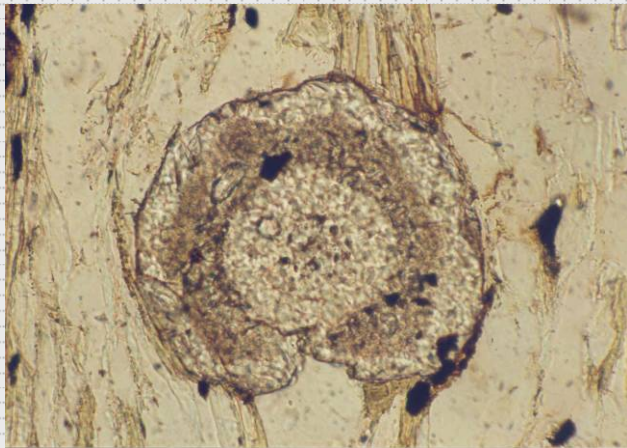


Tipomorfni minerali

Samo oni koji se javljaju u metamorfnim stijenama, ima ih relativno malo.



Granati $M_3^{2+}M_2^{3+}(SiO_4)_3$

Piraldspiti

Pirop	Mg Al
Almandin	Fe Al
Spesartin	Mn Al

Ugranditi

grosular	Ca Al
andradit	Ca Fe
uvarovit	Ca Cr

Regionalni metam.

Kontaktne metam.



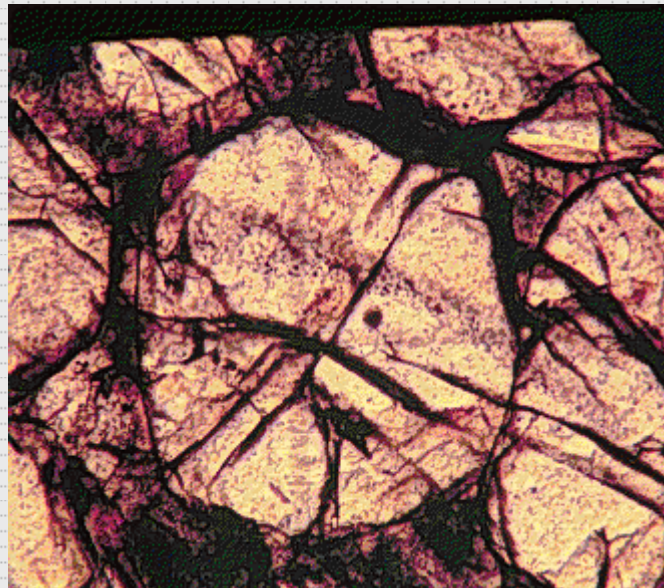
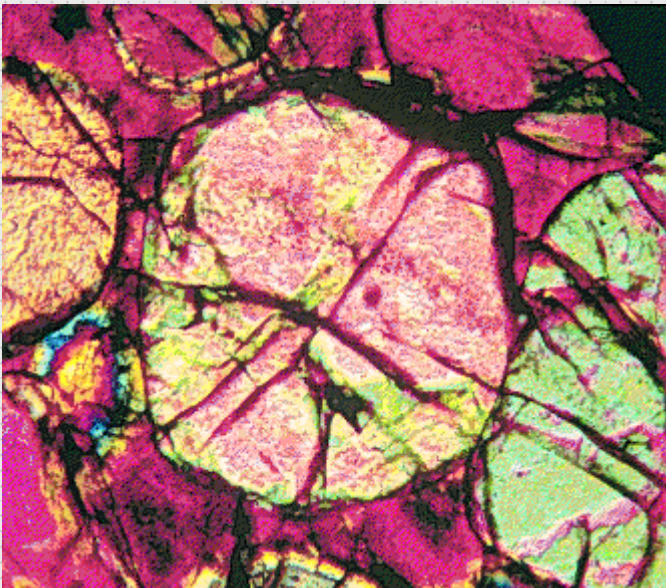
Tipomorfni minerali

Forsterit Mg_2SiO_4

Montičelit CaMgSiO_4

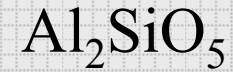
Melilit $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$

