

PETROLOGIJA

[<http://geol.pmf.hr/~drbalen>](http://geol.pmf.hr/~drbalen)

preddiplomski studij

Znanost o okolišu II godina

Prof. dr. sc. Dražen Balen

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

3+1; 5 ECTS;

3 x 20% + 5% + 35%

Zorica Petrinc, 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)

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. Vulkani.
- 2. Porijeklo, postanak i evolucija magme. Kristalizacija magme, diferencijacija magme, magmatski stadiji. Asocijacije magmatskih stijena u tektonici ploča. Plašt, izvori plaštinih materijala, magmatizam aktivnih i pasivnih kontinentalnih rubova.
- 3. Magmae stijene divergentnih granica ploča, rift, oceanska kora, vulkanizam unutar ploča, vruće točke.
- 4. Magmae 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 parageneza 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. Stabilne 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. Erozija tla. Paleotla.
- 10. Transport i taloženje. Vučni i suspenzijski prijenos, prijenos gravitacijskim tokovima. Sedimentne teksture.
- 11. Klastiti: struktura, tekstura i sastav konglomerata, breča, pješčenjaka i sitnozrnatih sedimenata. 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 dijageneza (dolomitizacija, dedolomitizacija, silicifikacija).
- 13. Evaporiti, rožnjaci, fosforiti, željezo-manganske naslage, boksiti: mineralogija, fizičko-kemijski i biološki uvjeti postanka. Dijageneza.
- 14. Organogeni sedimenti: ugljen, stupanj pougljavanja, pojavljivanje-okoliši. Naftni škriljavci, 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.

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"

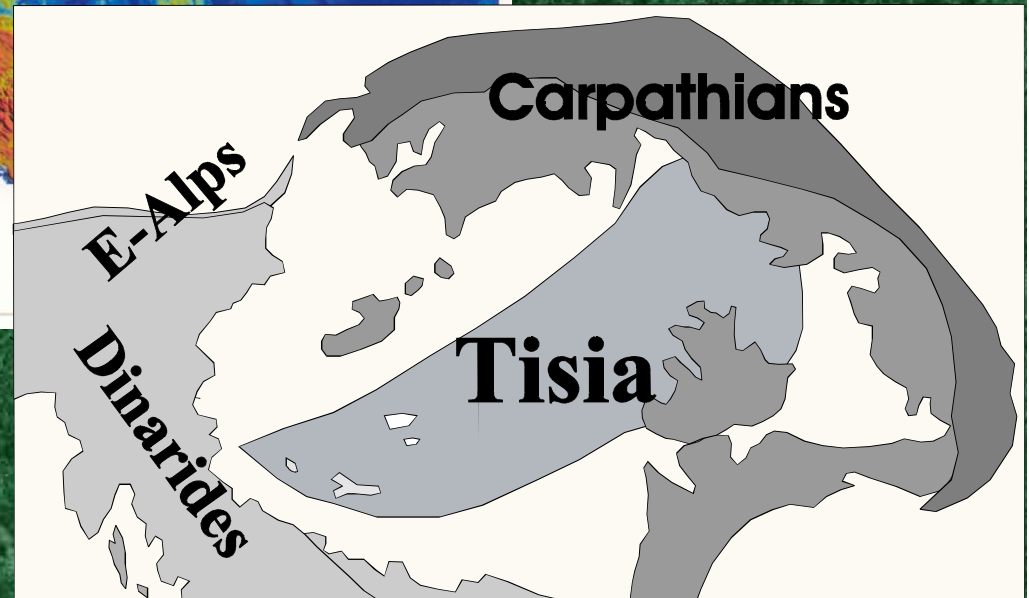
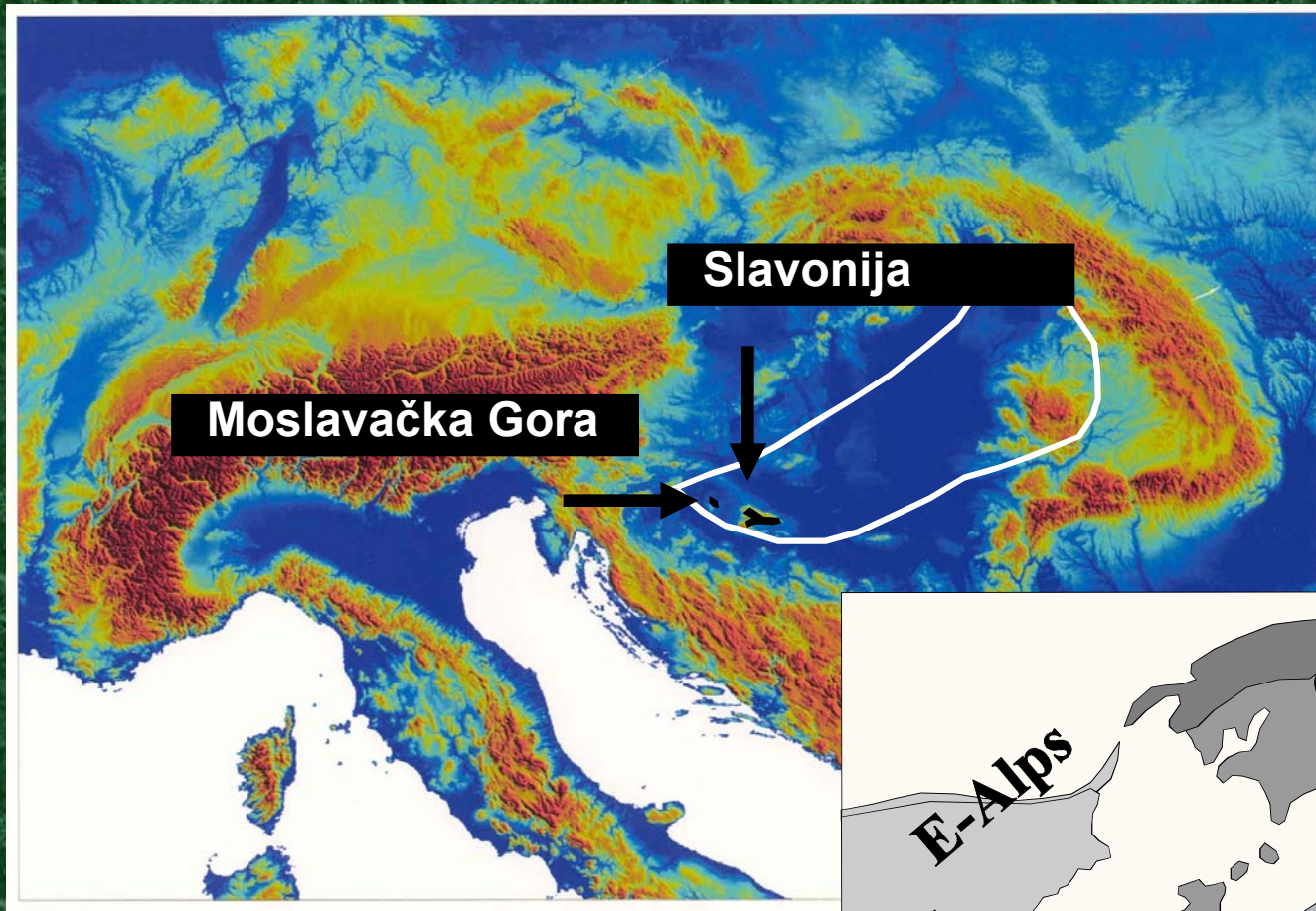
Što je petrologija i zašto je studirati?

- 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, rasprostiranja 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

- Minerali mogu biti:
 - primarni - nastali direktno kristalizacijom iz magme u okviru magmatskog ciklusa
 - sekundarni - svi minerali koji nastaju u postmagnatskom stadiju iz primarnih minerala
 - trošenjem - P, T na površini
 - alteracijom $>P$, $>T$

Melanokratski minerali, mafitni, femski

Olivin $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$

Piroksen XYZ_2O_6

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

Amfibol $\text{A}_{0-1}\text{X}_2\text{Y}_5\text{Z}_8\text{O}_{22}(\text{OH, F, Cl})_2$

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

Biotit $\text{XY}_{2-3}\text{Z}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Flogopit

Leukokratski minerali, salski, felsični

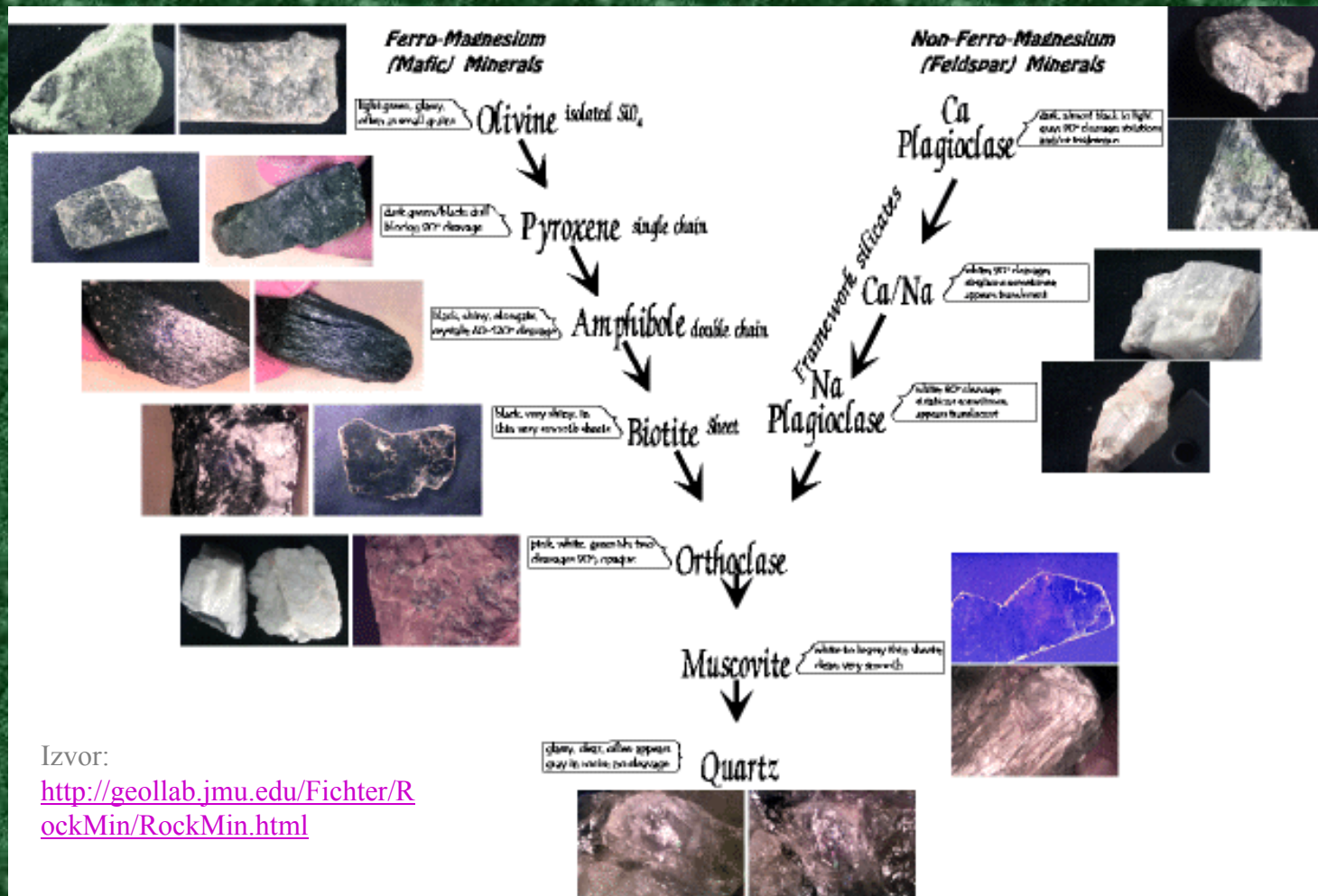
Kvarc SiO_2

Feldspati (alk. feldspati i plagioklasi) - KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Feldspatoidi $\ll \text{SiO}_2$

Minerali

- Kristalizacija iz magme



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)

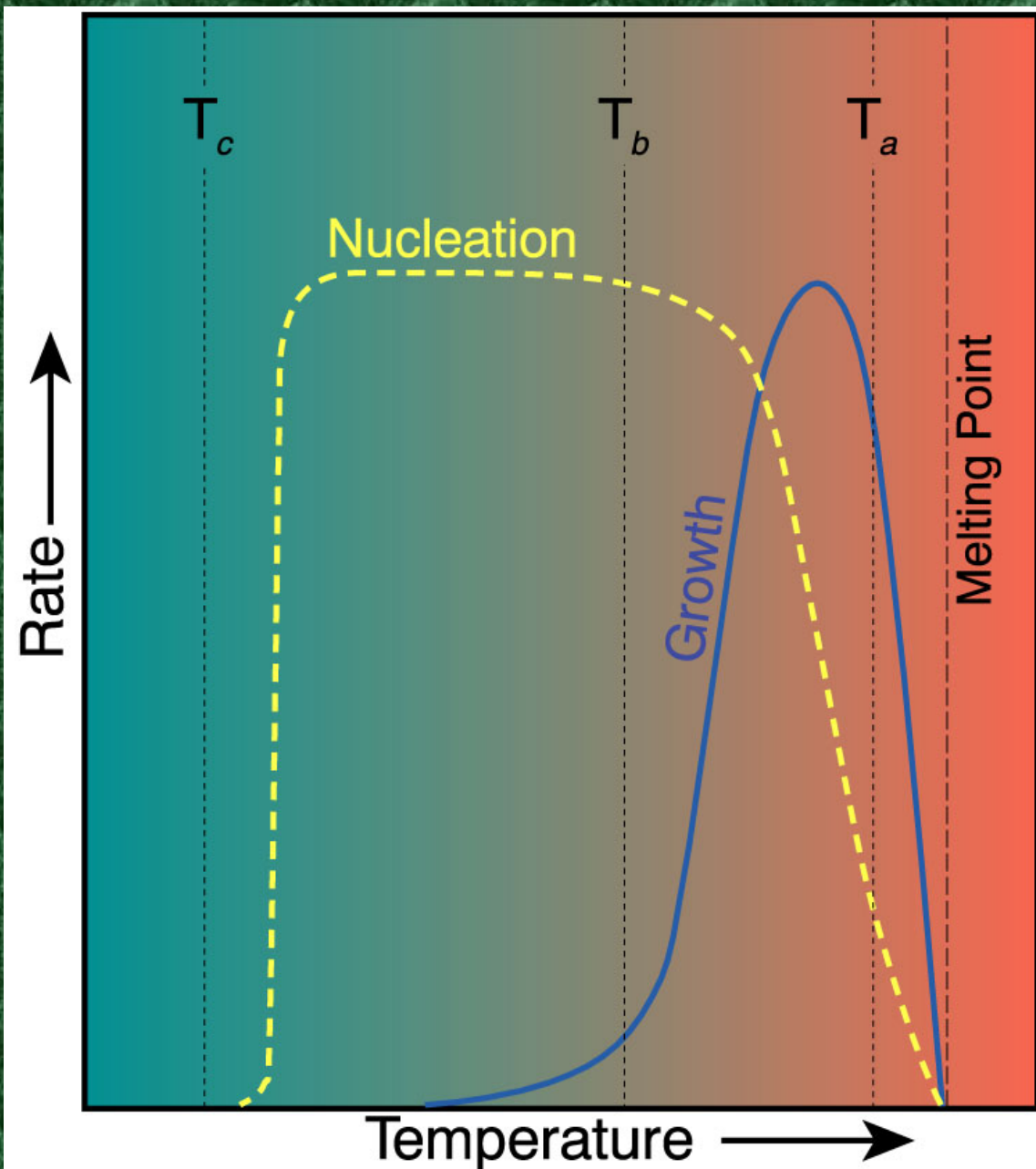
Magmatske strukture

Slika I-1 Grafički prikaz odnosa količine nukleacije i brzine 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.



