

PETROLOGIJA

<<http://geol.pmf.hr/~drbalen>>

preddiplomski studij Znanost o okolišu II godina

NASTAVNI SADRŽAJI

1. Petrogeni minerali, teksture, strukture, načini pojavljivanja i lučenje magmatskih stijena, intruzivne, žične, efuzivne i piroklastične stijene. Građa, mineralni i kemijski sastav Zemlje. Varijacijski dijagrami, magmatske serije. Klasifikacije i sistematika magmatskih stijena. Vulkanizacija.
2. Porijeklo, postanak i evolucija magme. Kristalizacija magme, diferencijacija magme, magmatski stadiji. Asocijacije magmatskih stijena u tektonici ploča. Plašt, izvori plaštnih materijala, magmatizam aktivnih i pasivnih kontinentalnih rubova.
3. Magmačke stijene divergentnih granica ploča, rift, oceanska kora, vulkanizam unutar ploča, vruće točke.
4. Magmačke stijene konvergentnih granica ploča, otočni luk, ofioliti. Kolizija kontinentalnih ploča, graniti.
5. Metamorfizam, granice metamorfizma, metamorfni faktori, metamorfni stupanj. Vrste, tipovi i klasifikacije metamorfizma, progradni i retrogradni metamorfizam.
6. Vrste protolita i kemijski sastav metamorfnih stijena, tipomorfni minerali, teksture i strukture metamorfnih stijena, načini pojavljivanja, klasifikacije metamorfnih stijena.
7. Utjecaj tlaka, temperature i fluida na nastanak metamorfnih mineralnih parageniza i sklop metamorfnih stijena. Indeks minerali, metamorfne zone, izograde, facijesi, serije metamorfnih facijesa. Kontaktni, kataklastični, regionalni metamorfizam, metamorfizam oceanskog dna, metamorfizam tonjenja, impaktni metamorfizam, polifazni metamorfizam.
8. Geotektonska uvjetovanost metamorfizma. Stabile mineralne zajednice u metamorfnim stijenama, principi određivanja starosti metamorfizma.
9. Procesi na površini Zemlje - mehaničko i kemijsko trošenje. Tlo i profili tla. Faktori koji kontroliraju postanak tla. Erozijska tla. Paleotla.
10. Transport i taloženje. Vučni i suspenzijski prijenos, prijenos gravitacijskim tokovima. Sedimentne teksture.
11. Klasični: struktura, tekstura i sastav konglomerata, breča, pjesčenjaka i sitnozrnatih sedimenta. Dijagenetski procesi i okoliši. Pješčana i šljunčana tijela. Taložni okoliši.
12. Karbonatni sedimenti: strukture, teksture i sastav vapnenaca. Mikrobijski procesi i produkti. Taložni okoliši. Izokemijska i alokemijska dijagenza (dolomitizacija, dedolomitizacija, silifikacija).
13. Evaporiti, rožnjaci, fosforiti, željezo-manganske naslage, boksiti: mineralogija, fizičko-kemijski i biološki uvjeti postanka. Dijagenza.
14. Organogeni sedimenti: ugljen, stupanj pougljivanja, pojavljivanje-okoliši. Naftni škriljci, evolucija organske materije, kerogen, nafta, plin.
15. Sedimenti u životu i djelatnosti čovjeka: gradnja, zaštita okoliša, sediment kao sirovina, sediment kao domaćin ekonomski važnih mineralnih sirovina.

Prof. dr. sc. Dražen Balen

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

3+1; 5 ECTS;
3 x 20% + 5% + 35%

Zorica Petrincec, prof. geo/geo

CILJ KOLEGIJA:

Savladavanje osnovnih znanja iz petrologije magmatskih, metamorfnih i sedimentnih stijena potrebnih za postizanje titule prvostupnika na studiju znanosti o okolišu. Osposobljavanje u prepoznavanju, klasifikaciji i osnovnoj interpretaciji geneze najčešćih magmatskih, metamorfnih i sedimentnih stijena. Stječu se znanja potrebna za samostalan rad u kabinetu, laboratoriju, korištenje polarizacijskog mikroskopa, rad na terenu i osnove za praćenje nastave na diplomskom studiju. Na temelju poznavanja raznih stijenskih značajki, studenti će biti u stanju protumačiti procese aktivne u vrijeme nastanka stijene i interpretirati značajke nekadašnjih okoliša, kao i karakter izvornih predjela u kontekstu tektonike ploča. Studenti također stječu znanja o procesima koji utječu na konačni izgled stijena.

Terenska nastava

- ⇒ Hrvatsko zagorje, Moslavačka gora
- ⇒ slavonske planine (Psunj, Papuk, Krndija)

Literatura

- Hyndman, D.W. (1985): Petrology of igneous and metamorphic rocks.- McGraw-Hill Book Company, 786 str.
- Blatt, H. & Tracy, R.J. (1996): Petrology. Igneous, Sedimentary and Metamorphic.- W.H. Freeman and co., 529 str.
- Best, M.G. (2003): Igneous and metamorphic petrology.- Blackwell Publishing, 729 str.
- e-Zbirka magmatskih i metamorfnih stijena
- skripta iz kolegija "Petrologija"

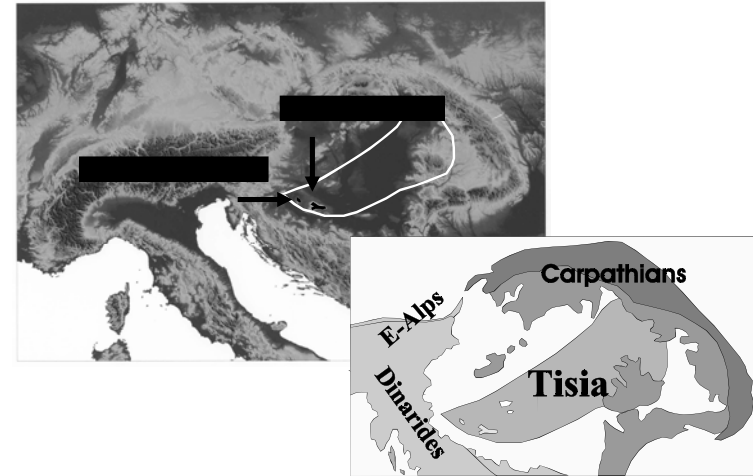
Što je petrologija i zašto je studirati?

- Jednostavno – studij stijena
- Grč.: *Petra* – stijena and *Logos* – pojam, misao, razum, objašnjenje
- Studij stijena je praktički izvor svih ideja o Zemljinoj prošlosti
- Poznavanje porijekla, starosti, rasprostranja stijena pridonosi rješavanju velikog broja problema s kojima se susreće geologija a i prirodoslovlje općenito
- Npr. evolucija magme i procesi nastajanja kore, tektonika ploča, nastanak mineralnih ležišta, ...