Kontaktni metamorfizam, mramori



Tipomorfni minerali

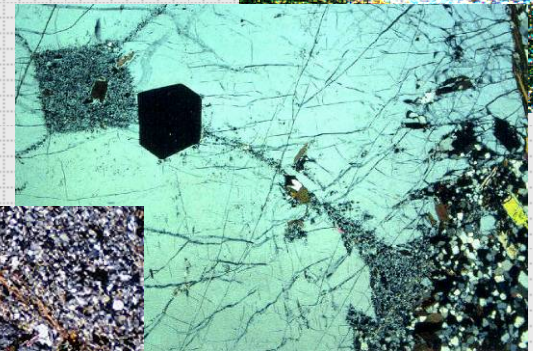
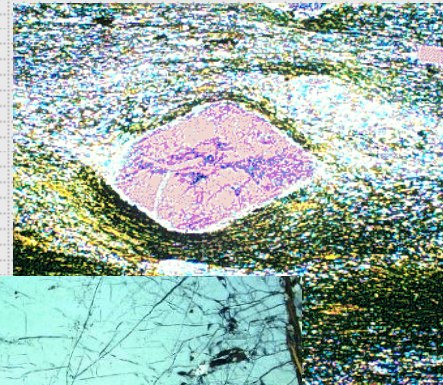
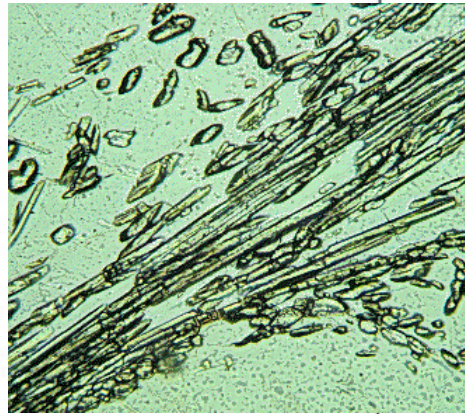
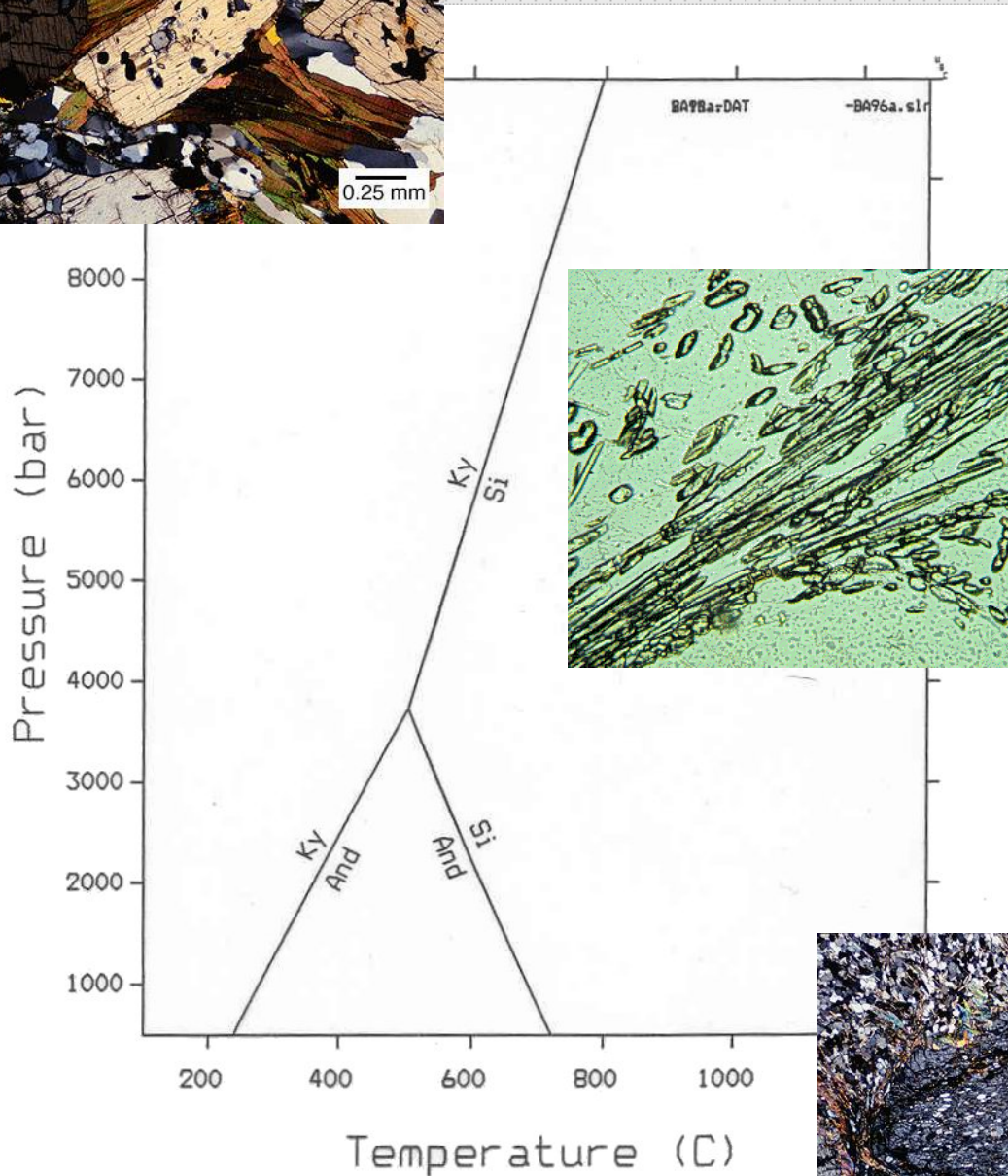
Polimorfizam