Intruziv

Žične

Efuziv



Zrnata struktura

Ofitska struktura

Porfirna struktura

Intruzivne stijene

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

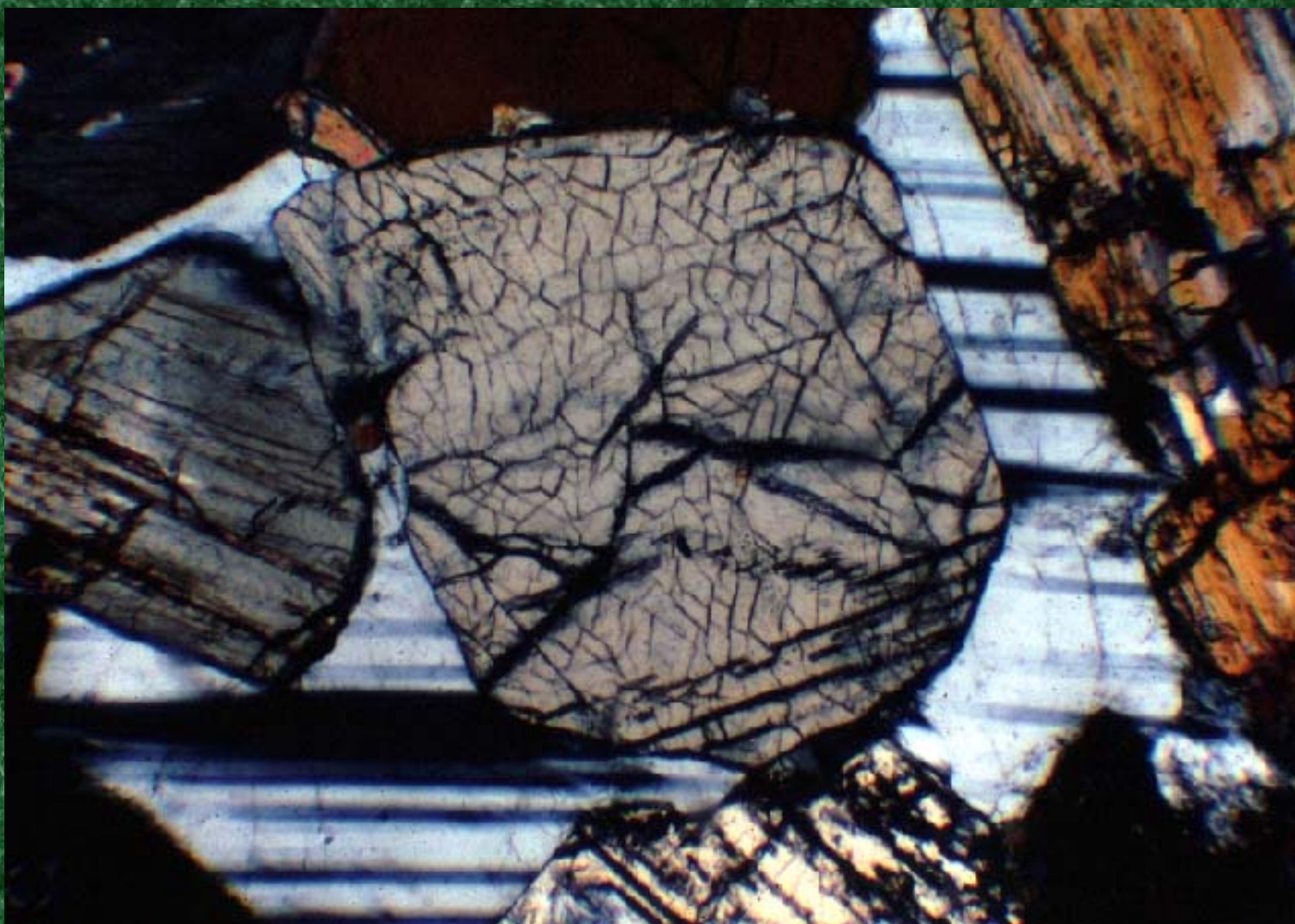
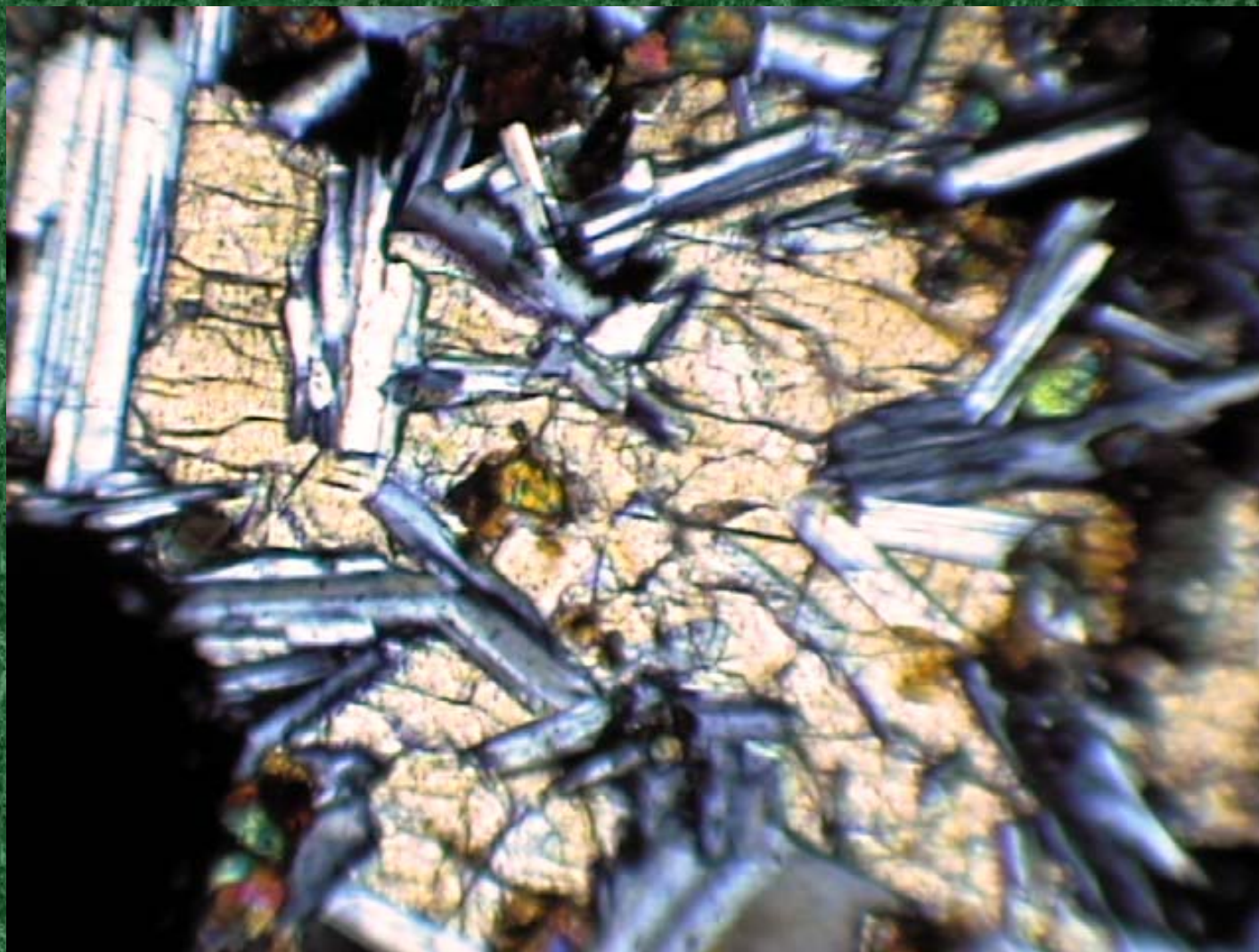
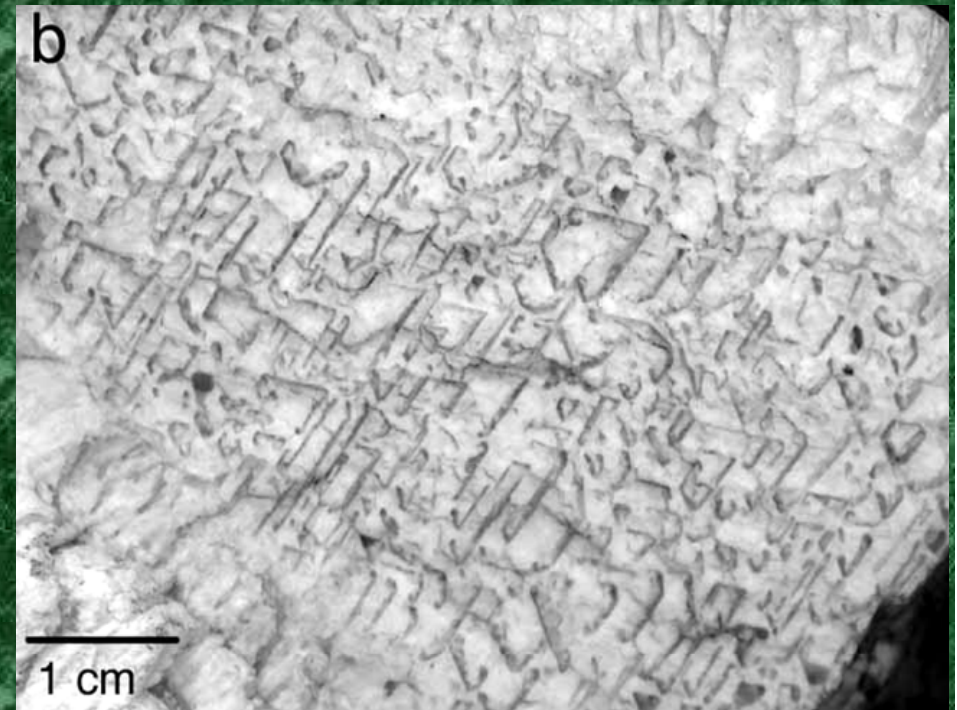
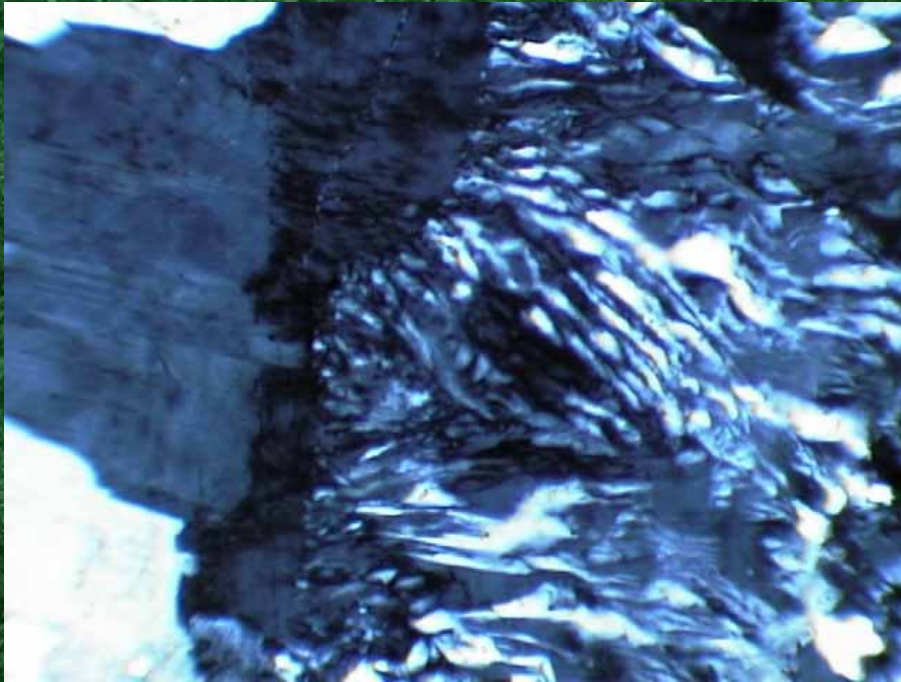


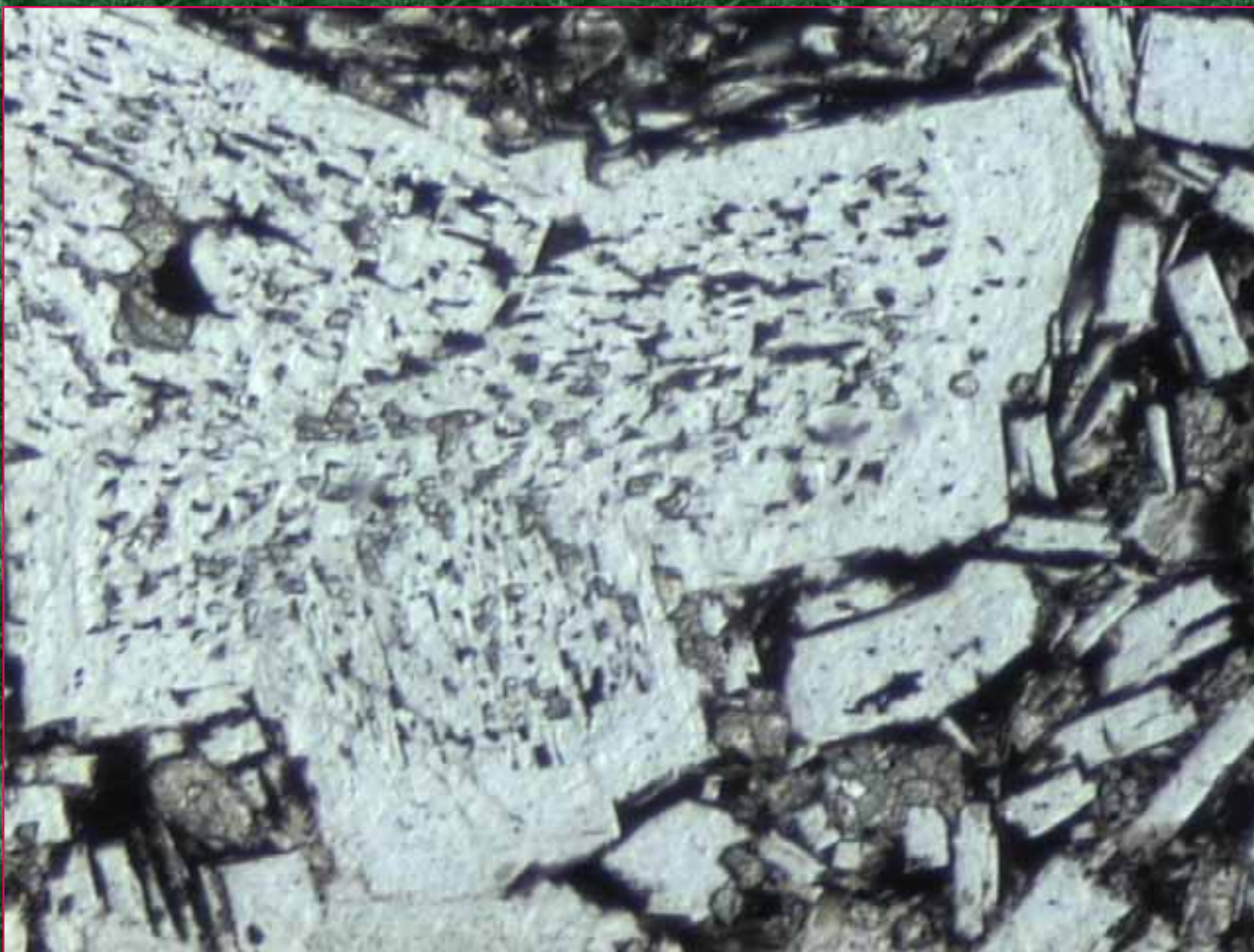
Figure I-3. Idiomorfan piroksen i intersticijski plagioklas čine intruzivnu holokristalnu zrnatu strukturu. Stillwater complex, Montana. Širina slike 5 mm. © John Winter and Prentice Hall.



