Bay je važan iz razloga specifične biocenoze koja tu postoji. Konstatovano je 7 endemskih vrsta biljaka, zatim amfibije, primerci slane močvarne flore, reptili i sisari. Sa razvojem turizma povećan je izlov ribe, a zbog izgradnje pristaništa su očišćena područja koja su bila stanište mangrova i morske trave^[19,10].



Slika 19.14: *Ha Long Bay arhipelag (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 19.15: *Ha Long Bay - tipična ostrva*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.16: *Ha Long Bay - tipična ostrva*
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.17: *Ha Long Bay - tipična ostrva*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



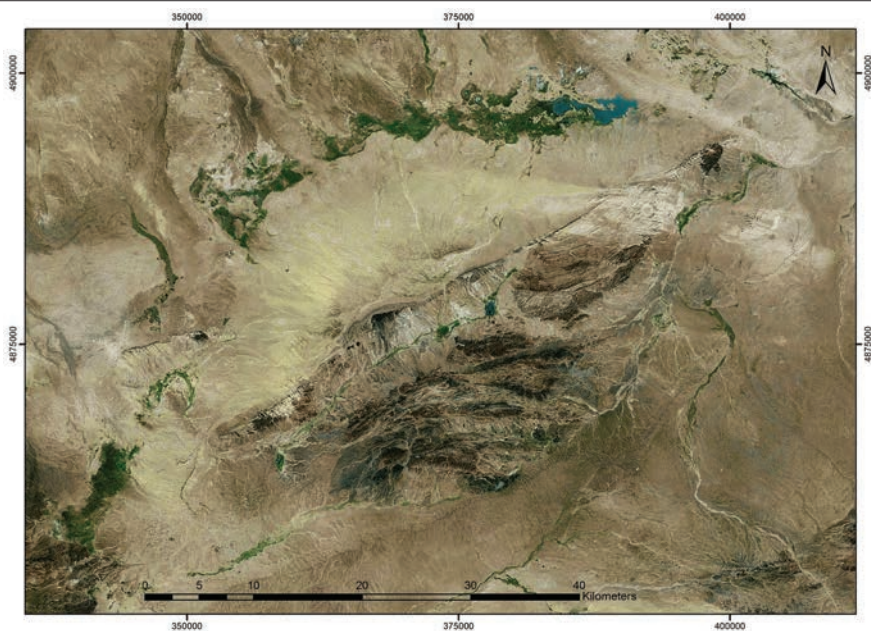
Slika 19.18: *Ha Long Bay - pećinski nakit u jednoj od mnogobrojnih pećina*
(foto: B. Vakanjac)

19.2.4 SUDŽIN TAL LOKALITET

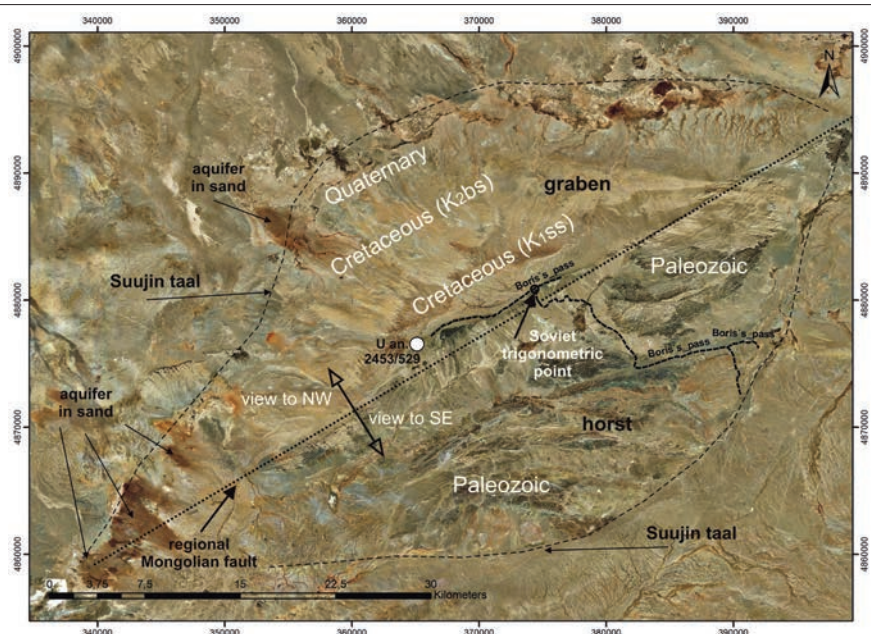
Sudžin tal je struktura koja se može prepoznati iz satelita na visini od 500 kilometara. Razvijena je u jugoistočnoj Mongoliji. Ima oblik sočiva, pruža se pravcem jugozapad - severoistok u dužini od 60km. Površina strukture je oko 1500 kilometara kvadratnih. Kroz centralni deo strukture prolazi glavni, regionalni Mongolski rased (regional Mongolian fault) čijom aktivnošću je i stvoren Sudžin tal. Jugoistočni "donji" deo je izgrađen od jako tektonski poremećenih paleozojskih (Paleozoic) metamorfita, dok je severozapadni "gornji" deo izgrađen od krednih sedimenata (Cretaceous). Uslovno centralna tačka Sudžin tala bi bila na poziciji sovjetske trigonometrijske tačke (Soviet trigonometric point). U delu gde počinju tvorevine donje krede (K_{1ss}) je konstatovana od strane sovjetskih geologa uranova anomalija.