Andaluzit

Silimanit

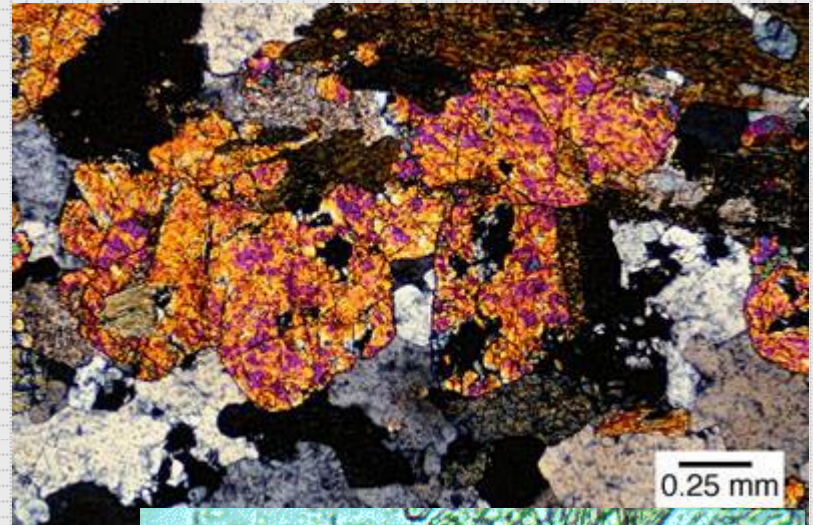
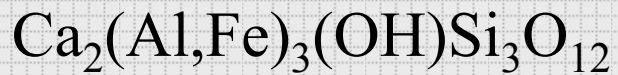
Disten



Andaluzit

Tipomorfni minerali

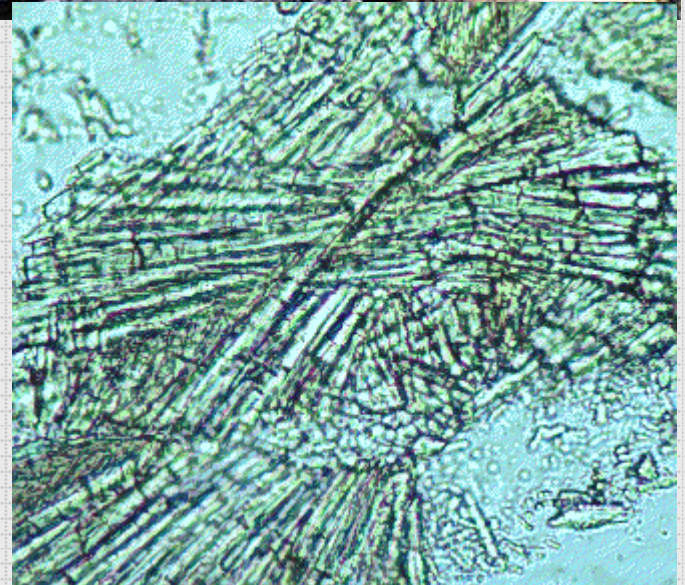
Epidot



Zoisit



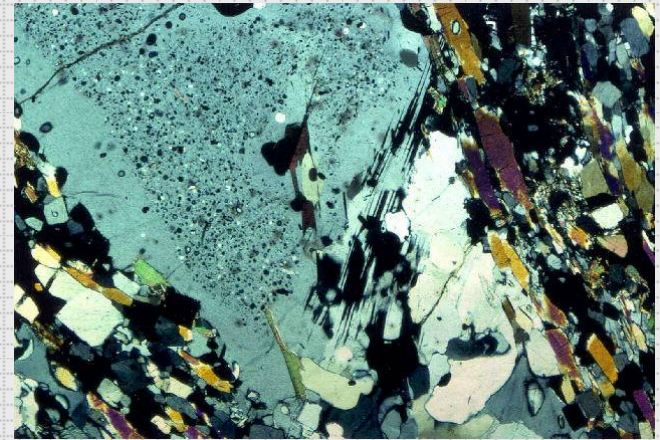
Regionalni metamorfizam niskog
stupnja, kontaktnometasomatski