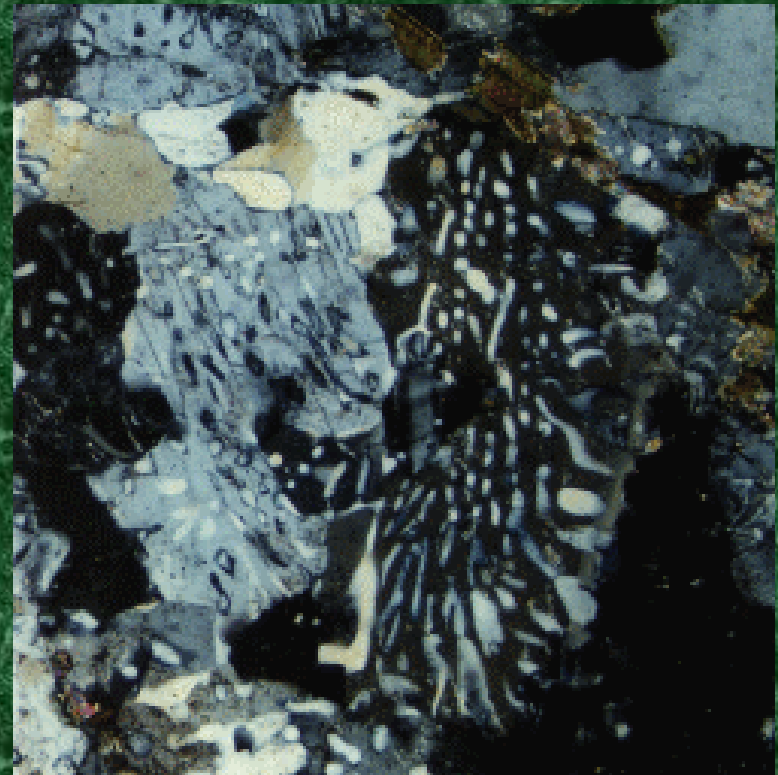
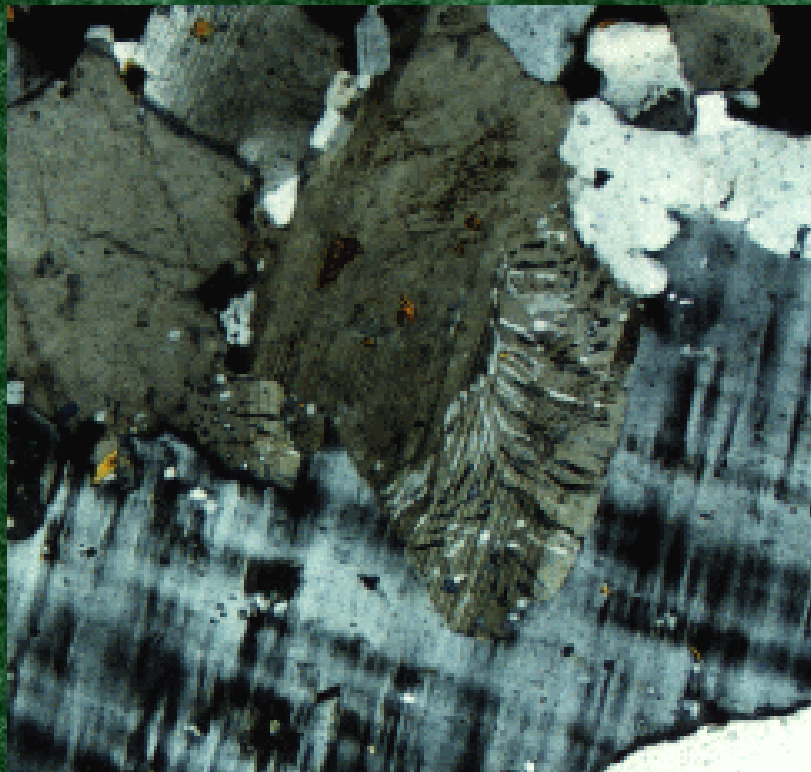
Slika I-4. Ofitska struktura. Piroksen uklapa isprepletene štapiće plagioklasa. Širina slike 1 mm. Skaergård intrusion, E. Greenland. © John Winter and Prentice Hall.



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.



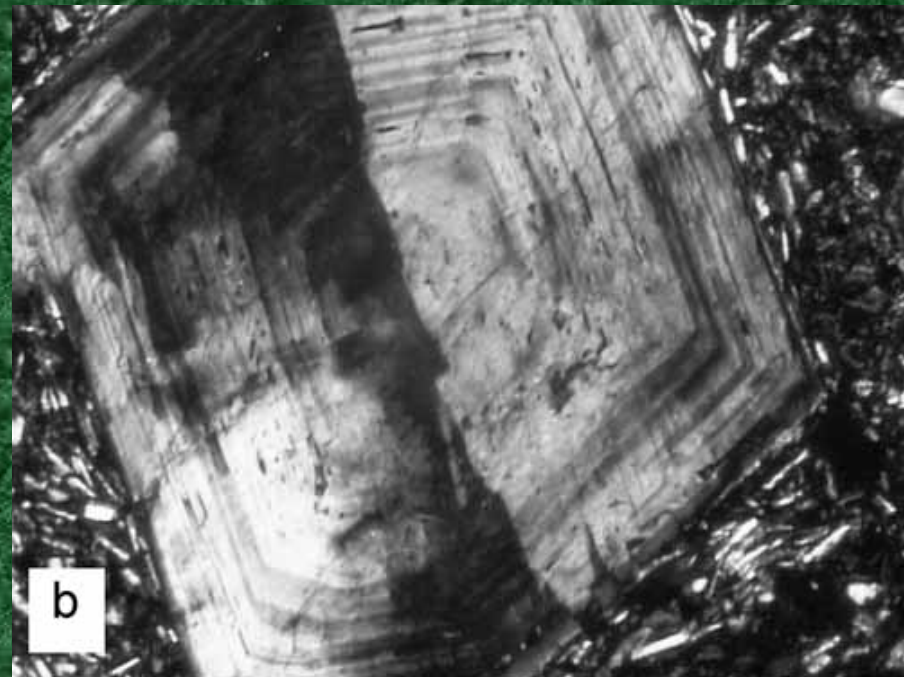
Slika I-8. Mirmekit formiran u plagioklasu na granici prema K-feldspatu. © L. Collins.
<http://www.csun.edu/~vcgeo005>

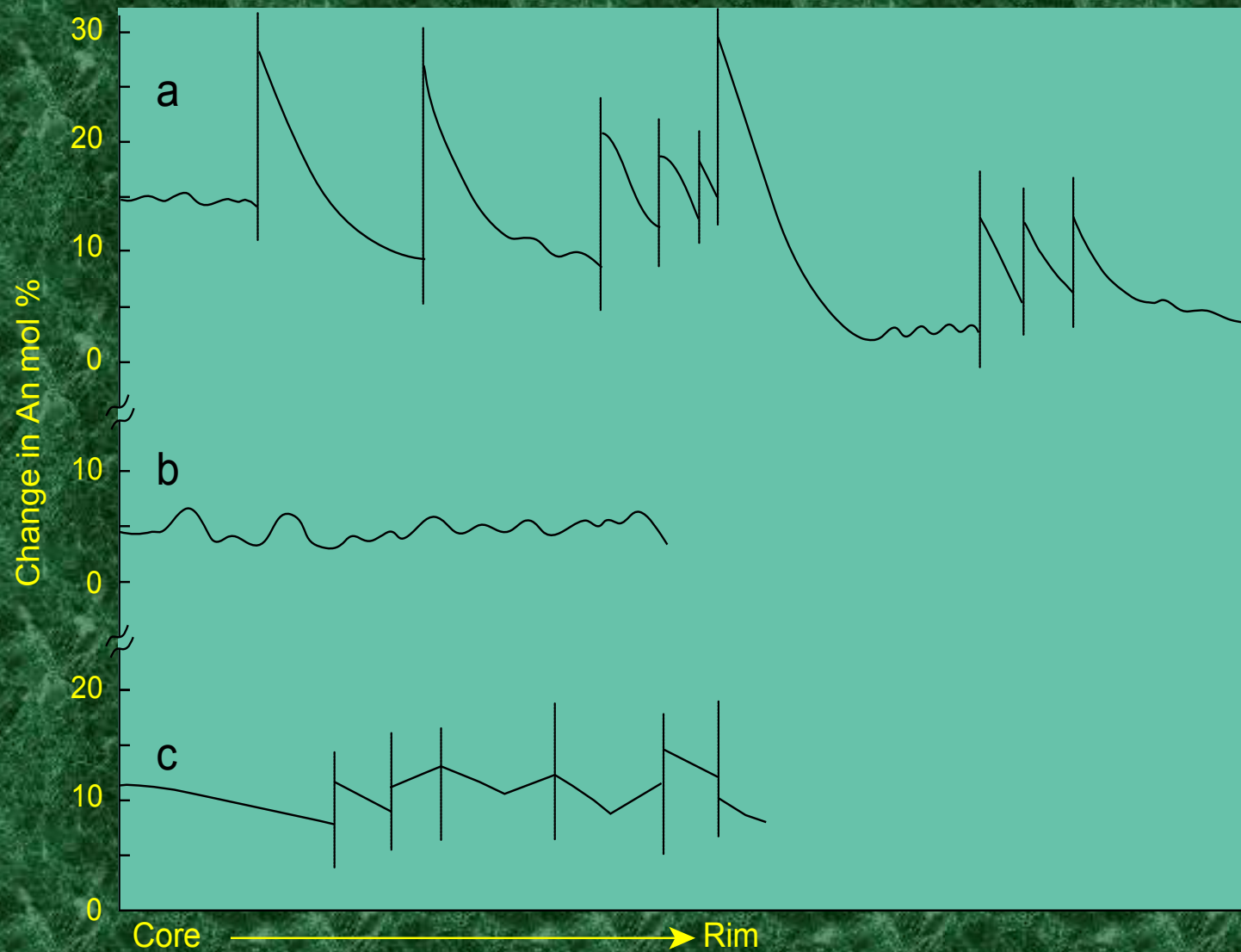
Efuzivne stijene

- holokristalina porfirna struktura
- vitrofirna
- intersertalna
- hijaloofitska, hijalopilitska
- ofitska
- pilotaksitska, trahitna
- sferulitska
- perlitska
- hijalina

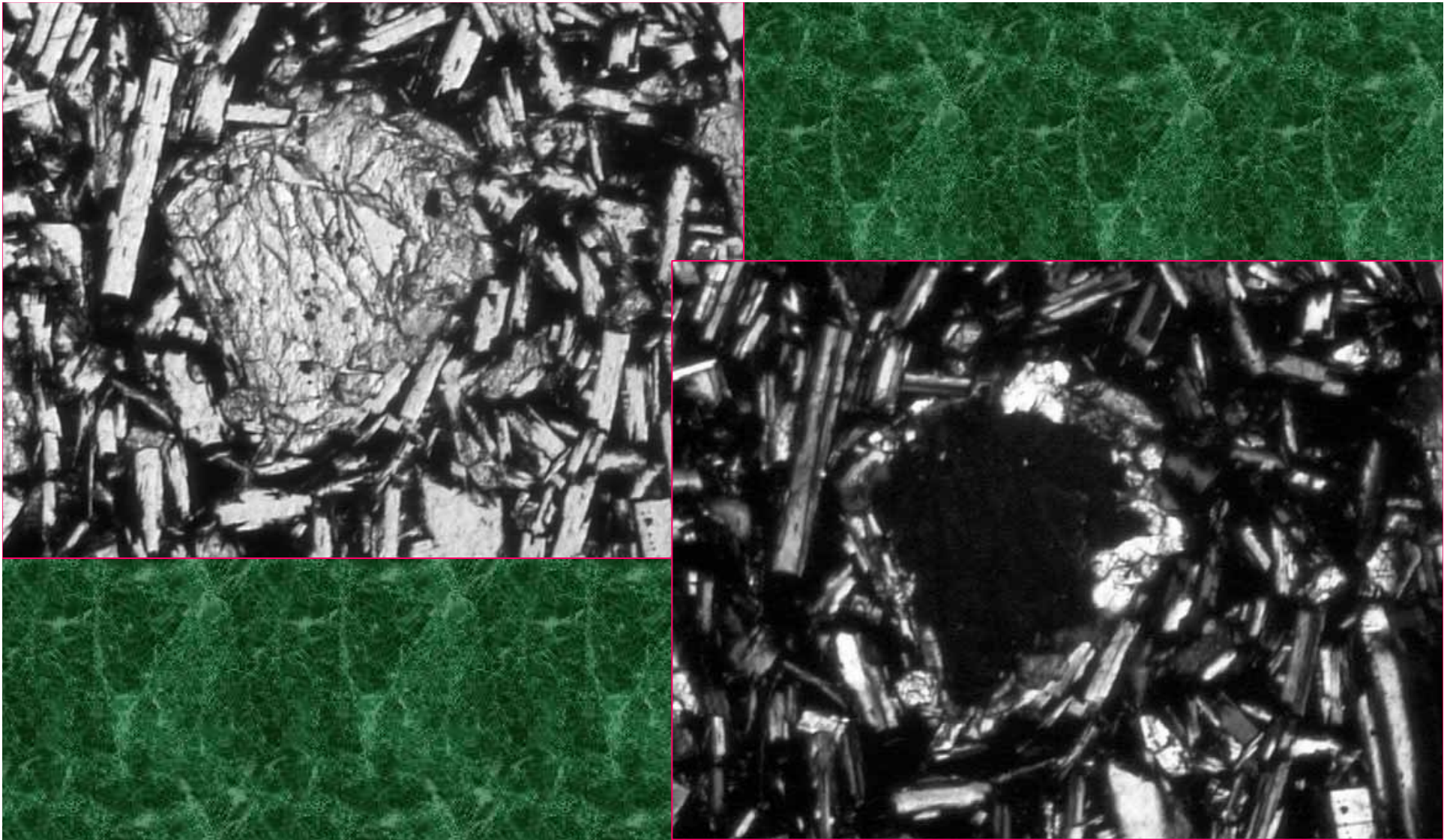
Efuzivne strukture

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 mikrosandom a. Nagle promjene pripisane su miješanju magme (magma mixing), slijedi normalna kristalizacija hlađenjem. b. Male i nepravilne oscilacije uzrokovane su lokalnim pomanjkanjem ravnoteže. c. Kompleksne oscilacije uslijed kombinacije efekata miješanja magme i lokalne neravnoteže. Prema Shelley (1993). *Igneous and Metamorphic Rocks Under the Microscope*. © Chapman and Hall. London.