Izvor: <http://www.unisanet.unisa.edu.au/courses/course.asp?Course=010179#Subject>

Why, what, where?



Od čistog užitka do ispitnog roka



Magmatske stijene

- Magmatska stijena nastala skrutnjavanjem rastaljenog ili djelomično rastaljenog materijala kojeg nazivamo magma
- Metamorfna stijena je nastala iz bilo koje ranije postojeće stijene mineralnim, kemijskim i strukturnim promjenama u čvrstom stanju kao odgovor na promjene P, T, c u dubini Zemlje

Petrogeni minerali

- kristaliziraju iz magme
- Glavni (bitni) minerali - nastali procesom koji je dao stijenu, ima ih >10%, klasifikacija stijene
- Sporedni (značajni) minerali < 10%, određuju podvrstu stijene
- Akcesorni nastali specifičnim geološkim događajima ali NE iz primarnih minerala

Melanokratski minerali, mafitni, femski

Olivin $(Mg, Fe)_2SiO_4$

Piroksen XYZ_2O_6

- rompski (orto-)
- monoklinski (klino-)

Amfibol $A_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH, F, Cl)_2$

- rompski (orto-)
- monoklinski (klino-)

Biotit $XY_{2-3}Z_4O_{10}(OH)_2$

Flogopit

Leukokratski minerali, salski, felsični

Kvarc SiO_2

Feldspati (alk. feldspati i plagioklasi) - $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, $CaAl_2Si_2O_8$

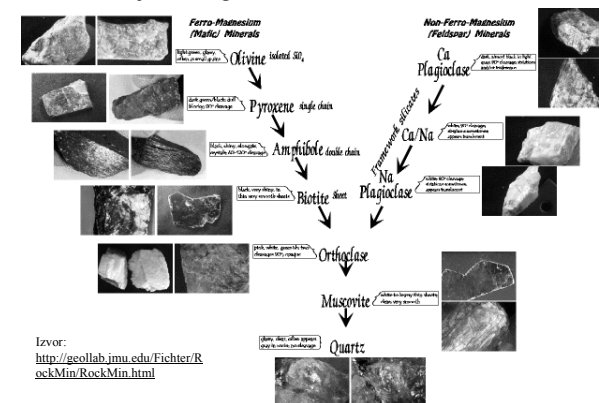
Feldspatoidi $\ll SiO_2$

• Minerali mogu biti:

- primarni - nastali direktno kristalizacijom iz magme u okviru magmatskog ciklusa
- sekundarni - svi minerali koji nastaju u postmagmatskom stadiju iz primarnih minerala
 - trošenjem - P, T na površini
 - alteracijom >P, >T

Minerali

• Kristalizacija iz magme



Izvor:
<http://geolab.jmu.edu/Fichter/RockMin/RockMin.html>

Teksture i strukture magmatskih stijena

Tekstura - način na koji su minerali zauzeli prostor u stijeni
homogena, fluidalna, vezikularna, mandulasta, aglomerirana ...

Struktura - važna za određivanje uvjeta postanka (geneza) i za
klasifikaciju stijena

Izražena je:

- stupnjem kristaliniteta (holokristalina, hijalina, hipokristalina, hipohijalina)
- veličinom zrna (makrokristalina, afanitska, mikrokristalina, kriptokristalina)
- oblikom zrna (idiomorfna, hipidiomorfna, alotriomorfna)
- međusobnim odnosom i rasporedom minerala (zrnata, porfirna)

Intruziv



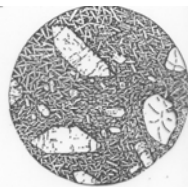
Zrnata struktura

Žične



Ofitska struktura

Efuziv



Porfirna struktura

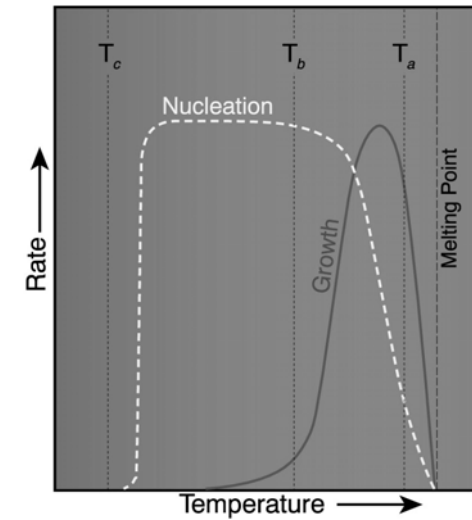
Magmatske strukture

Slika I-1 Grafički prikaz odnosa količine nukleacije i brzine rasta rasta kristala u funkciji temperature ispod točke tališta.

Hlađenje koje neznatno odmiče temperaturu (T_a) od tališta pogoduje brzom rastu i malom broju kristalizacijskih jezgara (nukleacija) te daje svega nekoliko krupnih zrna (efuziv).

Naglo hlađenje udaljava ravninu undercooling (T_b), tako da sporiji rast i brojna nukleacija daje sitnozrnati mineralni agregat (intruziv).

Vrlo naglo hlađenje daje malo ili ništa jezgara, nema rasta (T_c) i nastaje staklo.



Intruzivne stijene

- idiomorfno zrnata
- hipidiomorfno zrnata
- alotriomorfno (ksenomorfno) zrnata
- gabro struktura
- poikilitska struktura
- kelifitska struktura
- pertitska
- mirmekitska
- mikrografska