Tipomorfni minerali

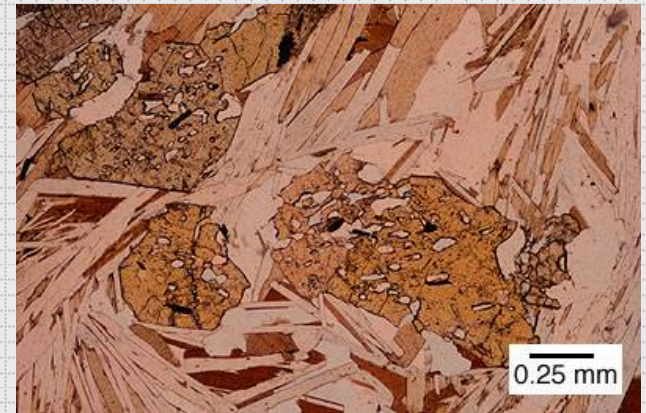
Kordijerit $(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_5\text{O}_{18})$

Kontaktne metamorfizacije, visok stupanj regionalne metamorfoze



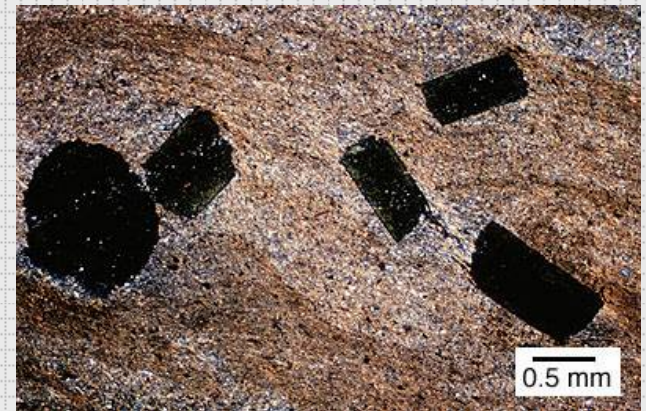
Volastonit CaSiO_3

Kontaktne metamorfizacije, 450-550 °C



Staurolit $\text{FeAl}_4(\text{O}_2(\text{OH})_2(\text{SiO}_4)_2$

Stres mineral, regionalni metamorfizam visokog stupnja



Kloritoid

Stres mineral, regionalni metamorfizam niskog stupnja

Tipomorfni minerali

Amfiboli

Tremolit $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$

aktinolit ... $(\text{Mg},\text{Fe})_5\ldots$

Kontaktna metam.

–regionalni metam.niskog stupnja

Glaukofan $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$

Krosit-ribekit $(\text{NaFe}\ldots)$

Kersutit (Ti)

Regionalna metamorfoza, niske T visoki p

Hornblenda

Regionalna metamorfoza

Pirokseni

Diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ – kontaktni metamorfizam

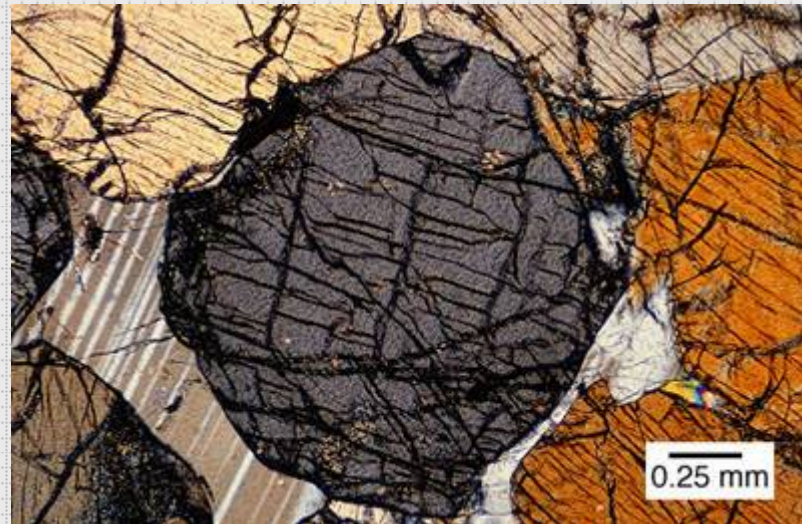
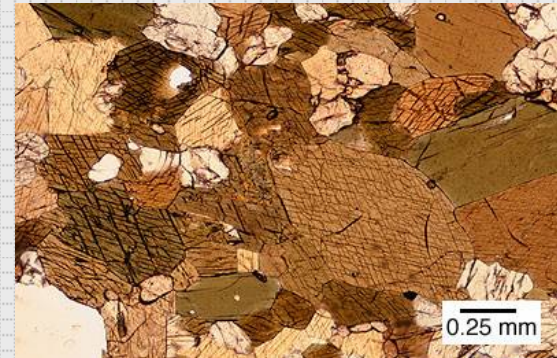
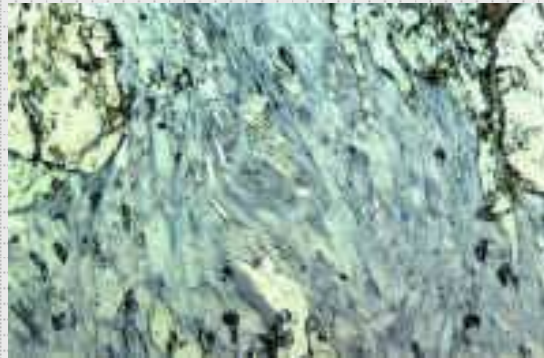
Hedenbergit $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ – kontaktni metamorfizam