Kako smo radili rekognosciranje i proveru anomalija da bi stekli fizičku realnu sliku na terenu, planirano je da se poseti anomalija 2453/529. Ispostavilo se da je to logistički složen zadatak jer se do anomalije nije moglo lako stići. Iz iskustva smo znali da uvek postoji neki put ili bar trag do sovjetskih trigonometrijskih tačaka koje su postavljene još tokom kasnih 40_tih i 50_tih godina XX veka, međutim prostor je pust i nije pogodan za tradicionalno mongolsko - nomadsko gajenje ovaca, goveda, pa ni kamila. Ako se uzme u obzir recimo od 1947 do 2007 je 60 godina erozije. Ipak izazov je bio veliki. U vreme ovih aktivnosti - jesen 2007, nije bilo dostupnih detaljnih ortofoto snimaka kao danas. Imali smo topografske karte 1:100.000 sa putevima koji su povezivali naselja Huvsgul (Khuvgul) i Sainšand (Sainshand), na razdaljini od 150km. Na topografskoj karti je bio put koji povezuje dva izvora, jedan na mestu gde bi trebalo da se skrene sa pravca Huvsgul - Sainšand u pravcu severozapada da bi se stiglo do drugog izvora koji je bio u prostoru od interesa. Bilo je više pokušaja i svi su završeni bezuspešno. Posle skretanja od pozicije prvog izvora i prilaska izdancima metamorfita put se gubio. Boris je učestvovao u dva, gde je u drugom pokušaju probao da "uhvati" rased, tačnije je pretpostavio da je vrh Dulan Hara Ul (na severoistiku strukture) izgrađen od stena, međutim nije se moglo da prođe do nastavka strukture jer je prosor bio izgrađen od dosta rastresitog peska. Vesna je uzorkovala vodu u prostorima krajnje jugozapadnih delova strukture gde je takođe nailazila na rastresite neprohodne često vlažne peskove. Zaključak je bio da treba da se prođe sa jugoistočne strane izgrađene od paleozojskih metamorfita i da se pažljivo prouče tada dostupni satelitski snimci. Posle priličnog napora uspostavljena je trasa sa kontrolnim tačkama. Radilo se o manje od 20 kilometara - od skretanja sa puta do sovjetske trigonometrijske tačke. Uz brojna stajanja, koristeći GPS, kompas, odštampane ortofoto snimke, česta stajanja i pešačke kontrole uspeali smo da dođemo do anomalije 2453/529. Posle ovog puta u žargonu se koristio termin "Borisov prolaz", napravili smo GPS trasu koja je vrlo brzo stigla do svih zainteresovanih. Na poziciji je bilo silifikovano drvo, mereno sa uređajem exploranium GR135 imalo 700 cpm (impulsa u minuti), 41ppm U, 9ppm Th i 4ppm K. Okolina je pored peska i sitnih fragmenata stena bila pokrivena fragmentima silifikovanih kostiju od kojih su neke imale 1200 cpm. Dakle potpuno pogrešno je uzimati iz pustinje okamenjeni organski materijal i držati ga u bibloteci ili kućnoj zbirci. Takođe bilo je puno lepih komada ahata. U junu 2008. izvršena je aviogama spektrometrija, najveća radioaktivnost je uočena na prostorima izdanskih koncentracija vode u peskovima.