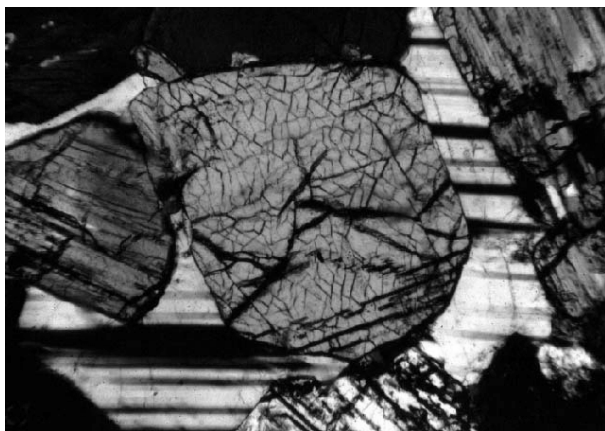
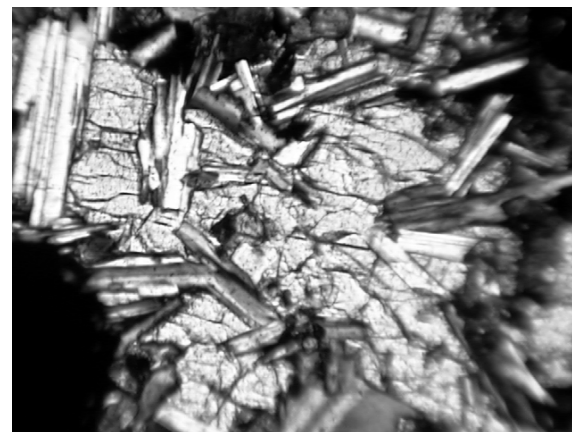
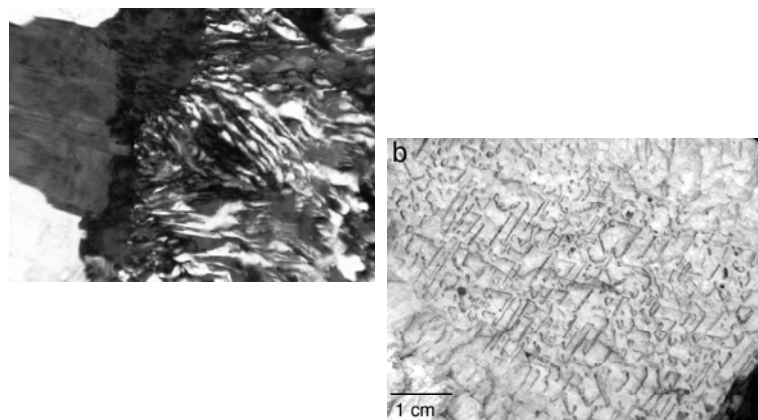


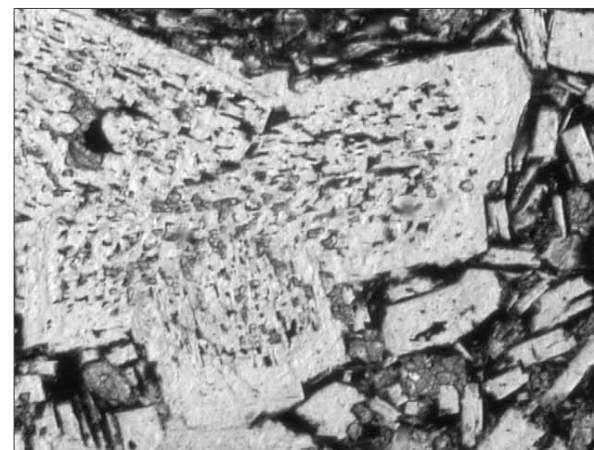
Figure I-3. Idiomorfan piroksen i intersticijski plagioklas čine intruzivnu holokristalnu zrnatu strukturu. Stillwater complex, Montana. Širina slike 5 mm. © John Winter and Prentice Hall.



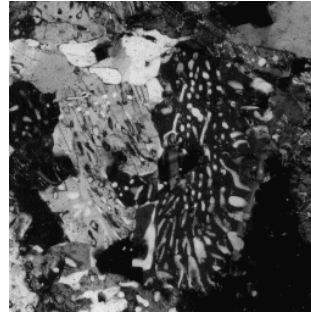
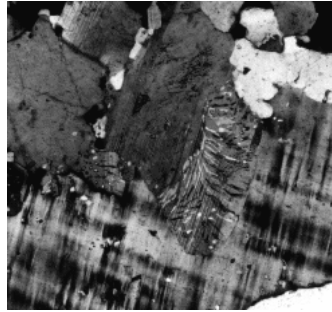
Slika I-4. Ofitska struktura. Piroksen uklapa isprepletene štipice plagioklasa. Širina slike 1 mm. Skaergård intrusion, E. Greenland. © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-5. a. Granofirsko prorastanje kvarca i alkalnog feldspata. Golden Horn granite, WA. Širina slike 1mm. b. mikrografska struktura: kvarcni kristal (tamnije) prorasta s alkalnim feldspatom (svijetlo) Laramie Range, WY. © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-6. Poikilitiska, sitasta (sieve) struktura u fenokristalu plagioklasa. Rub i manja zrna bez uklopaka. Andesite, Mt. McLoughlin, OR. Širina slike 1 mm. © John Winter and Prentice Hall.



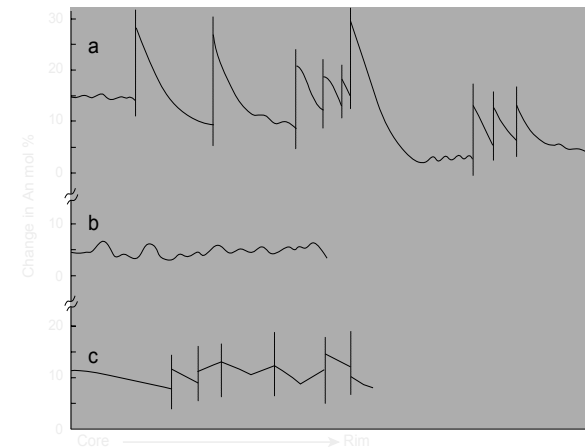
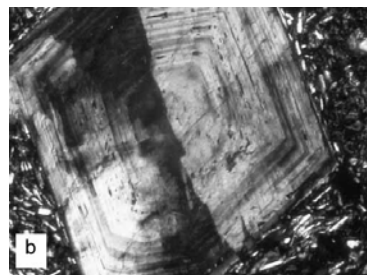
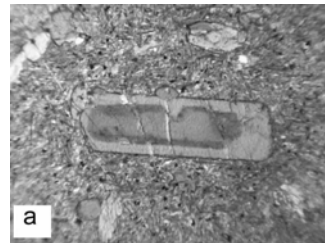
Slika I-8. Mirmekit formiran u plagioklasu na granici prema K-feldspatu. © L. Collins. <http://www.csun.edu/~vcgeo005>