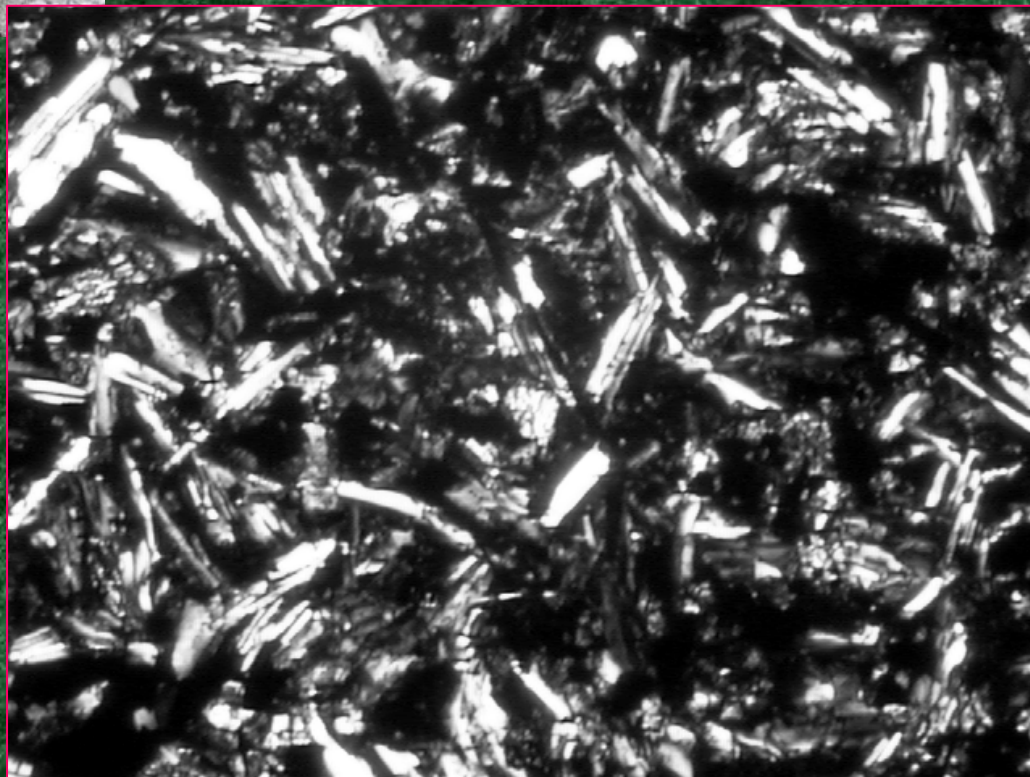


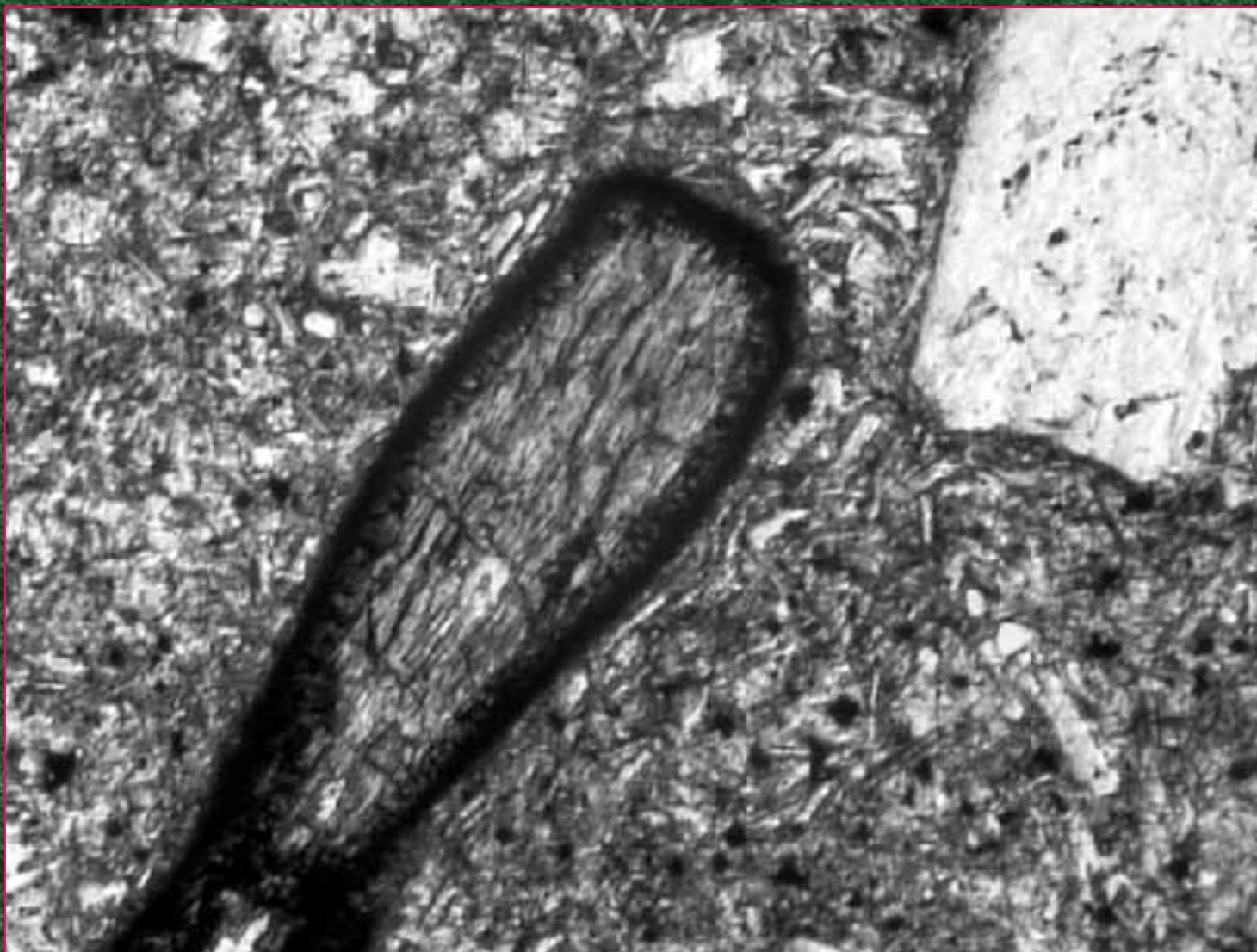
Slika I-11. Olivin okružen ortopiroksenom (a) N-; (b) N+, vidljiva korona od ortopiroksena. Bazalt-andezit, Mt. McLaughlin, Oregon. Širina slike ~ 5 mm. © John Winter and Prentice Hall.



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.



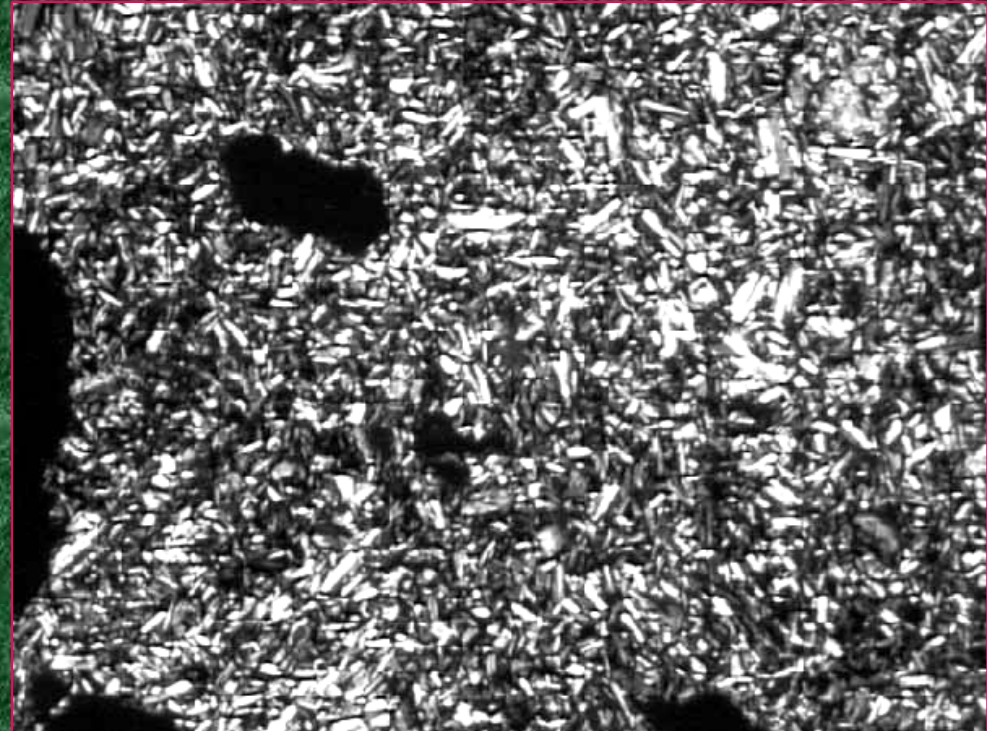


Slika I-14. Fenokristal hornblende s opacitskim rubom od Fe-oksida plus piroksen. Struktura nastala uslijed pada pritiska tijekom erupcije, andezit. Crater Lake, OR. Širina slike 1 mm. © John Winter and Prentice Hall.



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



Kemijski sastav: Elementi

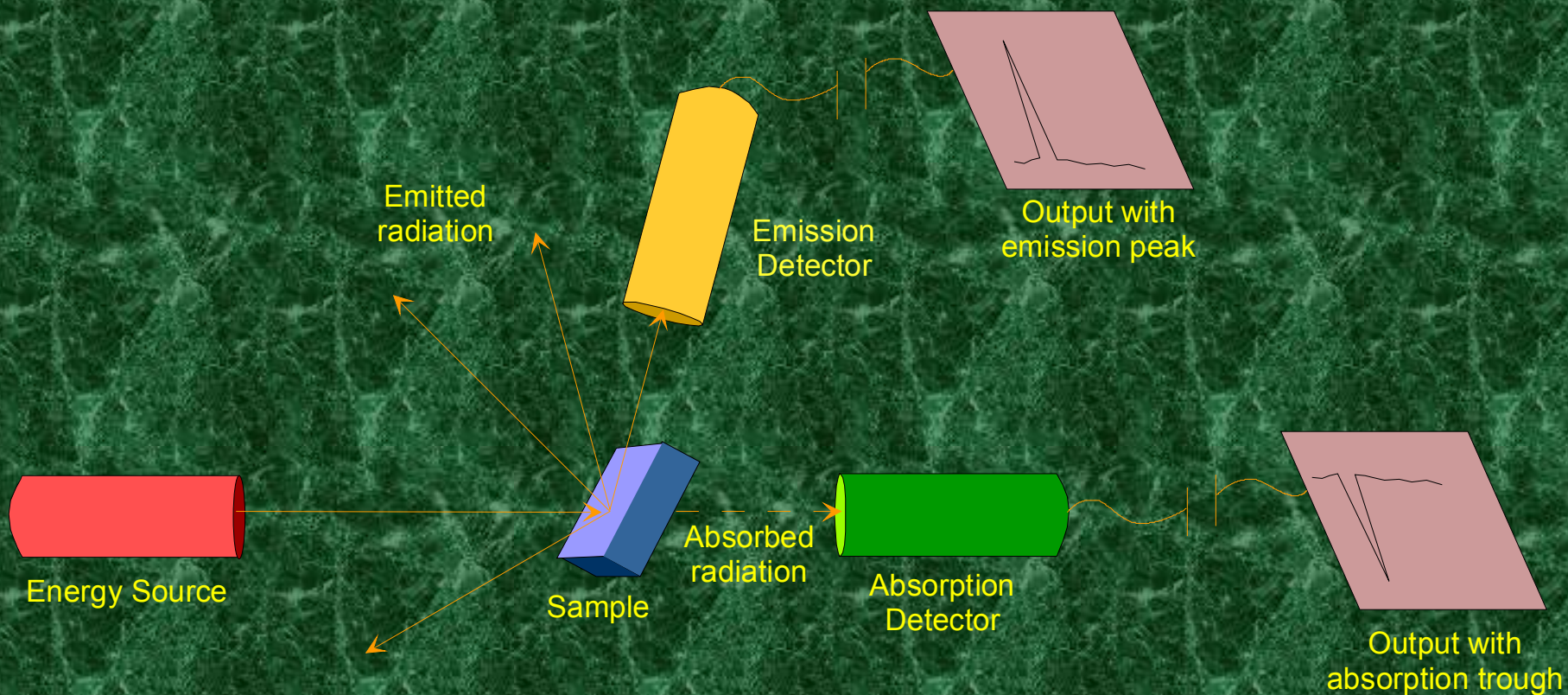
⇒ Geokemija magmatskih i metamorfnih stijena

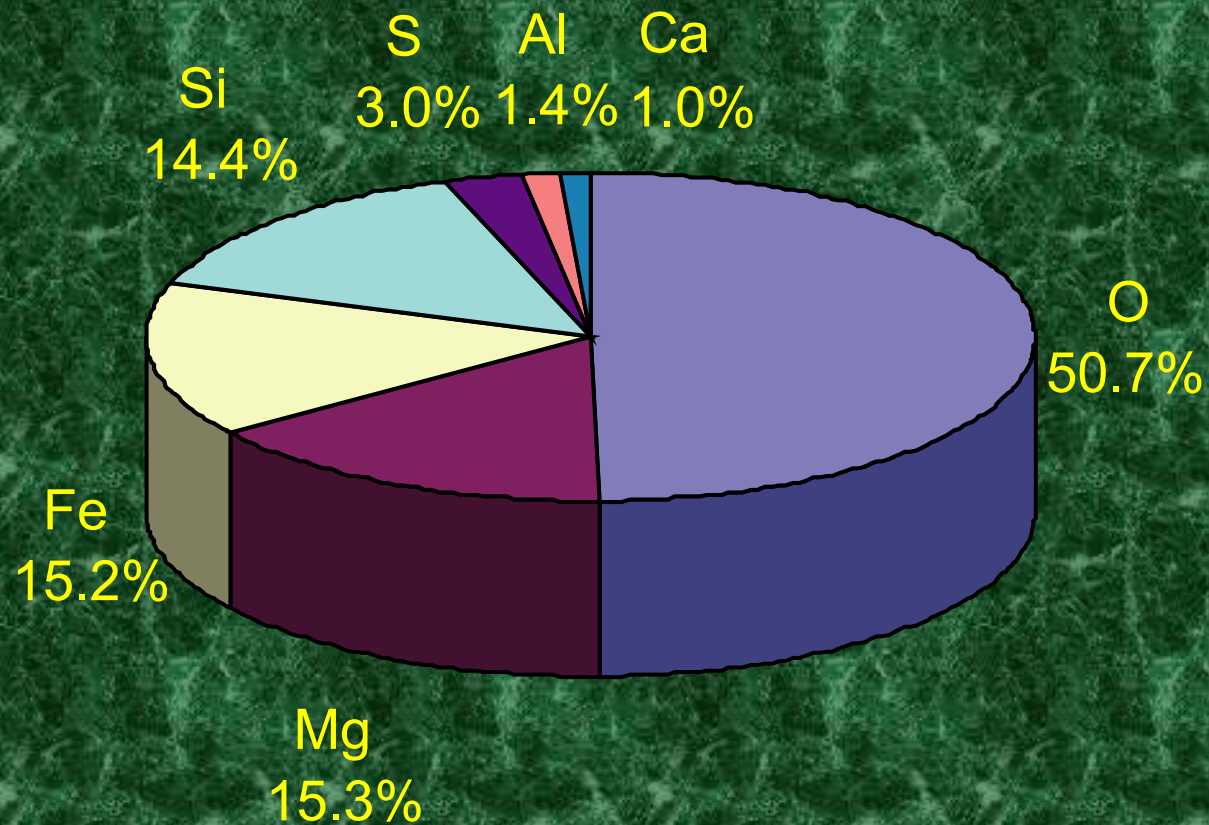
Magma - prirodna, homogena,
kompleksna uglavnom silikatna taljevina
koja se odlikuje svojim kemijskim
sastavom, viskozitetom, gustoćom,
temperaturom i tlakom

⇒ stijena

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

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





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.