Područje Sudžin tala je izuzetno u planetarnim razmerama. Ima više aspekata zbog čega bi se trebalo da zaštiti i proglasi sveskom geološkom baštinom. Od oblika koji se vidi iz svemira, otkrivenih stena, raseda, kontakta metamorfita i krednih sedimenata, ukrštene slojevitosti, dinosaurusovih kostiju, ahata i radioaktivnosti.



Slika 19.19: *Struktura Suujin taal (raster osnova SASPlanet Bing satellite)*



Slika 19.20: *Struktura Suujin taal sa karakterističnim geološkim formacijama i orijentacionim tačkama (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 19.21: Pogled ka jugoistoku - prema morfitima
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.22: Pogled ka severozapadu - prema krednim sedimentima
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.23: Kolega Rajko Kondžulović kod sovjetske trigonometrijske tačke na Suujin taal-u
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.24: Litifikovano drvo povišene radioaktivnosti, na poziciji anomalije 2453/529
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.25: Litifikovane kosti povišene radioaktivnosti, na poziciji krednih sedimenata, K_{1ss} Suujin taal-a
(foto: B. Vakanjac)



Slika 19.26: Pojave ahata na prostoru krednih sedimenata Suujin taal-a
(foto: B. Vakanjac)



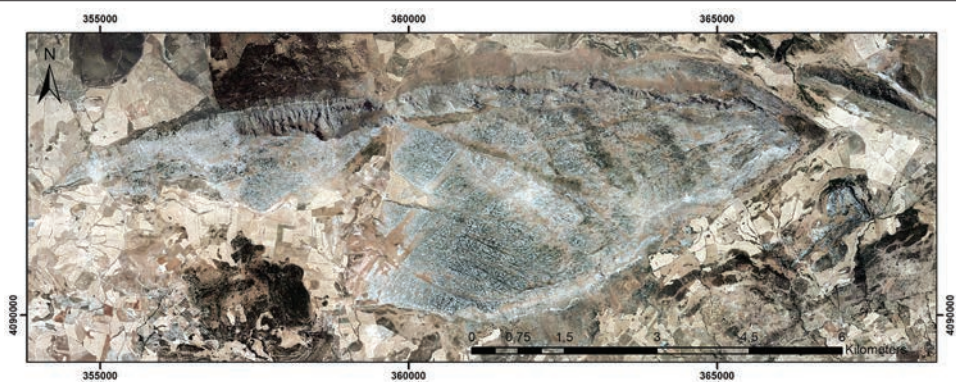
Slika 19.27: Litifikovane kosti (radioaktivnost 1200 cpm) (foto: B. Vakanjac)



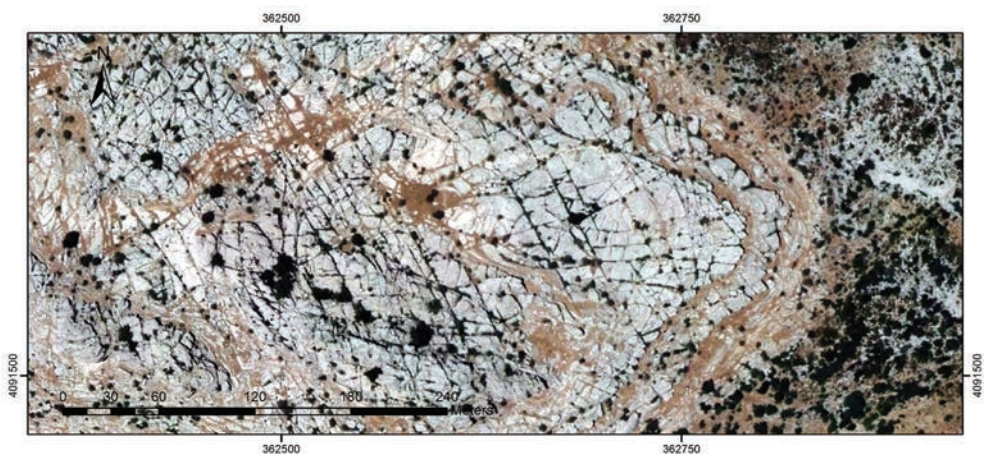
Slika 19.28: Litifikovane kosti (radioaktivnost 1200 cpm) (foto: B. Vakanjac)