Efuzivne stijene

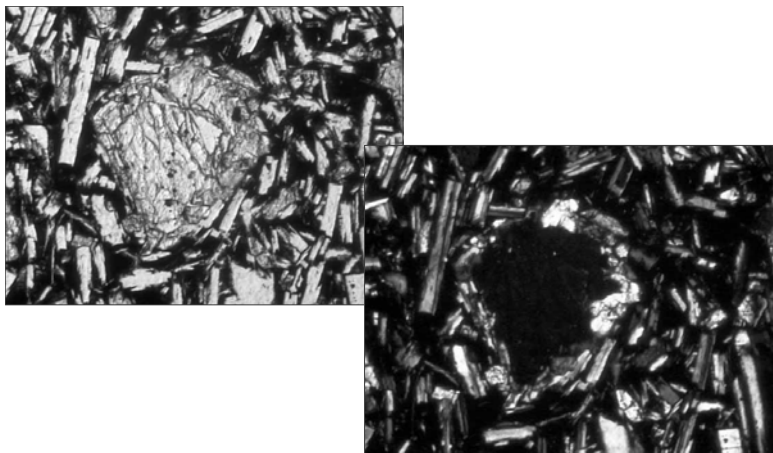
- holokristalina porfirna struktura
- vitrofirma
- intersertalna
- hijaloofitska, hijalopilitiska
- ofitska
- pilotaksitska, trahitna
- sferulitska
- perlitska
- hijalina

Efuzivne strukture

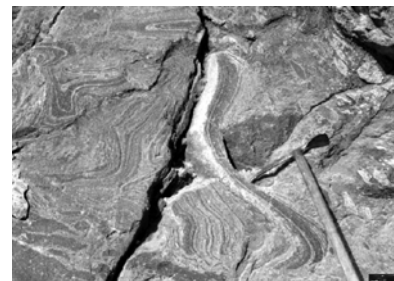
I-9. a. Zonalni fenokristal (utrusak) hornblende u sitno-kristaliziranoj osnovi. Širina slike 1 mm. b. Zonalni sraslac plagioklasa (Karlovarski sraslački zakon). Andezit, Crater Lake, OR. Širina slike 0.3 mm. © John Winter and Prentice Hall.



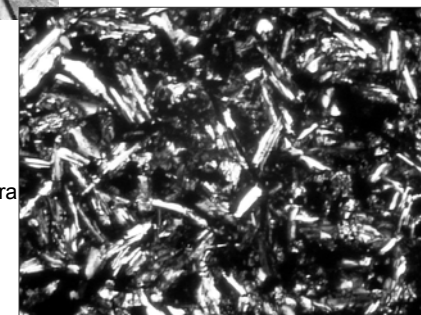
Slika I-10. Primjer profila kroz plagioklas načinjenog elektronskom mikroskopom a. Nagle promjene pripisane su miješanju magne (magma mixing), slijedi normalna kristalizacija hlađenjem. b. Male i nepravilne oscilacije uzrokovane su lokalnim pomanjkanjem ravnoteže. c. Kompleksne oscilacije uslijed kombinacije efekata miješanja magne i lokalne neravnoteže. Prema Shelley (1993). *Igneous and Metamorphic Rocks Under the Microscope*. © Chapman and Hall. London.



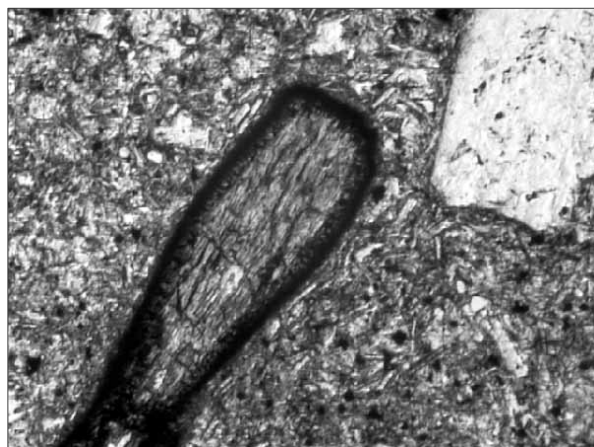
Slika I-11. Olivin okružen ortopiroksenom (a) N-; (b) N+, vidljiva korona od ortopiroksena. Bazalt-andezit, Mt. McLaughlin, Oregon. Širina slike ~ 5 mm. © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-12. Tragovi tečenja i deformacija (flow banding) u andezitu. Mt. Rainier, WA. © John Winter and Prentice Hall.



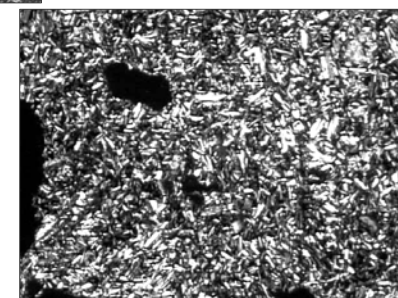
Slika I-13. Intergranularna struktura u bazaltu. Columbia River Basalt Group, Washington. Širina slike 1 mm. © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-14. Fenokristal hornblende s opacitskim rubom od Fe-oksida plus piroksen. Struktura nastala uslijed pada pritiska tijekom erupcije, andezit. Crater Lake, OR. Širina slike 1 mm. © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-15. Trahitna struktura kod koje su mikrokristali plagioklasa usmjereni uslijed tečenja lave i povijaju se oko fenokristala. (P). Trahit, Njemačka. Širina slike 1 mm. Prema MacKenzie *et al.* (1982). © John Winter and Prentice Hall.



Slika I-16. Pilotaxitska struktura kod koje su mikrokristali slučajno orijentirani. Bazalt-andezit, Mt. McLaughlin, OR. Širina slike 7 mm. © John Winter and Prentice Hall.

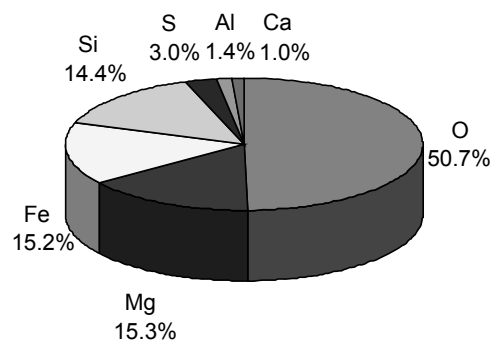
Kemijski sastav: Elementi

⇒ Geokemija magmatskih i metamorfnih stijena

Magma - prirodna, homogena, kompleksna uglavnom silikatna taljevina koja se odlikuje svojim kemijskim sastavom, viskozitetom, gustoćom, temperaturom i tlakom

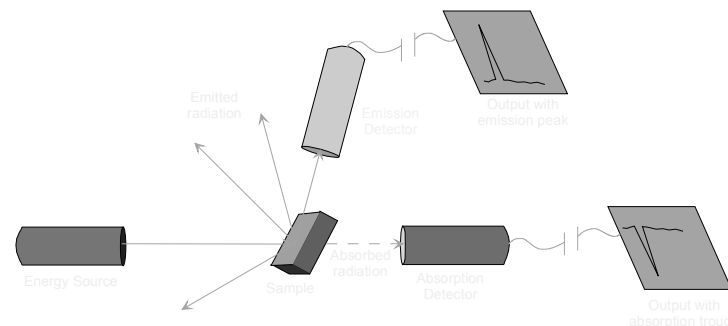
⇒ stijena

“Mokra kemija”: gravimetrija/volumetrija, klasične metode, spore



Slika I-18. Relativna zastupljenost sedam najčešćih elemenata koji čine 97% mase Zemlje. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology, by John Winter, Prentice Hall.