Hipersten $(\text{Fe},\text{Mg})\text{SiO}_3$ – regionalni metamorfozam visokog stupnja

Jadeit $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

Omfacit $\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_6$

Porast Na u rešetki fenskih minerala znači porast tlaka



Stilpnomelan

Tipomorfni minerali

Talk $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$

Klorit $\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10})\text{Mg}_3(\text{OH})_6$

Muskovit $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

Biotit

Niski do srednji stupanj regionalne metamorfoze

Serpentin $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$

Autometamorfoza

Ortoklas, mikroklin KAlSi_3O_8

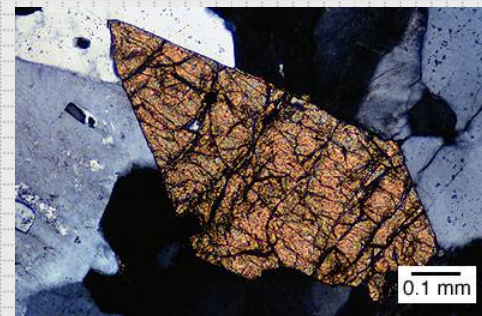
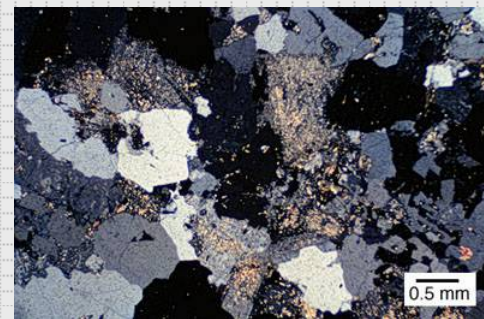
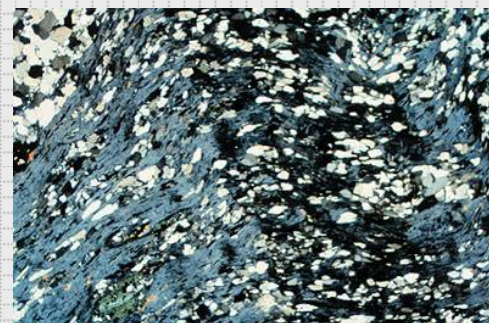
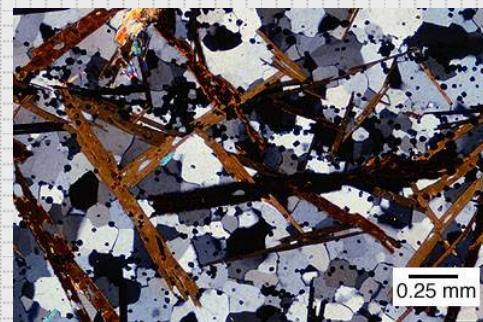
Visok stupanj regionalne metamorfoze

Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

-nizak stupanj regionalne metamorfoze

Plagioklasi – raste %An s porastom metamorfnog stupnja

Ilmenit, rutil, titanit, kalcit



Klasifikacija metamorfnih stijena

- Metamorfne stijene su klasificirane prema *strukturi, teksturi i sastavu* (mineralnom ili kemijskom)
- Nazivi su jednostavni i “fleksibilni” (za razliku od magmatske klasifikacije)
- Mogu sadržavati prefikse da bi se naglasio određeni teksturni, strukturni ili mineralni aspekt

Klasifikacija metamorfnih stijena

- Za razliku od klasifikacije magmatskih stijena razmjerno je malo naziva i strogih klasifikacijskih shema te je zato dozvoljena određena fleksibilnost.
- Naziv stijene mora sadržavati informaciju o stijeni i razlikovati je od ostalih stijena, a naziv može obuhvatiti: protolit, strukturu/teksturu stijene i mineralnu zajednicu, vrstu metamorfizma.
- Naziv stijene ovisi o našem gledištu i o tome što želimo naglasiti npr. hornblenda škriljavac (teksturni aspekt i dominantan mineral), amfibolit (metamorfni stupanj i mineralna zajednica), metabazalt (porijeklo stijene).
- Gdje je u prefiksu stijeni navedeno više minerala, podrazumjeva se da se minerali redaju prema njihovoj zastupljenosti npr. Grt-Cpx-Pl-Amp škriljavac ($\text{Grt} < \text{Cpx} < \text{Pl} < \text{Amp}$).