19.2.5 PRIRODNI PARK EL TORCAL DE ANTEQUEARA

Prirodni park El Torcal de Antequera nalazi se u Španiji na oko 30 km severno od rodnog mesta Pabla Pikasa - Malage. Obuhvata oko 17 km² neobičnih i impresivnih formacija krečnjaka. Da bi razumeli nastanak ovih oblika, potrebno je vratiti se u prošlost i to oko 200 miliona godina, tačnije da se vratimo u vreme dinosaurus - juru. Početkom jure veći deo Evrope i Bliskog istoka nalazio se ispod Tetisa, kada je započeo proces sedimentacije karbonatnih ljuštura, skeleta i školjki životinja koje su tada živele u ovom moru. Ovaj proces taloženja trajao je oko 175 miliona godina, tako da su tokom ovog dugog perioda formirani horizontalni slojevi čineći naslage debljine u pojedinim delovima više hiljada metara. Nakon procesa sedimentacije, usled podvlačenja Afričke ploče pod Evropu dolazi do povlačenja tetiskog mora, tako da sedimenti nastali u moru sada postaju deo kopna. U procesu izdizanja ovog dela došlo je do sabijanja sedimenta, njihove deformacije i lomljenja. Postankom dela reljefa kopna, ovi sedimenti postaju izloženi atmosferilijama, tačnije površinskom raspadanju stenske mase (kiša, sneg, led, vetar), a kako se radi o krečnjacima, bili su izloženi i procesu karstifikacije. Kako su slojevi krečnjaka u okviru El Torcal de Antequera uglavnom subhorizontalni, proces karstifikacije se razvijao po ravnima slojevitosti, a u delovima gde su krečnjaci ispućali, proces karstifikacije je tekao i subvertikalnim smerom odnosno pravcem pružanja pukotina i prslina. Višemilionsko ponavljanje godišnjih oscilacija temperature kao i hemijsko rastvaranje karbonata dovelo je do formiranja ovih spektakularnih jedinstvenih oblika u karstu.



Slika 19.29: *Struktura El Torcal de Antequera, centralno svetlo sivo i ispucano su krečnjaci (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 19.30: *Struktura El Torcal de Antequera, detalj slike 19.29 (raster osnova SASPlanet ArcMap Imagery)*



Slika 19.31: *El Torcal de Antequera, pejzaž (foto: B. Vakanjac)*



Slika 19.32: *El Torcal de Antequera, karstifikovani krečnjaci*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.33: *El Torcal de Antequera, karakterističan izgled formacija*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.34: *El Torcal de Antequera, detalj*
(foto: V. Ristić Vakanjac)



Slika 19.35: *Svež prelom krečnjaka*
(foto: V. Ristić Vakanjac)

19.3 GEOPARKOVI U EVROPI

Geoparkovi predstavljaju specifičan oblik očuvanih lokaliteta kojih u Evropi ima u većem broju. Kako bi se neki prostor proglasio geoparkom mora postojati veći broj geoloških lokaliteta od značaja pre svega sa aspekta naučnih vrednosti, retkosti, estetske pojave ili edukacije. Geoparkovi igraju veliku ulogu u ekonomskom razvoju teritorije na kojoj se nalaze, pre svega kroz poboljšanje generalne slike geološkog nasleđa i razvoj geoturizma.

Katalog geoparkova u Evropi^[19.11]:

Nemačka:

- Bergstrasse-Odenwald Geopark
- Geo and Naturepark TERRA.vita
- Mecklenburg Ice Age Park
- Swabian Alb Geopark
- Vulkaneifel Geopark
- Geopark Harz

Velika Britanija:

- Fforest Fawr Geopark
- Geo MonWales
- North Pennines A.O.N.B. European Geopark
- North West Highlands Geopark

Italija:

- Geological, Mining Park of Sardinia
- Parco Naturale Adamello Brenta
- Parco Del Beigua

Grčka:

- Psiloritis Natural Park
- Petrified Forest of Lesvos

Španija:

- Cabo de Gata - Nijar Natural Park (Andaluzija)
- Parque Cultural del Maestrazgo
- Sobrarbe Geopark (Aragon)
- Subbeticas Geopark (Andaluzija)