Moderne spektroskopske tehnike - fazne i elementne analize (AES, AAS, XRF, XRD)



Element	Wt % Oxide	Atom %
O		60.8
Si	59.3	21.2
Al	15.3	6.4
Fe	7.5	2.2
Ca	6.9	2.6
Mg	4.5	2.4
Na	2.8	1.9

Zastupljenost elemenata u Zemljinoj kori

Makro (major) elementi: > 1%

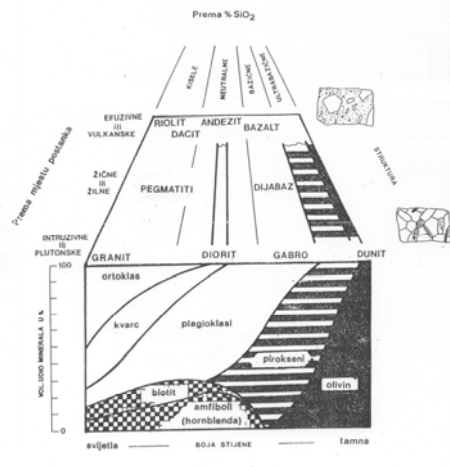
SiO₂ Al₂O₃ FeO* MgO CaO Na₂O K₂O H₂O

Mikro (minor) elementi: 0.1 - 1%

TiO₂ MnO P₂O₅ CO₂

Elementi u tragovima (trace) < 0.1%

Udio SiO₂ u sastavu minerala



Mineral	ud. % SiO ₂
alkali	63
amfiboli	54-58 (30)
anortit	43
biotit	35-39
feldit	30
forsterit	41
kvarc	100
leucit	54
ortoklas	64
pirokseni	45-57 (30)

Kemijska analiza stijene

	Peridotit	Bazalt	Andezit	Riolit
SiO ₂	42.26	49.20	57.94	72.82
TiO ₂	0.63	1.84	0.87	0.28
Al ₂ O ₃	4.23	15.74	17.02	13.27
Fe ₂ O ₃	3.61	3.79	3.27	1.48
FeO	6.58	7.13	4.04	1.11
MnO	0.41	0.20	0.14	0.06
MgO	31.24	6.73	3.33	0.39
CaO	5.05	9.47	6.79	1.14
Na ₂ O	0.49	2.91	3.48	3.55
K ₂ O	0.34	1.10	1.62	4.30
H ₂ O+	3.91	0.95	0.83	1.10
Total	98.75	99.06	99.3	99.50

CIPW Normativni sastav

- Modalni - volumen opaženih minerala (%)
- Normativni - izračunati "idealizirani" sastav

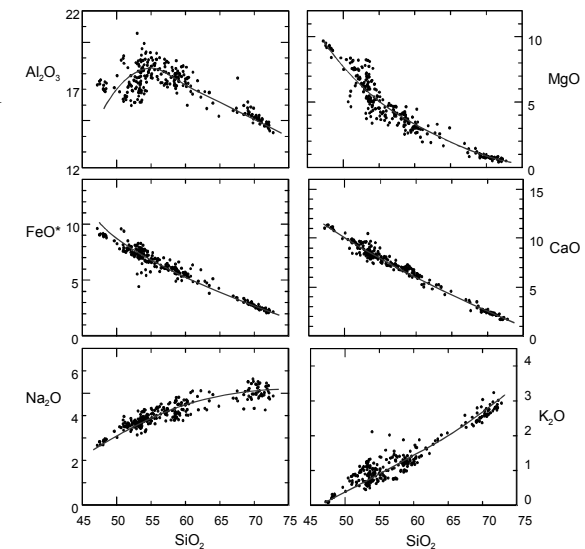
Varijacijski dijagrami

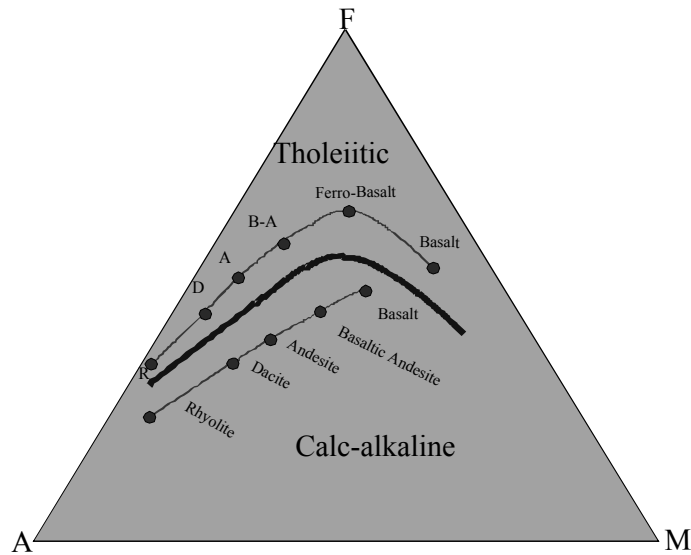
Kako prikazati kemijske podatke?

Bivarijantni
(x-y)
dijagrami

Harker
dijagram

Crater
Lake





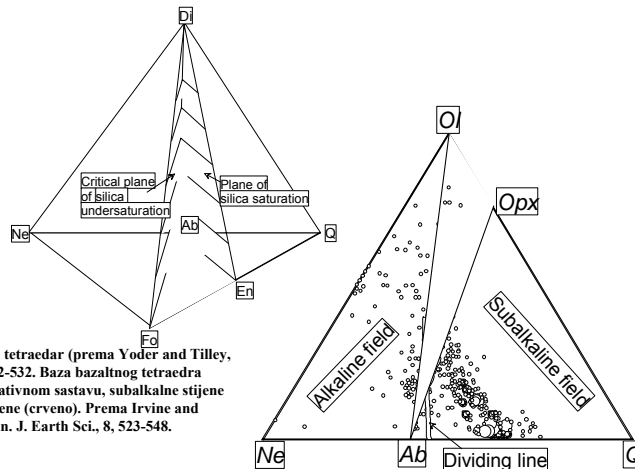
Magmatske serije

Može li se kemija iskoristiti za razlikovanje magmatskih serija (familija, tipova)?