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%

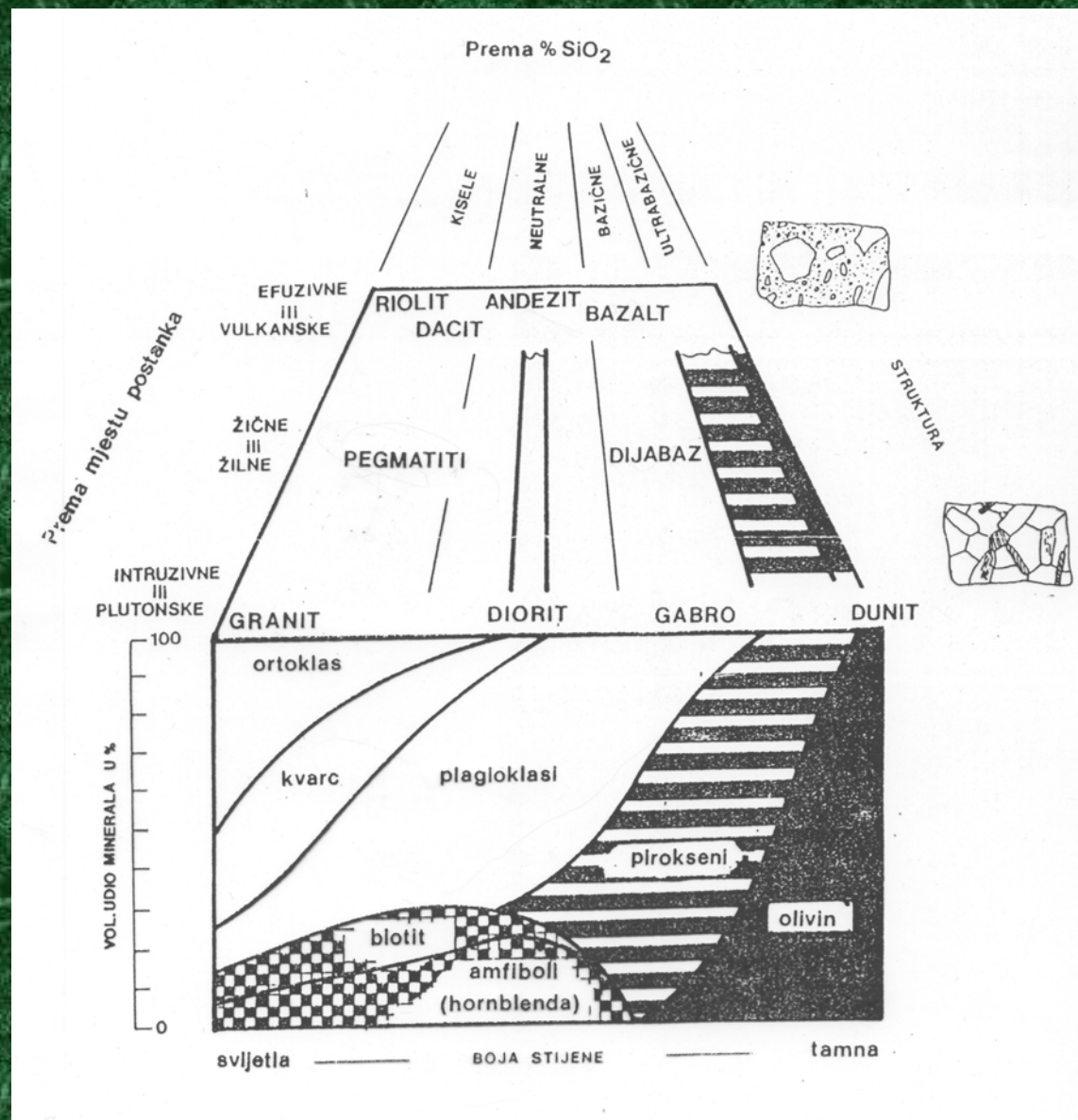
SiO_2 Al_2O_3 FeO^* MgO CaO Na_2O K_2O H_2O

Mikro (minor) elementi: 0.1 - 1%

TiO_2 MnO P_2O_5 CO_2

Elementi u tragovima (trace) < 0.1%

Udio SiO₂ u sastavu minerala



Mineral	tež. % SiO ₂
albit	69
amfiboli	44-58 (30)
anortit	43
biotit	35-39
fajalit	30
forsterit	41
kvarc	100
leucit	54
ortoklas	64
pirokseni	46-57 (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

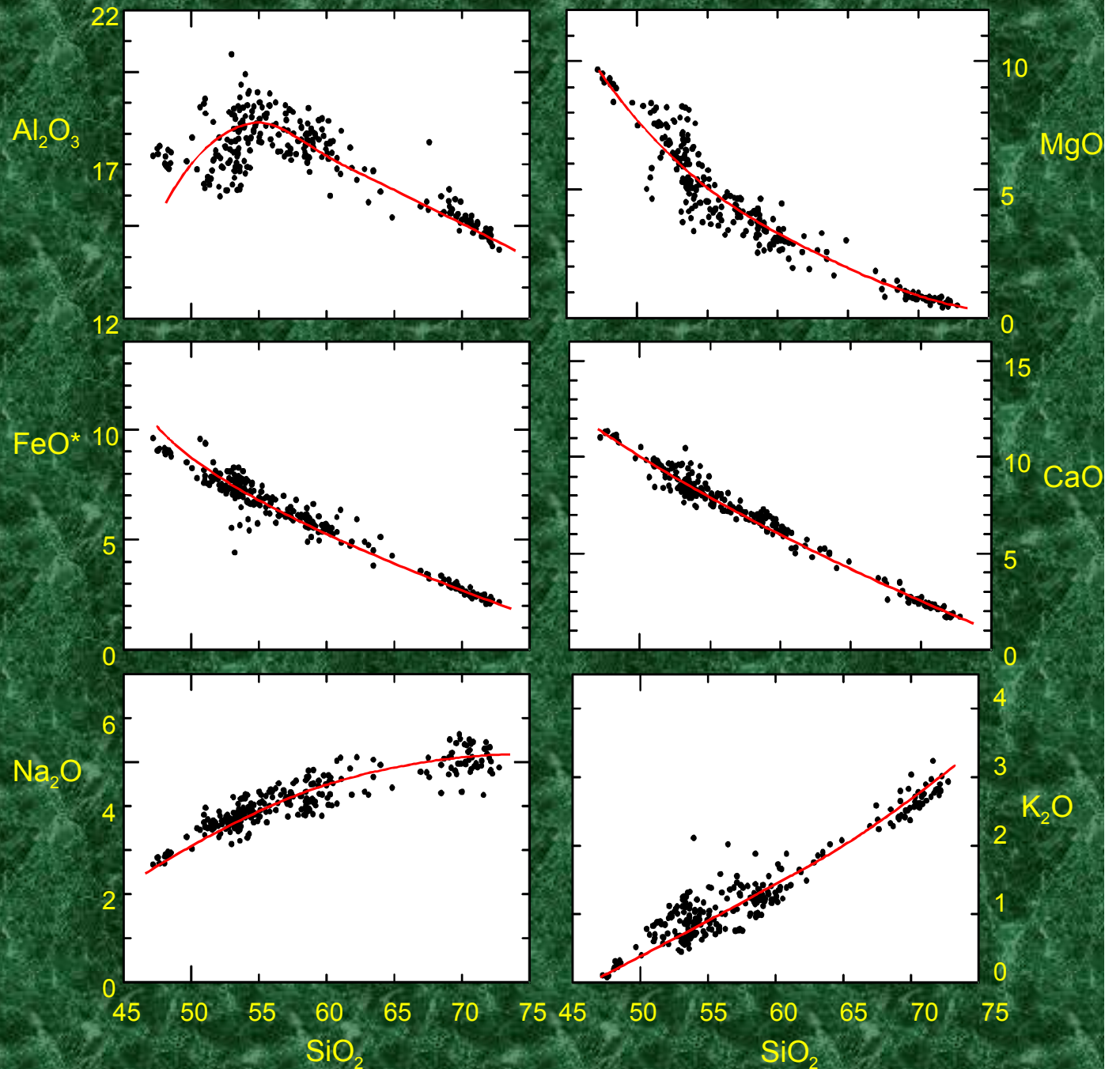
Varijacijski dijagrami

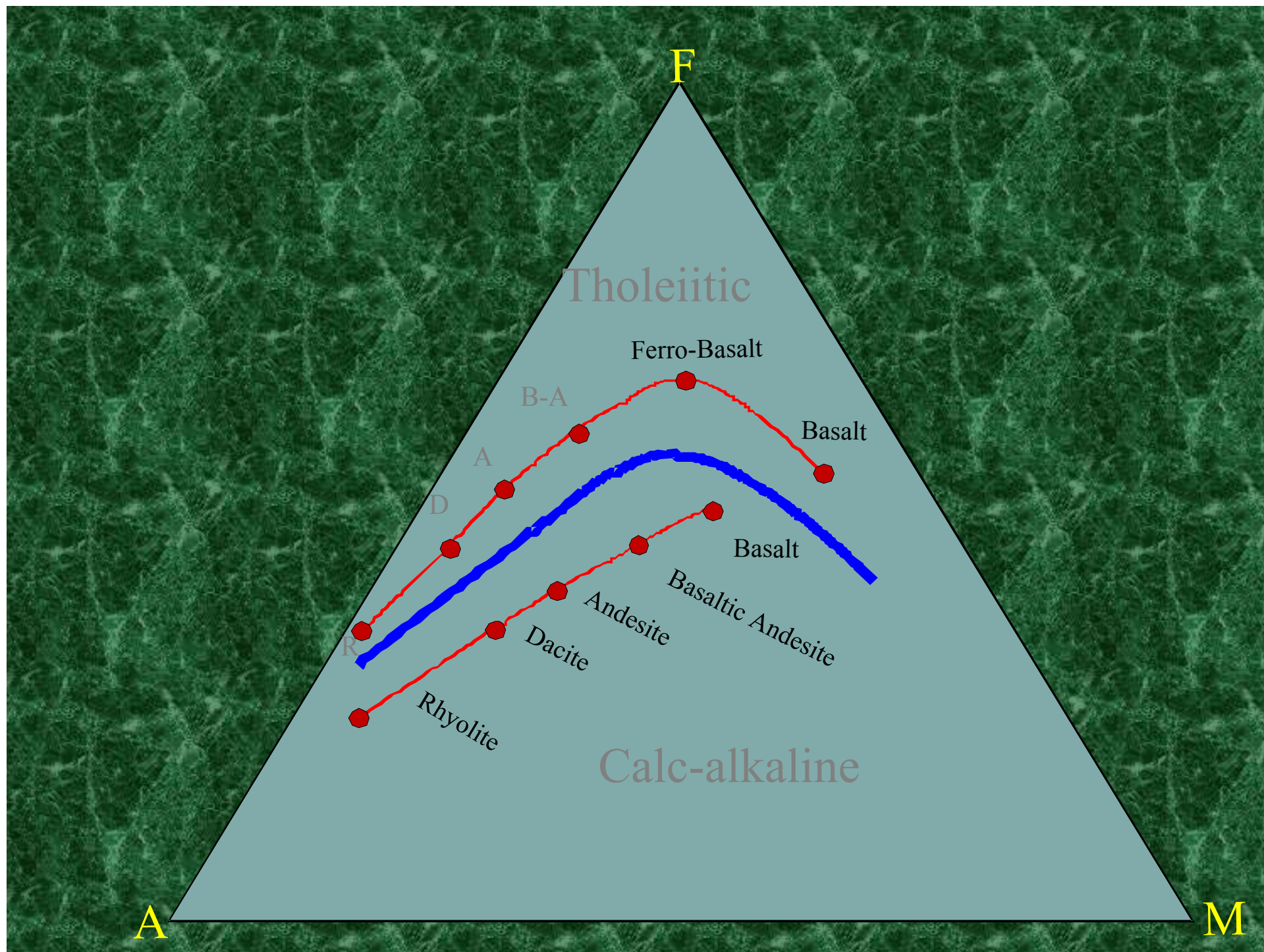
Kako prikazati kemijske podatke?

Bivariantni
(x-y)
dijagrami

Harker
dijagram

Crater
Lake





Magmatske serije

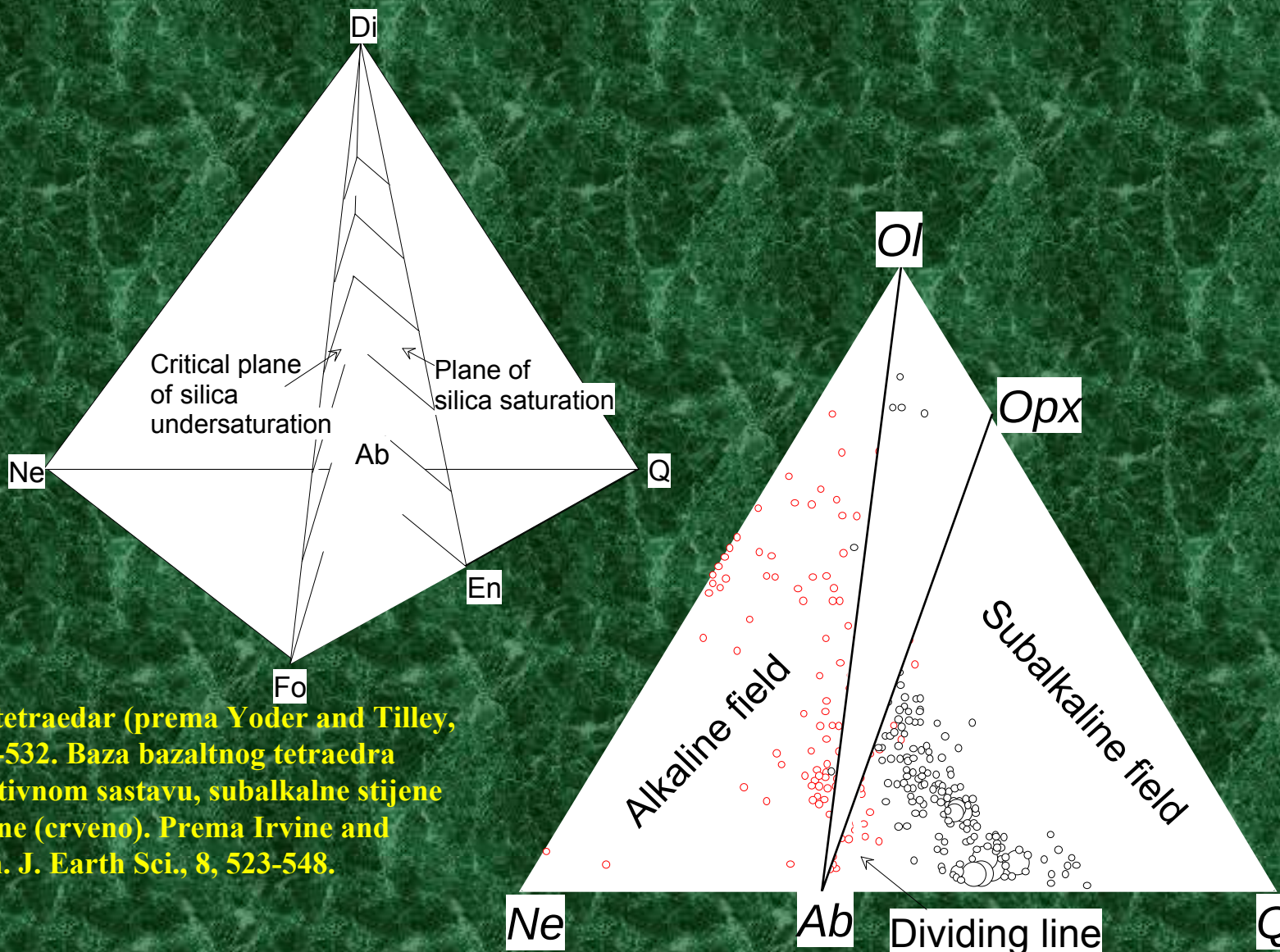
Može li se kemija iskoristiti za razlikovanje magmatskih serija (familija, tipova)?