Klasifikacija metamorfnih stijena

Naziv stijene	Značajke stijene
Slejt	Finozrnata stijena niskog stupnja metamorfizma, finoškriljava uslijed sitnih orijentiranih filosilikata, na svježim prelomima bez sjaja
Filit	Finozrnata, finoškriljava stijena, sjajna na plohama folijacije uslijed istovrsno orijentiranih ali jedva vidljivih filosilikata
Škriljavac	Srednjezrnata stijena, jasno izražena škriljavost uslijed paralelnog redanja minerala (uglavnom filosilikata)
Gnajs	Srednje do krupnozrnata stijena s vrpčastim teksturama uslijed promjena u mineralnom sastavu, preferirana orijentacija minerala
Zeleni škriljavac	Zelena škriljava stijena, sadrži Chl-Epi-Ab-Akt-Qtz-Ttn, nastao metamorfizmom niskog stupnja iz mafitnih stijena
Plavi škriljavac	Tamnoplava, folirana stijena, obično mafitnog sastava, sadrži alkalijske amfibole (glaukofan i krosit) kao značajne sastojke
Amfibolit	Bimineralna stijena koja se sastoji od Hbl i Pl
Serpentinit	Stijena koja se sastoji pretežno od serpentina
Eklogit	Stijena sastavljena od granata i omfacita, bez plagioklasa, metabazit, vezana uz visoke tlakove
Granulit	Granoblastična struktura, pojava ortopiroksena, $\text{PH}_2\text{O} < \text{P}_{\text{total}}$
Hornfels	Tamna, finozrnata stijena nastala kontaktnim metamorfizmom uz potpunu odsutnost deformacija
Mramor	Granoblastična struktura, Cal/Dol i akcesorni minerali
Kvarcit	Granoblastična struktura, Qtz
Skarn	Metasomatske reakcije u karbonatnom okolišu
Graizen	Metasomatske reakcije u granitnom okolišu
Milonit	Finozrnata i finouslojena stijena uslijed usitnjavanja protolita djelovanjem stresa
Migmatit	Heterogena stijena koja se sastoji od škriljave ili gnajsne metamorfne stijene usko vezane s magmatskim kvarcnofeldspatskim materijalom

Klasifikacija (škriljavost, folijacija)

Slejt: kompaktna, sitnozrnata metamorfna stijena s dobro razvijenom folijacijom. Svježe plohe folijacije su bez sjaja.

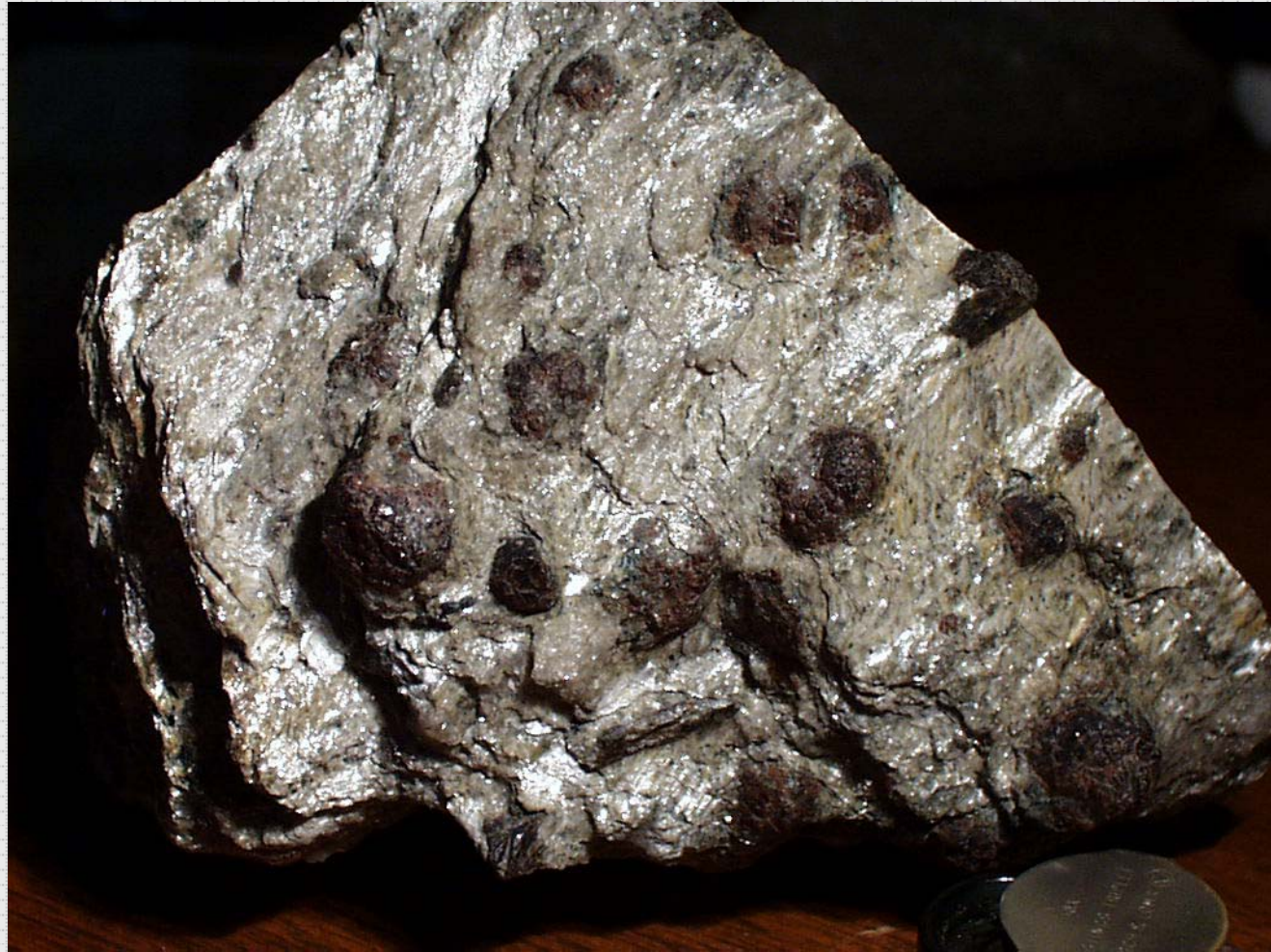
Filit: škriljava metamorfna stijena u kojoj sitni filosilikati (sericit / fengit i/ili klorit) na svježe odkalanoj plohi daju svilenkast sjaj. Filiti često pokazuju i folijaciju i lineaciju.