Neki od kemijskih elemenata vrlo upotrebljivi za razlikovanje magmatskih grupa

- Ukupne alkalije ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)
- Silicij (SiO_2) i zasićenje silicijem saturation
- Aluminijski (Al_2O_3)

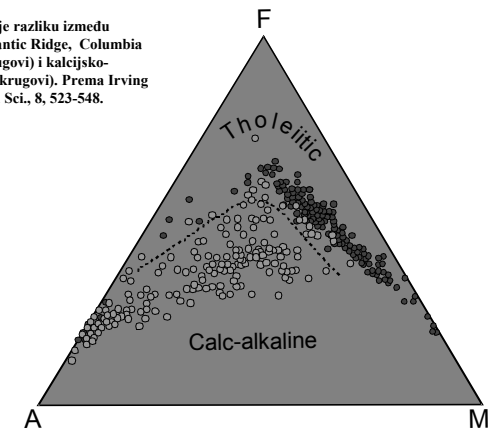
Bazaltni tetraedar i Ne-Ol-Q trokomponentni dijagram
Alkalne i subalkalne magme



Slika 1-21. Bazaltni tetraedar (prema Yoder and Tilley, 1962). J. Pet., 3, 342-532. Baza bazalnog tetraedra temeljena na normativnom sastavu, subalkalne stijene (crno) i alkalne stijene (crveno). Prema Irvine and Baragar (1971). Can. J. Earth Sci., 8, 523-548.

AFM dijagram: dalje dijeli subalkalne magme na toleitnu i kalcijsko-alkalijsku seriju

Slika 1-22. AFM dijagram pokazuje razliku između toleitnih stijena Islanda, Mid-Atlantic Ridge, Columbia River Basalta i Havaja (crveni krugovi) i kalcijsko-alkalijskih stijena Cascad-a (rozi krugovi). Prema Irving and Baragar (1971). Can. J. Earth Sci., 8, 523-548.

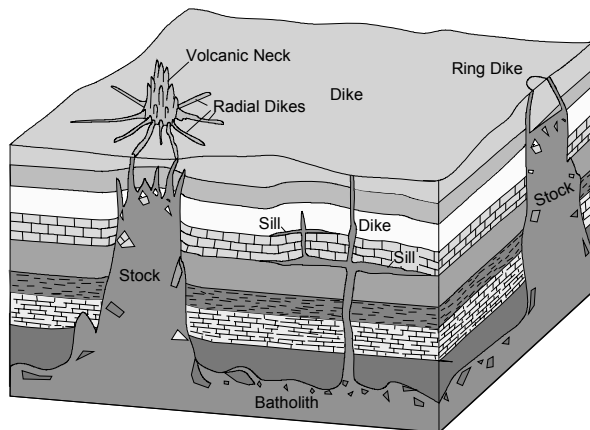


Istraživanja širom svijeta pokazuju značajne razlike između te tri serije

Karakteristična serija	Rub ploče		Unutar ploče	
	Konvergent.	Divergent.	Oceanske	Kontinent.
Alkalijska	da		da	da
Toleitna	da	da	da	da
Kalcijsko-alkal.	da			

Prema Wilson (1989). Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman - Kluwer

Načini pojavljivanja magmatskih stijena

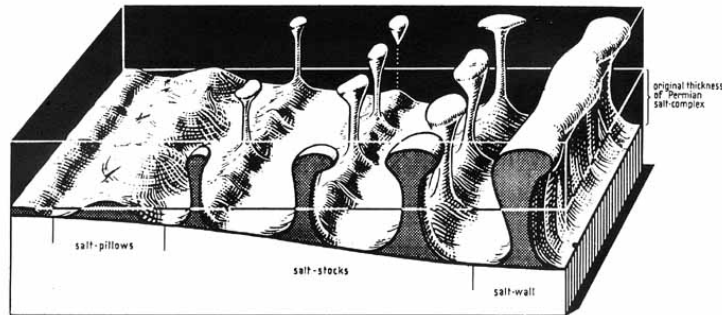


Slika II-1. Shematski blok dijagram nekih od intruziva.

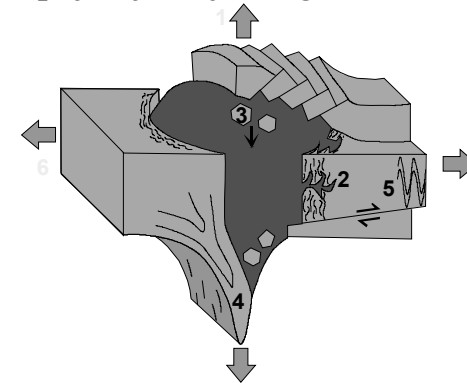
Načini pojavljivanja magmatskih stijena

- intruzivi
 - žične stijene
 - efuzivi
-
- Batolit
 - velike dimenzije
 - nepravilan oblik
 - odsutnost podloge (nepoznata)
 - diskordantan odnos
 - izduženi II osima planinskih vijenaca
 - Štok (greda)
 - manje površine od 100 km²
 - Apofize
 - Ksenoliti (enklave)

Načini pojavljivanja magmatskih stijena

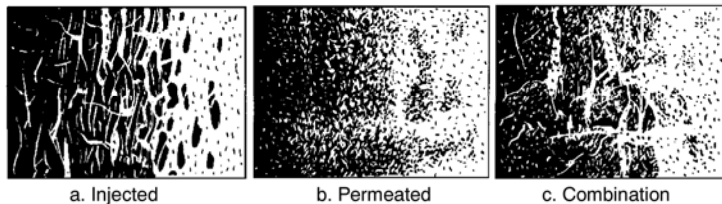


Slika II-7. Blok dijagram solnih dijapira ispod površine, sjeverna Njemačka. Prema Trusheim (1960), *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **44**, 1519-1540 © AAPG.

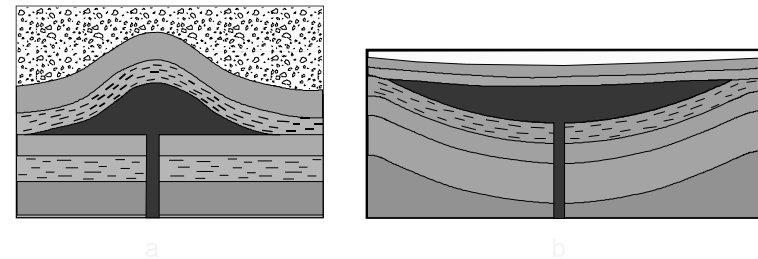


Slika II-2. Prikaz utiskivanja plutona. 1- boranje i izdizanje krovine; 2- asimilacija stijena na kontaktu, parcijalno taljenje, taljenje u pojedinim zonama; 3- uklapanje ksenolita; 4- deformacija rubnih djelova okolnih stijena (ductile rock deformation); 5- bočni pomak stijeni boranjem ili rasjedanjem; 6- (i 1)- utiskivanje u ekstenzijski okoliš. Prema Paterson *et al.* (1991), *Contact Metamorphism. Rev. in Mineralogy*, **26**, pp. 105-206. © Min. Soc. Amer.