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
- Aluminiј (Al_2O_3)

Bazalni tetraedar i Ne-Ol-Q trokomponentni dijagram

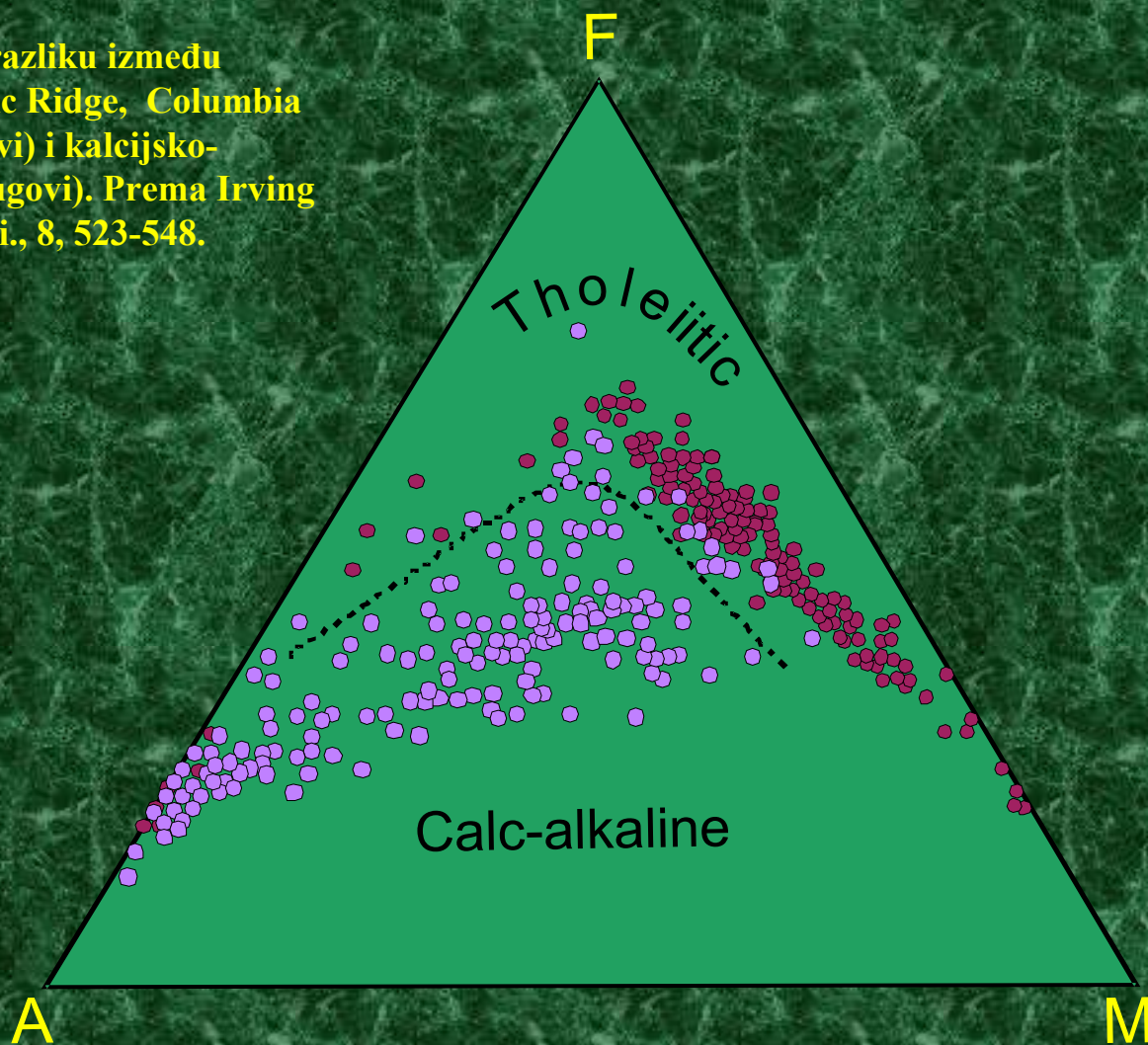
Alkalne i subalkalne magme



Slika I-21. Bazalni 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 I-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

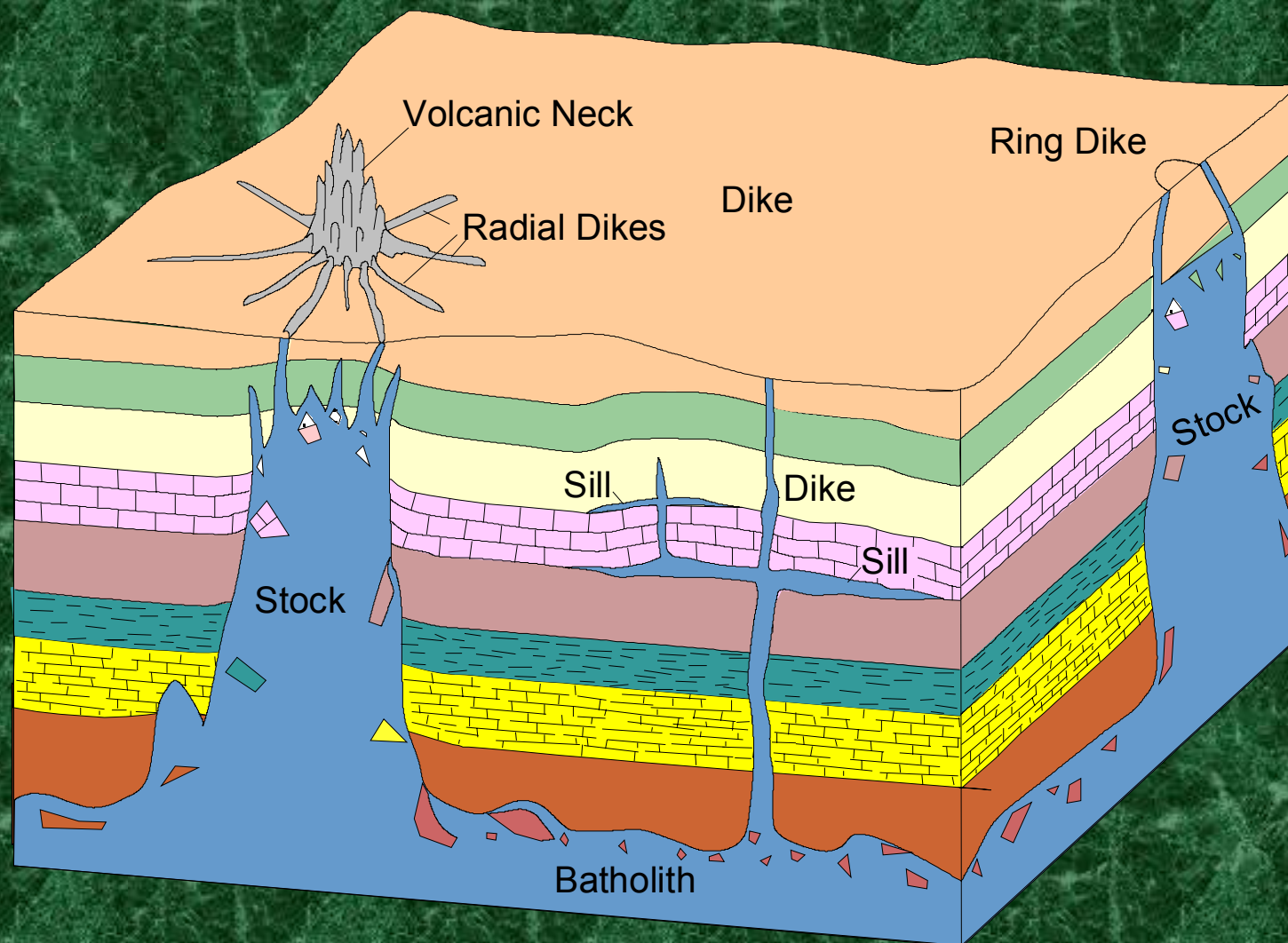
Karakteristična serija	Rub ploče		Unutar ploče	
	Konvergent.	Divergent.	Oceanske	Kontinent.
Alkalijska	da		da	da
Toleitna	da	da	da	da
Kalcijsko-alkal.	da			

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

Načini pojavljanja magmatskih stijena

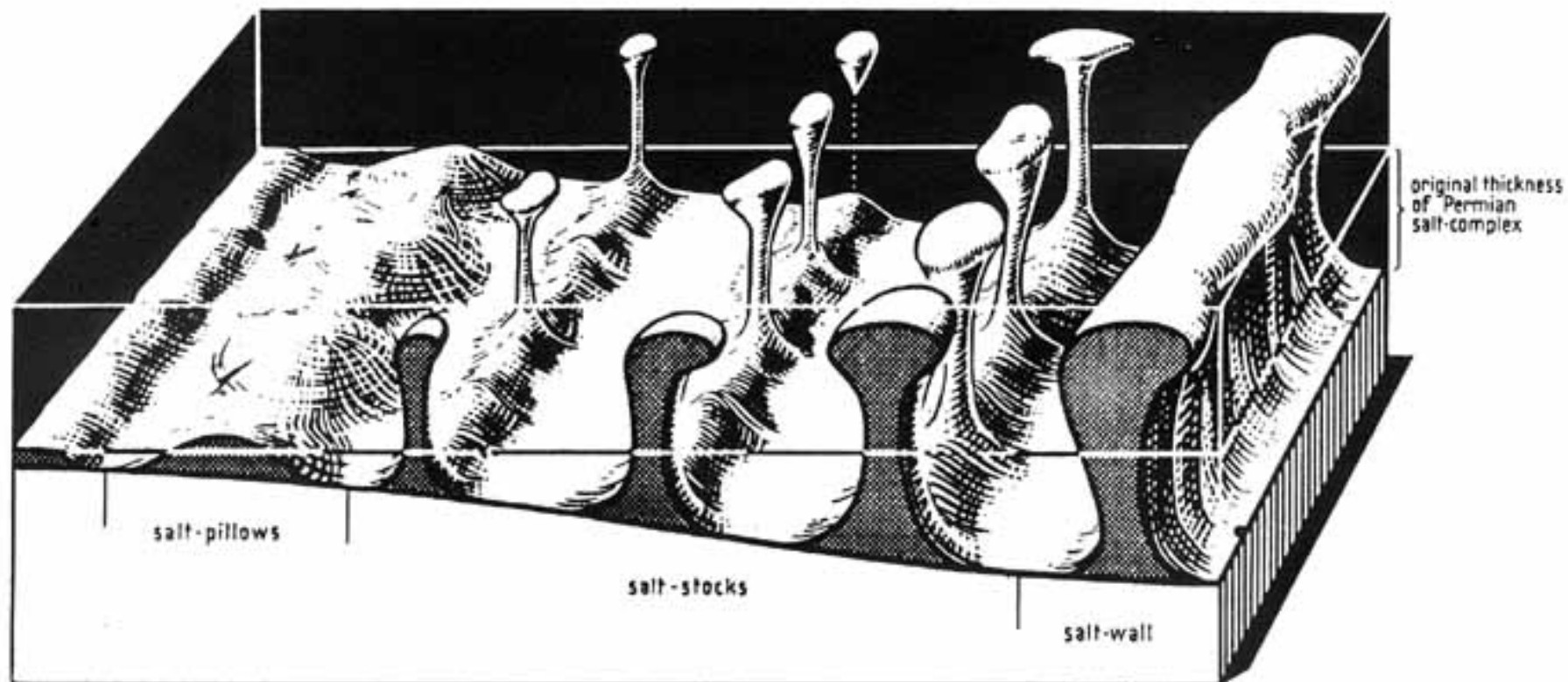
- intruzivi
- žične stijene
- efuzivi

Načini pojavljanja magmatskih stijena



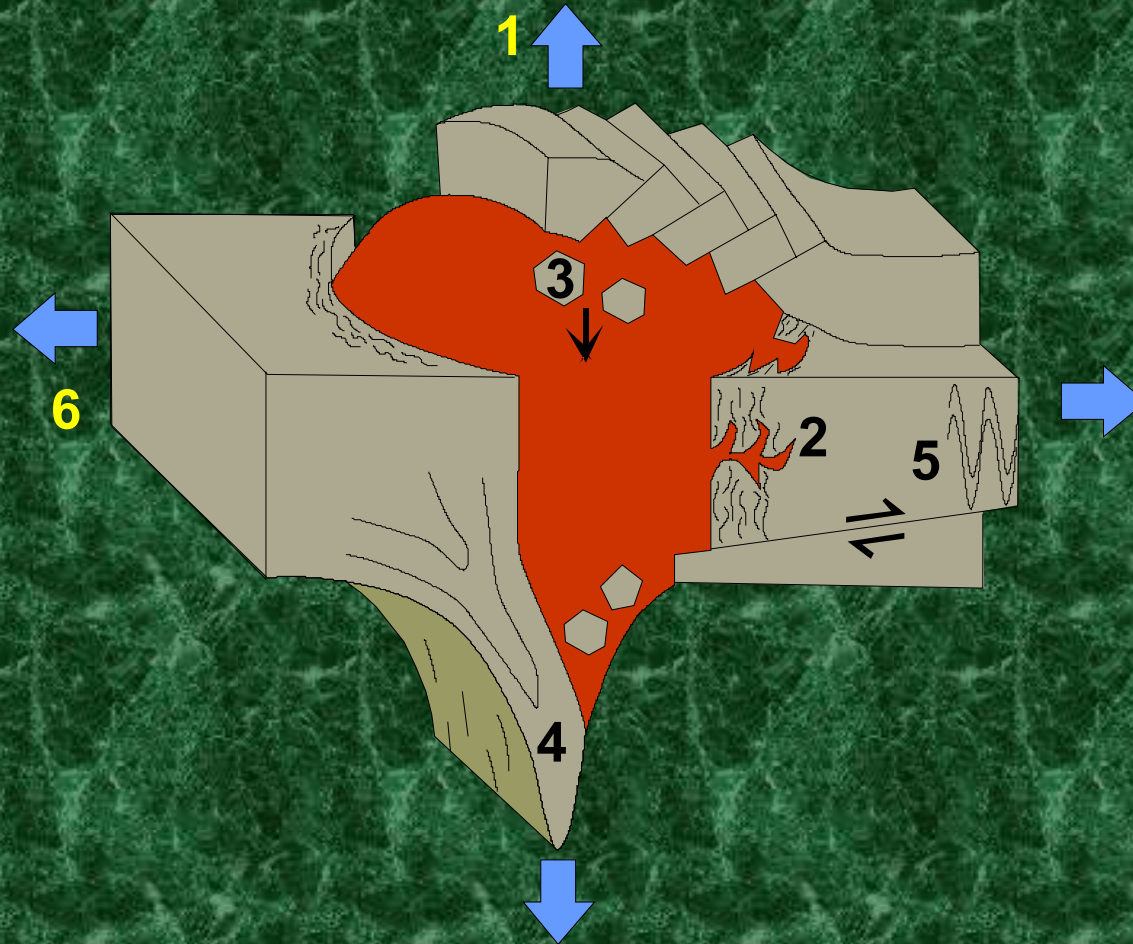
Slika II-1. Shematski blok dijagram nekih od intruziva.

- 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)

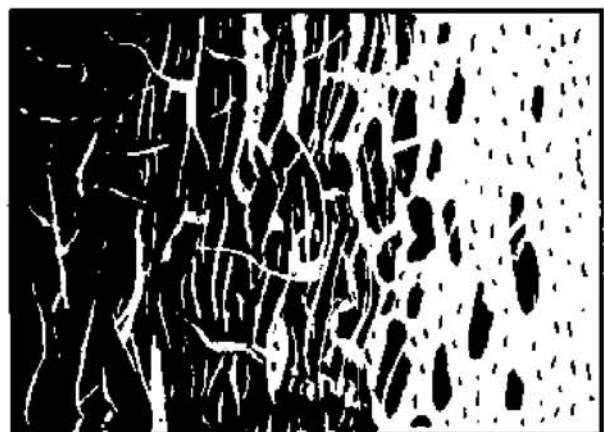


Slika II-7. Blok dijagram solnih dijapira ispod površine, sjeverna Njemačka. Prema Trusheim (1960), *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **44**, 1519-1540 © AAPG.