Portugal:

- Arouca Geopark
- Naturtejo Geopark

Škotska:

- Lochaber Geopark

Irska:

- Copper Coast Geopark
- Marble Arch Caves European Geopark

Hrvatska:

- Papuk Geopark

Austrija:

- Nature Park Eisenwurzen

Češka:

- Bohemian Paradise

Norveška:

- Gea Norvegica Geopark

Francuska:

- Geologique de Haute-Provence

Rumunija:

- Hateg Country Dinosaurs Geopark

Preporučena literatura:

1. Brocks, M., Semeniuk, V., 2007: *Geoheritage and geoconservation - History, definition, scope and scale*;
https://www.researchgate.net/publication/285012358_Geoheritage_and_geoconservation_-_History_definition_scope_and_scale
2. Gordon, E. J., 2018: *Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation*
https://www.researchgate.net/publication/324555487_Geoheritage_Geotourism_and_the_Cultural_Landscape_Enhancing_the_Visitor_Experience_and_Promoting_Geoconservation

Reference:

- [19.1] *Zakon o zaštiti prirode*, "Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/20160 i 95/2018
- [19.2] Karamata S, Mijović D., 2005: *Inventar geonasleđa Srbije*, Drugi naučni skup o geonasleđu Srbije, Zavod za zaštitu prirode Srbije, Beograd
- [19.3] <https://www.npfruskagora.co.rs/cir/prirodne-vrednosti/>
- [19.4] <http://npdjerdap.rs/novi/>
- [19.5] <https://www.nptara.rs/>
- [19.6] <https://www.kopaonik.rs/nacionalni-park-kopaonik/>
- [19.7] http://www.zzps.rs/novo/index.php?jezik=sr&strana=zastita_prirode_zp_np_sar_planina
- [19.8] Zavod za zaštitu prirode Srbije, 2016.: "Park prirode Stara planina", Pirot
- [19.9] <https://www.djavoļjavaros.com/>
- [19.10] Thanh D. T., 1998.: "Geological history of Ha Long Bay", The World Publishing House, Hanoi
- [19.11] <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/new-unesco-global-geoparks/>

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

502.52:551

БАКАЊАЦ, Борис Б., 1960-

Geodiverzitet : osnovi geologije u životnoj sredini / Boris Vakanjac, Vesna Ristić Vakanjac, Tanita Đumić. - 1. izd. - Beograd : Univerzitet Singidunum, 2020 (Beograd : Birograf). - V, 318 str. : ilustr. ; 24 cm

Na vrhu nasl. str.: Fakultet za životnu sredinu i održivi razvoj. - Tiraž 300. - Bibliografija uz svako poglavlje.

ISBN 978-86-7912-718-1

1. Ристић Вакањац, Весна, 1965- [autor] 2. Ђумић, Танита, 1992- [autor]

a) Геонаслеђе b) Геолошки диверзитет

COBISS.SR-ID 283223052

© 2020.

Sva prava zadržana. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovан u bilo kom vidu i putem bilo kog medija, u delovima ili celini bez prethodne pismene saglasnosti izdavača.



Boris Vakanjac
Vesna Ristić Vakanjac
Tanita Đumić

GEODIVERZITET

OSNOVI GEOLOGIJE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Planeta Zemlja je za sada jedino mesto za koje znamo da postoji živi svet. U početku, na našoj planeti su postojale samo magmatske stene, koje su se kasnije menjale raznim procesima, pored ostalog raspadanjem formirajući sedimentne stene i regolit, a sve to se dešavalo uz pomoć vode, kiseonika, promene temperature i drugih uzročnika. Geološka sredina je dinamična zbog rada unutrašnjih "endogenih" sila - zemljotresi, magmatizam, vulkanizam, metamorfizam i spoljašnjih "egzogenih" sila - raspadanje stena i dijageneza. Život je na planeti Zemlji nastao pre oko 3,5 milijarde godina i do danas se stalno menja procesom koji zovemo evolucija. Na osnovu fosilnih ostataka određujemo starost slojeva nastalih u nekoj od prošlih epoha planete Zemlje. Mnogo toga što su ljudi stvorili, rezultat je prerade neke od mineralnih sirovina, vodu koje koristimo, zemlju koju obrađujemo - sve ovo je geodiverzitet odnosno predstavlja geološku raznovrsnost.