Načini pojavljivanja magmatskih stijena

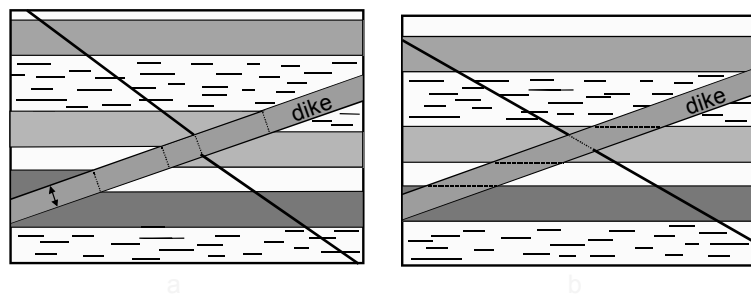


Slika II-3. Postupni prijelaz između homogene magmatske stijene (bijelo) i okolne stijene (tamno). Prema Compton (1962), *Manual of Field Geology*. © R. Compton.



Slika II-9. Oblici konkordantnih plutonskih tijela. **a. Lakolit**, gljivasta forma, veličinom između sila i štoka (nekoliko km²), ravna podina zakrivljena krovina. **b. Lopolit** intrudirao u bazen, tanjurasto tijelo, konkordantno, stratificirano s bazičnim donjim dijelom. Skala nije jednaka za oba plutona, lopolit je obično znatno veći. © John Winter and Prentice Hall.

Načini pojavljivanja magmatskih stijena

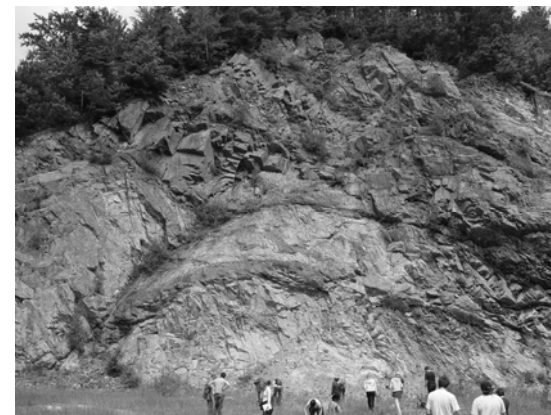


Slika II-10. Pločasta magmatska tijela unutar uslojenih sedimenata.

dajk (žica) remeti slojeve, diskordantan odnos.

Sil konkordantan odnos, ulaganje II slojnoj plohi. © John Winter and Prentice Hall.

Dajk (žica)



- Dajkovi bazalta u granitu (Djedovica, Slavonija)

Efuzivi, površinske efuzije, tokovi, vulkani

- Centralni izljev
- Pukotine
- Slijev - velike površine, male debljine, ovisi o sastavu lave
 - kisele
 - bazične

PAHOEHOE lava

- fluidne, niski viskozitet, čvoraste, nalik užetu, unutarnje cijevi, fire fountain, pukotine

AA lava

- manje pokretne, viši viskozitet, deblji tokovi, manje plinova i para
- ili eruptira kao aa ili evoluirala iz pahoehoe, fire fountain

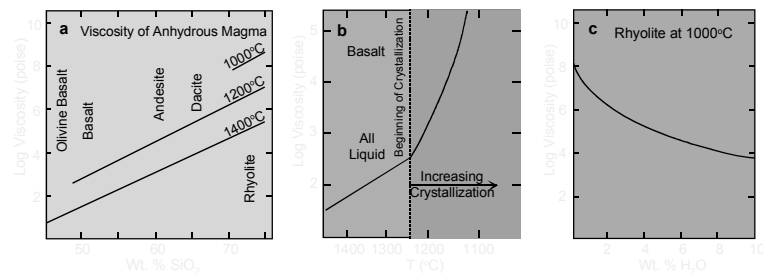
Blok lava

- glatka u usporedbi s aa lavom, nepravilna površina, reljef do nekoliko m, visok viskozitet i naglo istjecanje



Slika II-13. "Vatrena fontana" (fire fountain) i tok lave, Hawaii

Viskozitet



Slika II-15. a. Izračunati viskoziteti bezvodne silikatne taljevine pri tlaku od 1 atmosfere - Bottinga and Weill (1972), Hess (1989), Origin of Igneous Rocks. Harvard University Press. b. Varijacije u viskozitetu bazalta tijekom kristalizacije (prema Murase and McBirney, 1973), Geol. Soc. Amer. Bull., **84**, 3563-3592. c. Varijacije u viskozitetu riolita pri 1000°C s povećanjem sadržaja H₂O (prema Shaw, 1965, Amer. J. Sci., **263**, 120-153).



Slika II-16. Površina aa lave nalikuju uzetu, 1996 flows, Kalapana area, Hawaii. © John Winter and Prentice Hall.

Slika II-17. Pahoehe (lijevo) iaa (desno) 1974 slijev iz Mauna Ulu, Hawaii. © John Winter and Prentice Hall.



Riolitna lava

- visok sadržaj SiO₂, stakla
- visok viskozitet, tokovi lave
- da bi uopće mogle teći potrebne su visoke temperature

Jastučasta lava (pillow)

- jastučasti oblik, 10 cm - 6 m, bazaltnog sastava
- submarinske efuzije, reakcija s hladnom morskom vodom, koncentrična građa (sitnozrnata jezgra + staklasti rub)
- alteracije minerala (klinopiroksen, plagioklas ⇒ klorit, albit)
- srednjeoceanski hrptovi
- najzastupljeniji tip lave, pokriva 70 % zemljine površine

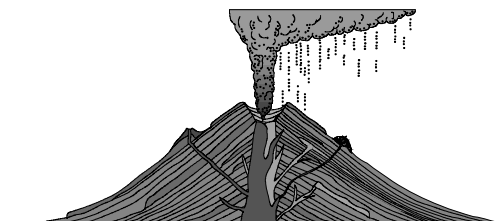


Slika II-18. Pillow lava. Fotografija Gordon Tribble i U.S. Geological Survey

Vulkani



Slika II-20. Tipovi vulkana s centralnim izljevom (svi prikazani na istoj skali).
 Composite Volcano: Mt. Rainier, WA
 Dome: Lassen Peak, CA
 Cinder Cone: Sunset Crater, AZ