Slika 22-1. Metamorfne stijene s folijacijom. a. Slejt. b. Filit. Vidljiva razlika u sjaju na plohama folijacije. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

Klasifikacija (škriljavost, folijacija)

Škriljavac: metamorfna stijena pokazuje škriljavost. Po toj definiciji škriljavost je širok pojam prema kojem su slejt i filit također škriljavci. U općoj upotrebi škriljavost se ograničava na one metamorfne stijene kod kojih su minerali vidljivi golim okom.



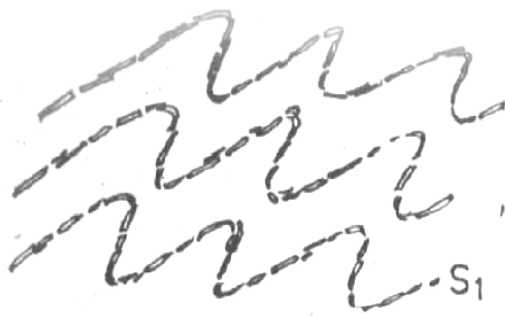
Slika 22-1c. Granat-muskovitski škriljavac. Muskovit daje škriljavost i srebrnkast sjaj stijeni, granati se javljaju kao porfiroblasti. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

Klasifikacija (škriljavost, folijacija)

Gnajs: metamorfna stijena pokazuje gnajсну teksturu. Gnajsevi su tipično “uslojene” stijene (trakaste) s izmjenama leukokratskih i melanokratskih traka.



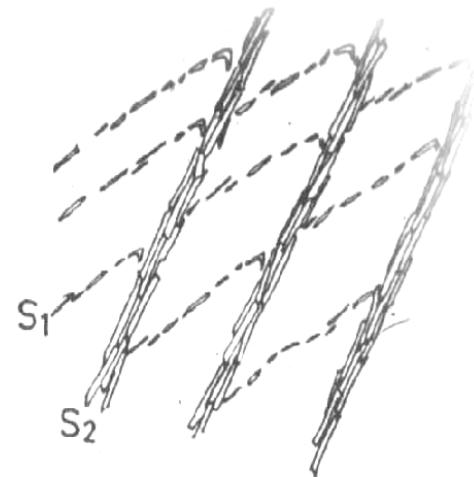
Slika 22-1d. Gnajs pokazuje trakastu teksturu (**layering**). Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



(a)



(b)