Načini pojavljivanja magmatskih stijena



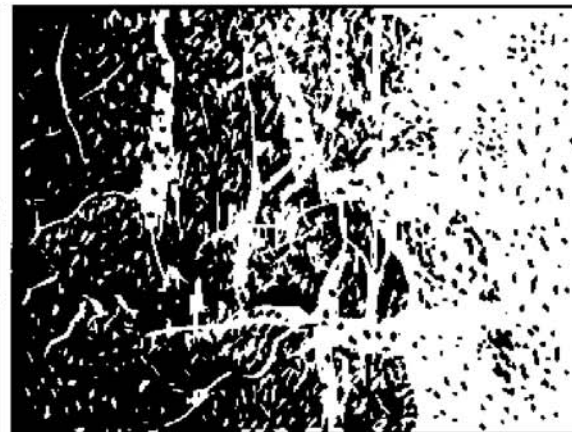
Slika II-2. Prikaz utiskivanja plutona. **1-** boranje i izdizanje krovine; **2-** asimilacija stijena na kontaktu, parcijalno taljenje, taljenje u pojedinim zonama; **3-** uklapanje ksenolita; **4-** deformacija rubnih djelova okolnih stijena (ductile rock deformation); **5-** bočni pomak stijenki boranjem 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.



a. Injected



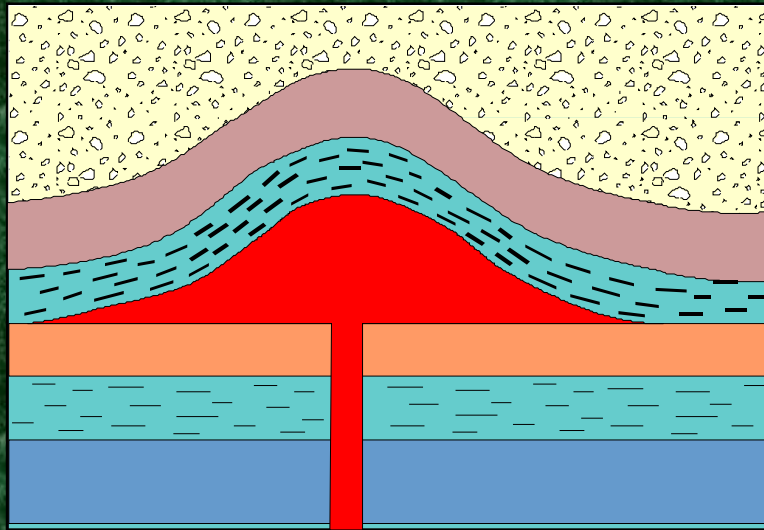
b. Permeated



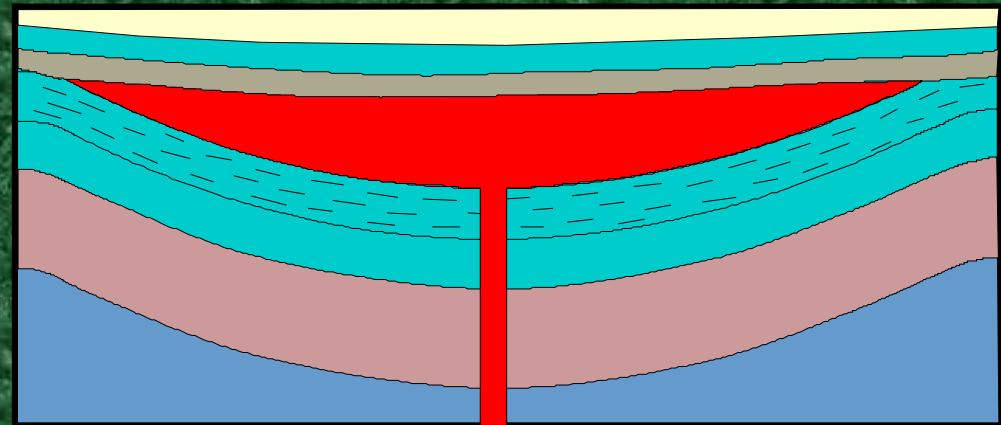
c. Combination

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

Načini pojavljivanja magmatskih stijena



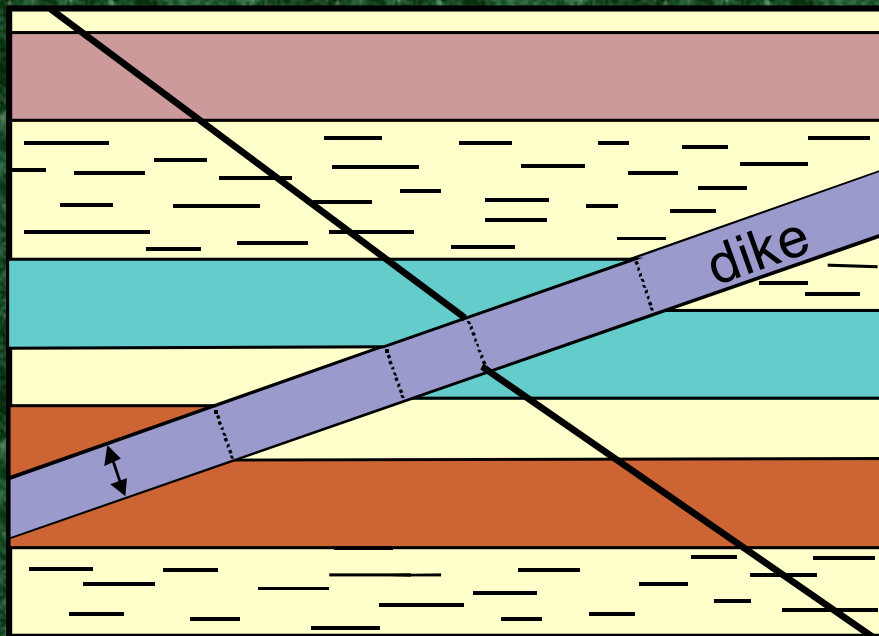
a



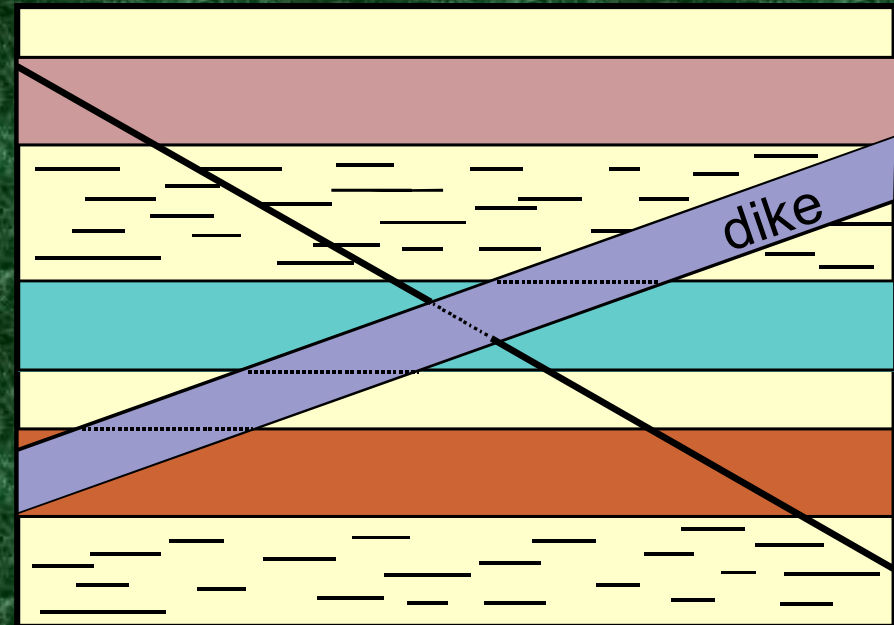
b

Slika II-9. Oblici konkordantnih plutonskih tijela. **a. Lakolit**, gljivasta forma, veličinom između sila i štoka (nekoliko km^2), 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 pojavljanja magmatskih stijena



a



b

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

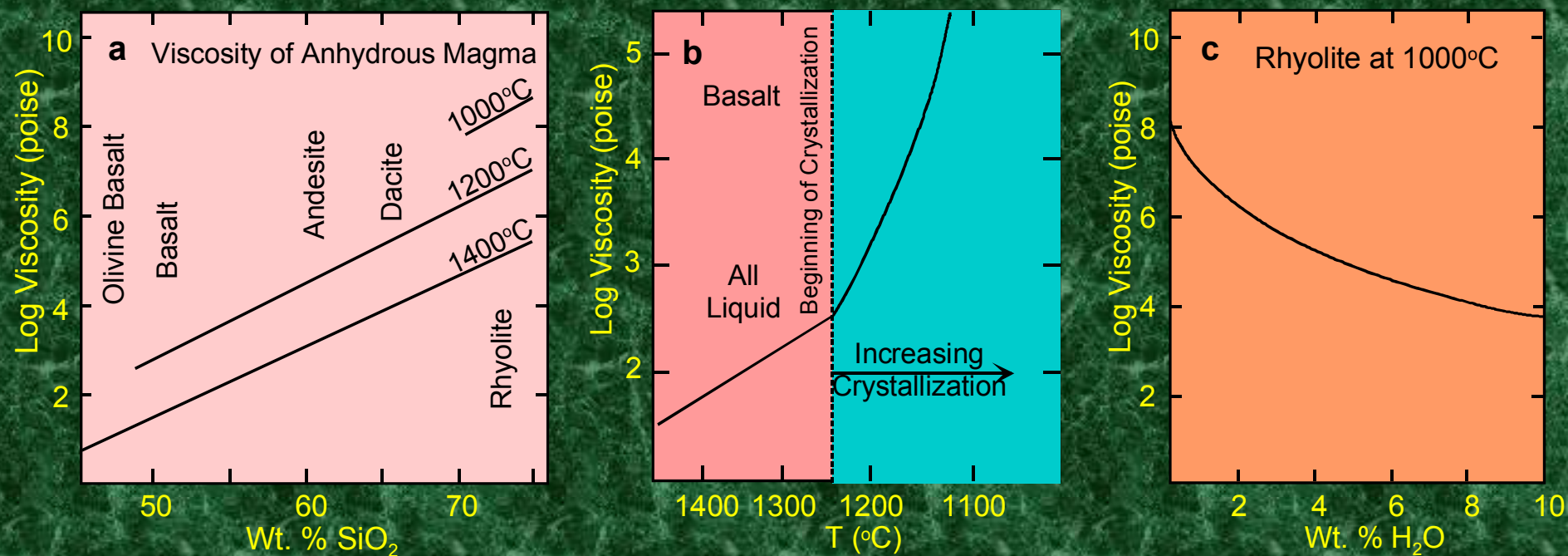
Blok lava

- 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 H_2O (prema Shaw, 1965, Amer. J. Sci., **263**, 120-153).



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

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



Riolitna lava

- visok sadržaj SiO_2 , stakla
- visok viskozitet, tokovi lave
- da bi uopće mogle teći potrebne su visoke temperature

Jastučasta lava (pillow)

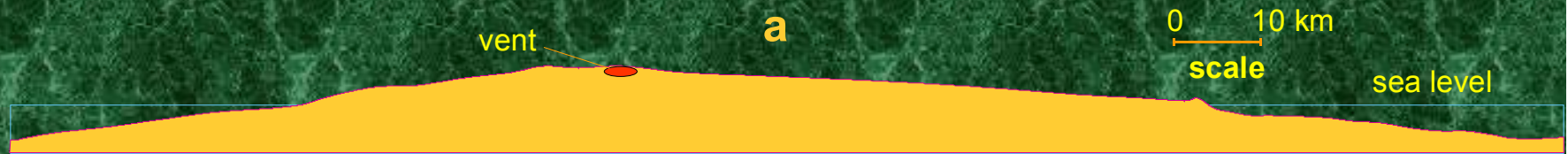
- jastučasti oblik, 10 cm - 6 m, bazaltnog sastava
- submarinske efuzije, reakcija s hladnom morskom vodom, koncentrična građa (sitnozrnata jezgra + staklasti rub)
- alteracije minerala (klinopiroksen, plagioklas $\Rightarrow$ klorit, albit)
- srednjoceanski hrptovi
- najzastupljeniji tip lave, pokriva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



Slika II-18. Pillow lava.

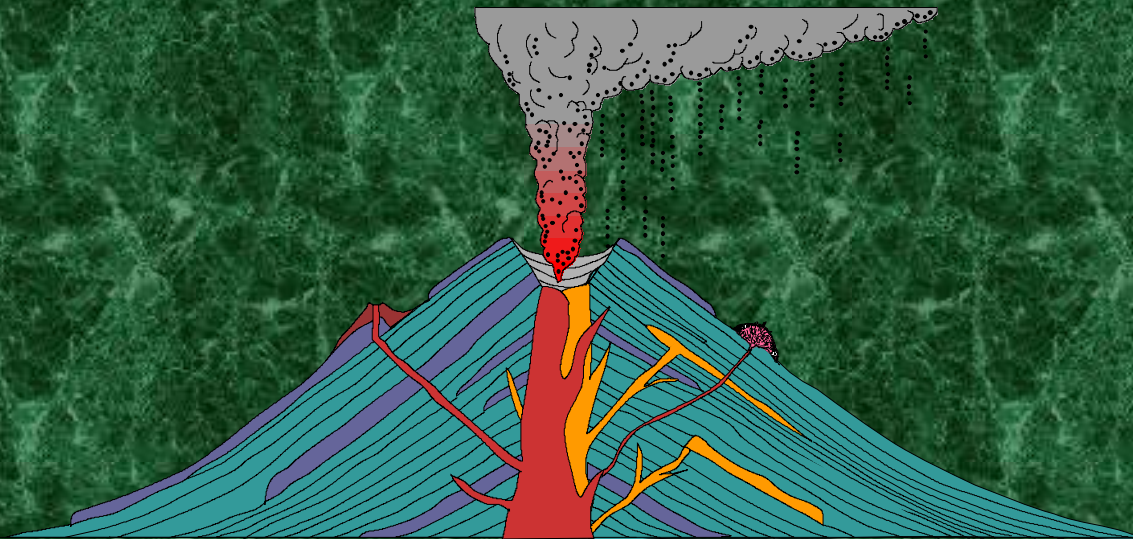
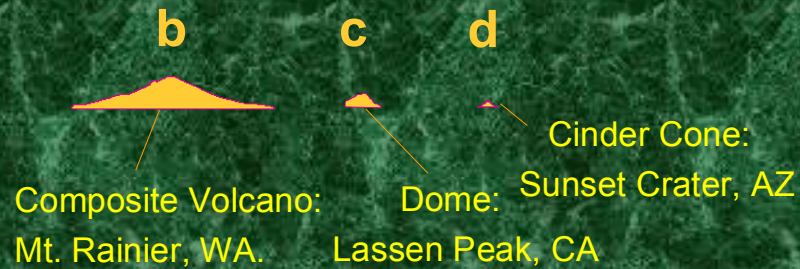
Fotografija Gordon Tribble i U.S. Geological Survey

Vulkani



Shield Volcano: Mauna Loa, HI

Slika II-20.
Tipovi vulkana
s centralnim
izljevom (svi
prikazani na
istoj skali).