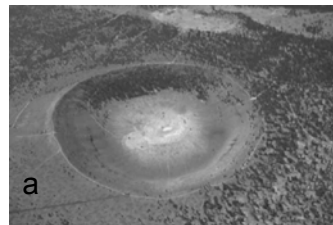


- Vulkanska kupa
- Krater
- Grotlo
- Dimnjak
- Parazitski vulkani
- Magmatsko ognjište

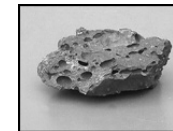
- Štitasti (shield) vulkan
 - fluidni slijev lave, relativno niski, velike površine, h/d omjer nizak
- Stratovulkan (složena kupa, composite)
 - iznjene slijevova i naslaga piroklastičnog materijala
- Piroklastični vulkan (cinder)
 - izgrađen od piroklastičnog materijala (litoklast, kristaloklast, vitroklast)
 - vrlo strmi, h/d omjer visok

Pepeo - < 4 mm
 Lapili - 4 do 32 mm
 Bombe - > 32 mm

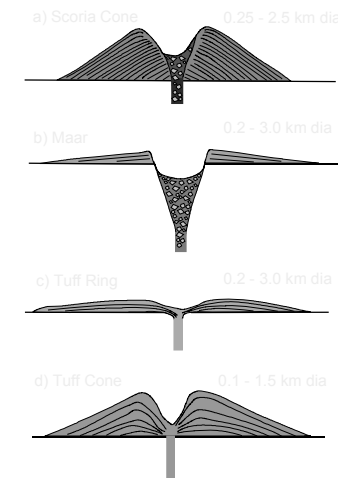
Slika II-23. a. Maar: Hole-in-the-Ground, Oregon (slika USGS). b. Tuff prsten: Diamond Head, Oahu, Hawaii (slika Michael Garcia). c. Scoria cone, Surtsey, Island, 1996 (© slika Bob and Barbara Decker).



Slika II-22. Presjeci manjih eksplozivnih vulkana. Prema Wohletz and Sheridan (1983), *Amer. J. Sci.*, **283**, 385-413.

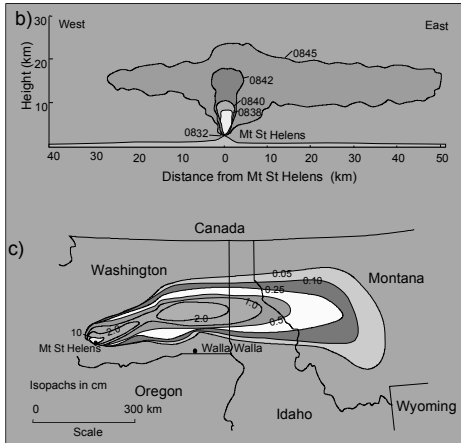


Scoria - je vezikularna staklasta lava bazaltnog do andezitnog sastava nastala izbacivanjem tijekom eksplozivne erupcije.



Prema karakteru eksplozivnosti:

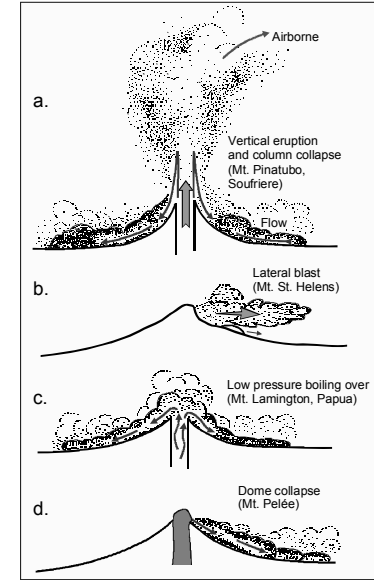
- Hawaii i Stromboli
 bazični sastav, 1200 °C, brzina toka lave 8-10 m/s, protežu se do 80 km, neeksplozivni
- Etna i Vezuv
 andezitni do bazični sastav, viskozne, spore, ~ 1000 °C, začepljenje dimnjaka dovodi do eksplozije, izbacuju kruti materijal (bombe, lapili), kratki i debeli tokovi
- Pele
 andezitni, vrlo visok viskozitet, 800 °C, skrutnjavanje u dimnjaku, kolosalne eksplozije (krutina + plin)
- Krakatoa
 •kiseli, vrlo visok viskozitet, eksplozije, velike količine krutine, KALDERA



Slika II-25. Oblak pepela i njegovo rasprostiranje nakon erupcije Mt. St. Helens 1980. **a.** Mt. St. Helens vertikalni stup pepela, Svibanj 18, 1980 (slika USGS). **b.** Razvoj oblaka pepela u prvih 13 minuta. **c.** Debljina naslaga pepela (u cm). Prema Sarna-Wojcicki *et al.* (1981) in *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington. USGS Prof. Pap., 1250, 557-600.*



Slika II-27. Tipovi nastanka piroklastičnih naslaga (pyroclastic flow). Prema MacDonald (1972), *Volcanoes*. Prentice-Hall, Inc., Fisher and Schminke (1984), *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag. Berlin. **a.** kolaps vertikalne eksplozije ili Plinijskog stupca, materijal pada natrag i kreće se duž površine. **b.** Bočna eksplozija, Mt. St. Helens in 1980. **c.** Ključanje "Boiling-over" magme bogate plinom. **d.** Gravitacijski kolaps vruće dome (Sl. II-28).



Slika II-29. Presjek kroz ignimbrit pokazuje u bazi kaotične naslage (basal surge deposit), u sredini tokove piroklastičnog materijala (flow deposit), i u gornjem dijelu pokrov pepela (ash fall). Rožo predstavlja plovuac (pumice), tamno predstavlja fragmente stijena (gušći). Prema Sparks *et al.* (1973) *Geology*, **1**, 115-118. Geol. Soc. America

Vitroklast
Litoklast
Kristaloklast



LUČENJE

pločasto
kockasto

prizmatsko
kuglasto

nepravilno



Slika II-30. **a.** Yellowstone National Park, Wyoming, USA
prizmatsko lučenje ; **b.** kuglasto lučenje
Girraween National Park
Australija



← Prizmatско lučenje
Rupnica, Voćin, Slavonija



↑ Kuglasto lučenje
Garjavica, Moslavačka gora

Post vulkanski fenomeni

- vrući izvori
- gejziri
- fumarole



Old Faithful, Yellowstone, USA