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

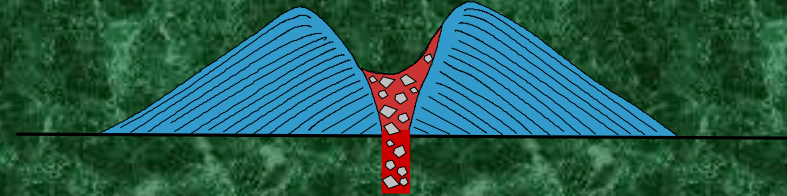
Bombe - > 32 mm

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

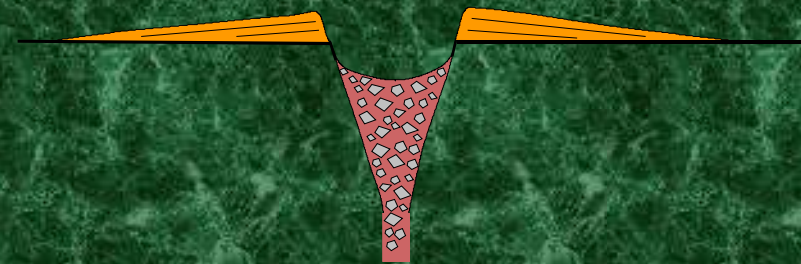


Scoria - je vezikularna staklasta lava bazaltnog do andezitnog sastava nastala izbacivanjem tijekom eksplozivne erupcije.

a) Scoria Cone 0.25 - 2.5 km dia



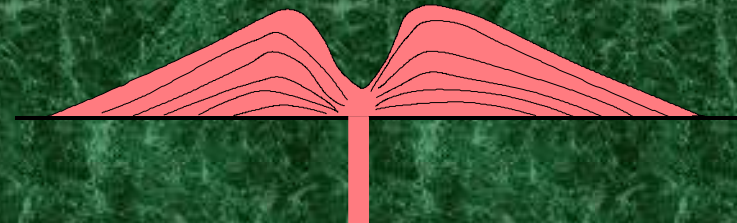
b) Maar 0.2 - 3.0 km dia



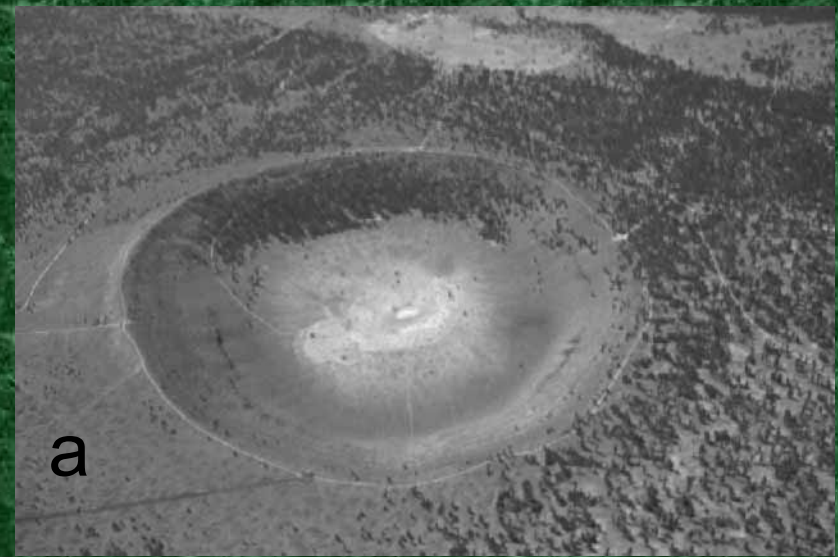
c) Tuff Ring 0.2 - 3.0 km dia



d) Tuff Cone 0.1 - 1.5 km dia



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, Iceland, 1996 (© slika Bob and Barbara Decker).



Prema karakteru eksplozivnosti:

- Hawaii i Stromboli

bazični sastav, 1200 °C, brzina toka lave 8-10 m/s, protežu se do 80 km, neeksplozivan

- Etna i Vezuv

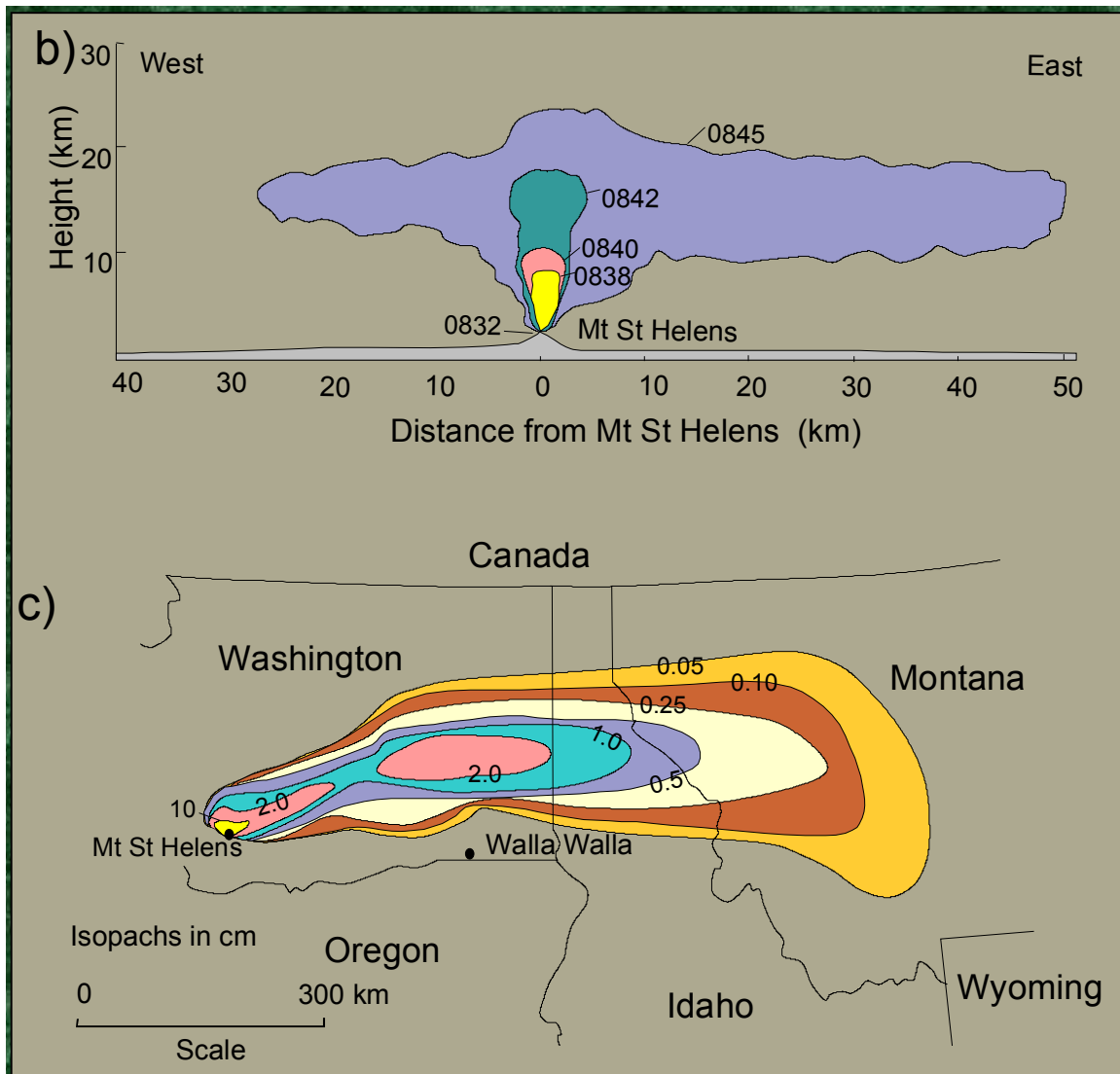
andezitni do bazični sastav, viskozne, spore, ~ 1000 °C, začepljenje dimnjaka dovodi do eksplozije, izbacuju kruti materijal (bombe, lapili), kratki i debeli tokovi

- Pele

- andezitni, vrlo visok viskozitet, 800 °C, skrutnjavanje u dimnjaku, kolosalne eksplozije (krutina + plin)

- Krakatoa

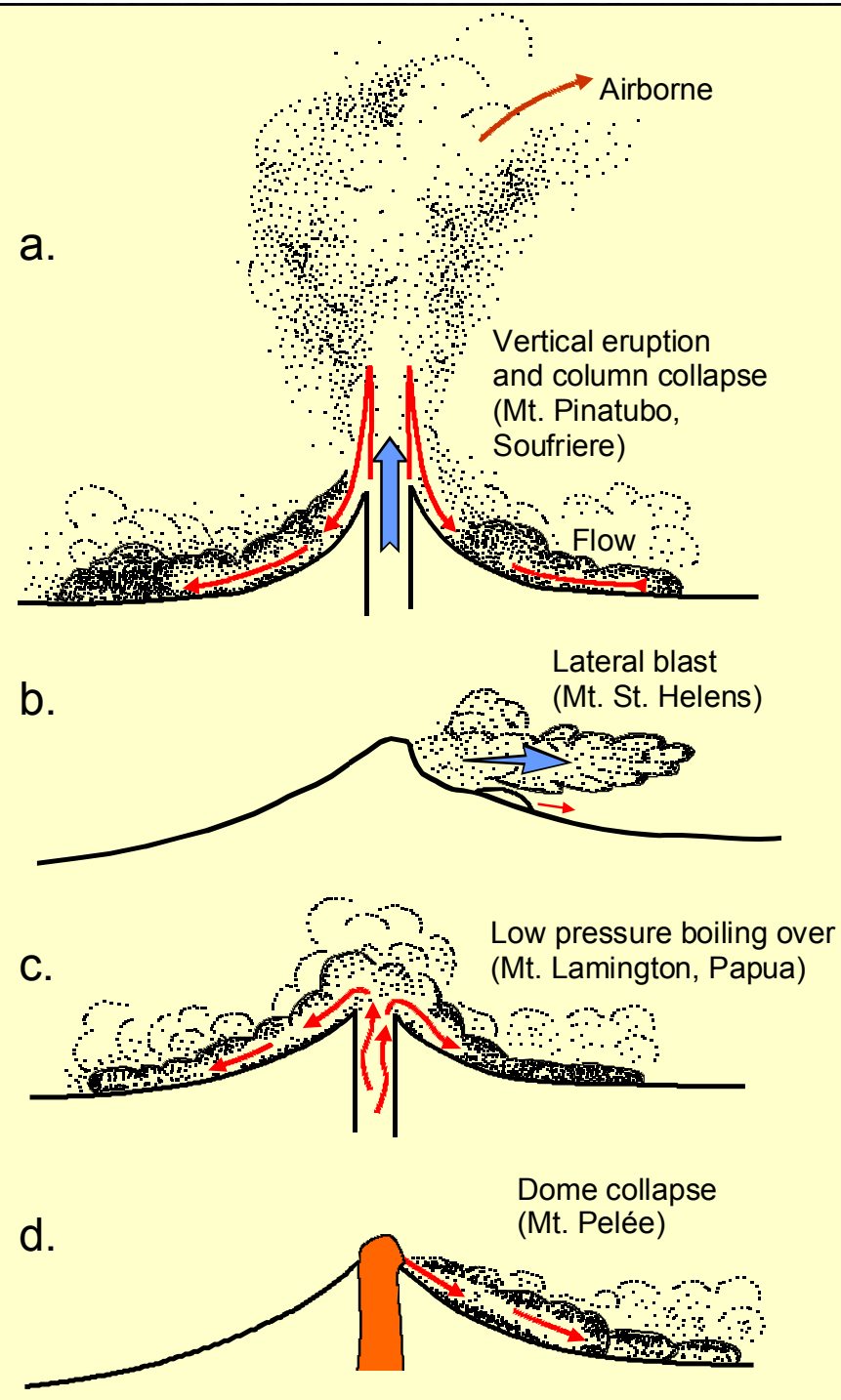
- kiseli, vrlo visok viskozitet, eksplozije, velike količine krutine, KALDERA



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.

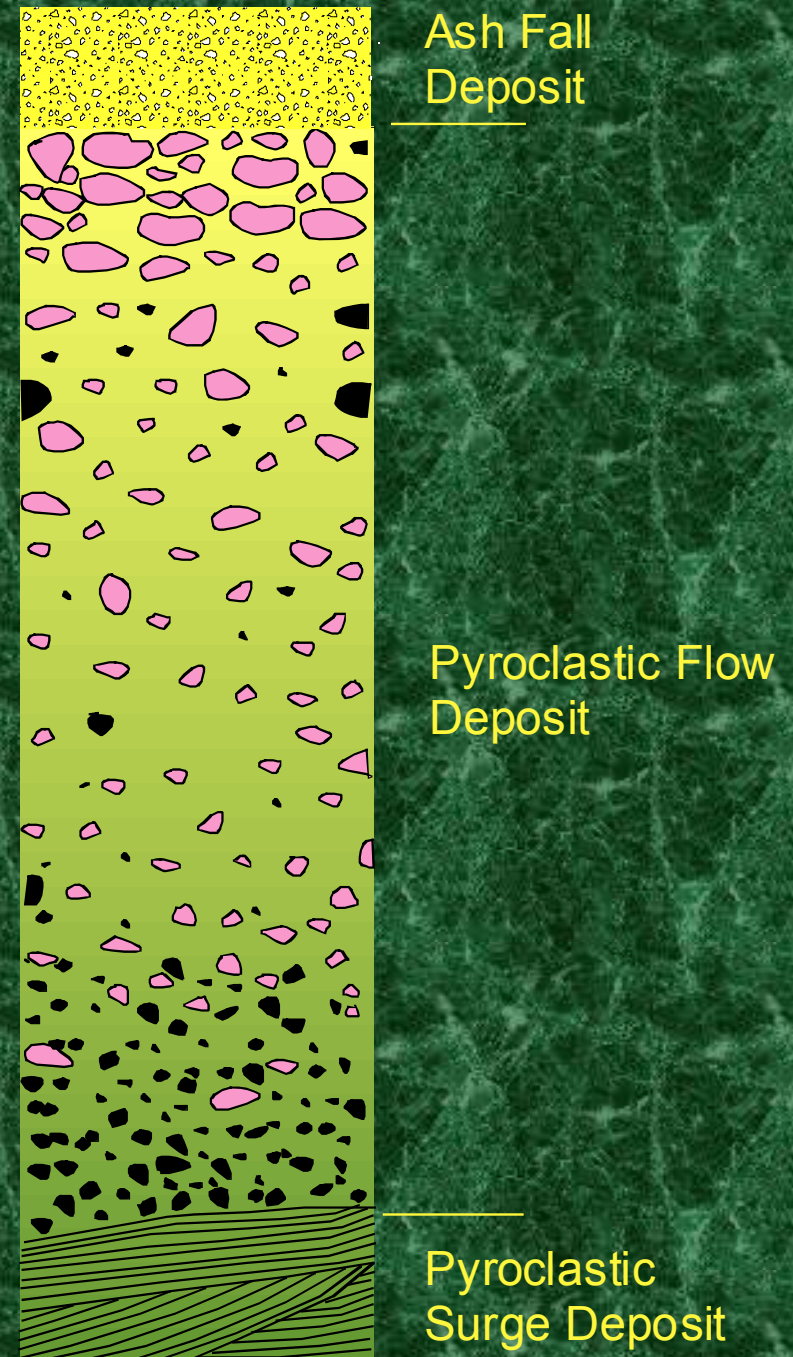


Slika II-27. Tipovi nastanka piroklastičnih naslaga (pyroclastic flow). Prema MacDonald (1972), *Volcanoes*. Prentice-Hall, Inc., Fisher and Schminke (1984), *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin. **a.** kolaps vertikalne eksplozije ili Plinijevog stupca, materijal pada natrag i kreće se duž površine. **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). Roza predstavlja plovuĉac (pumice), tamno predstavlja fragmente stijena (gušći). Prema Sparks *et al.* (1973) *Geology*, 1, 115-118. Geol. Soc. America

Vitroklast
Litoklast
Kristaloklast

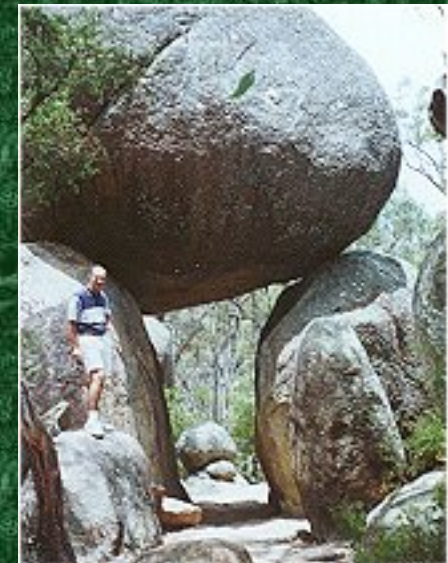


LUČENJE

pločasto
kockasto

prizmatsko
kuglasto

nepravilno



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



↑ Kuglasto lučenje
Garjavica, Moslavačka gora



← Prizmatsko lučenje
Rupnica, Voćin, Slavonija

Post vulkanski fenomeni

- vrući izvori
- gejziri
- fumarole



Old Faithful, Yellowstone, USA