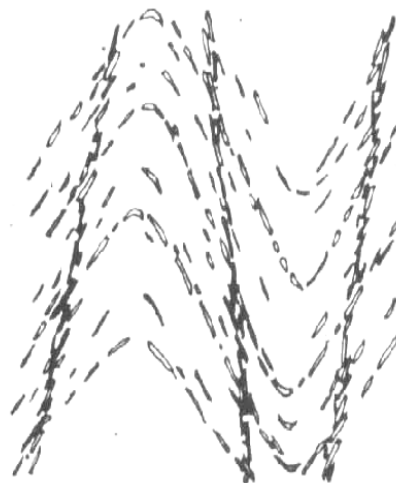


(c)

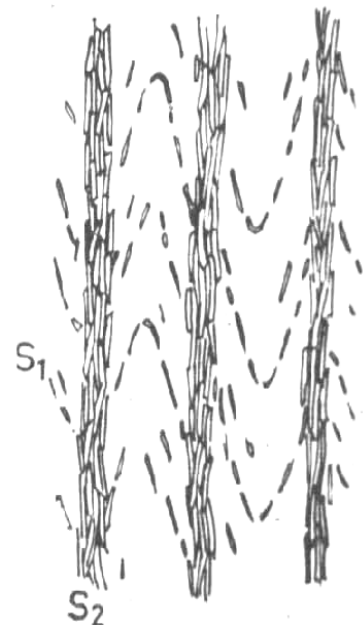
Progresivan razvoj (a → c)
krenulacijskog klivaža
(crenulation cleavage) za
asimetrični (gore) i simetrični
(dolje) klivaž. Iz Spry (1969)
Metamorphic Textures. Pergamon.
Oxford.



(d)



(e)



(f)

Klasifikacija metamorfnih stijena bez preferirane orijentacije

Jednostavnija nego kod škriljavaca

Granofels: zajednički termin za izotropne stijene (stijene bez preferirane orijentacije)

Hornfels je vrsta granofelsa koja je sitnozrnata i kompaktna, javlja se u kontaktnim aureolama.

Ne kalaju se kod udarca čekićem.

Klasifikacija metamorfnih stijena bez preferirane orijentacije

Mramor: metamorfna stijena koja u mineralnom sastavu ima pretežno kalcit i/ili dolomit (protolit je vapnenac ili dolomit).

Kvarcit: metamorfna stijena koja u mineralnom sastavu ima pretežno kvarc. Protolit je pješčenjak.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Specifične metamorfne stijene

Zeleni škriljavac: metamorfna stijena niskog stupnja koja sadrži klorit, aktinolit, epidot (minerali zelene boje) i albit. Protolit je ili mafitna magmatska stijena ili grauvaka.

Amfibolit: metamorfna stijena koja sadrži hornblendu i plagioklas. Amfiboliti mogu imati škriljavost i ne moraju. Prisutna je lineacija. Protolit je ili mafitna magmatska stijena ili grauvaka.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Specifične metamorfne stijene

Serpentinit: ultramafitna stijena metamorfozirana u niskom stupnju metamorfizma, izgrađena uglavnom od serpentina.

Plavi škriljavac (blueschist): škriljavac koji sadrži plave amfibole, nastao iz mafitne magmatske stijene ili grauvake pod visokim P.

Eklogit: metamorfna stijena koja sadrži klinopiroksen i granat (omfacit + pirop). Protolit je bazaltnog sastava.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Specifične metamorfne stijene

Skarn: kontaktno metamorfozirana i Si-metasomatizirana karbonatna stijena koja sadrži Ca-Si minerale poput grosulara, epidota, tremolita, vezuvianita, itd.

Grajzen iz granita.

Granulit: metamorfna stijena visokog stupnja, ishodišna stijena može biti pelitni, mafitni ili kvarcnofeldspatski protolit, dominantno sastavljen od bezvodnih minerala, plagioklas i ortopiroksen.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Specifične metamorfne stijene

Migmatit: heterogena silikatna stijena (na 1-10 cm skali), sadrži tamni gnajski matriks (*melanosom*) i svijetli felsični dio (*leukosom*). Migmatiti mogu biti slojeviti i trakasti ili leukosom može stvarati mrežu žila.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Dodatni termini:

Porfiroblastičan znači da metamorfna stijena ima jedan ili više metamorfnih minerala koji su veći od ostalih. Pojedini minerali se nazivaju **porfiroblasti**

Neki gnajsevi sadrže velika oku nalik zrna koja su nastala smicanjem kristala feldspata. Individualna zrna takve vrste nazivaju se oko (auge), množina **augen**. Okasti gnajs (augen gneiss) sadrži takve feldspate (Sl. 23-18).

Klasifikacija metamorfnih stijena



Slika 23-18. Augen (okasti) gnajs. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Dodatni termini:

naglašavaju se pojedini aspekti stijene poput:

- veličine zrna
- boje
- kemijskog sastava (pelitna, mafitna, felsična ...)

i to onda kada je takav dodatak potreban.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Dodatni termini:

Orto- magmatski protolit

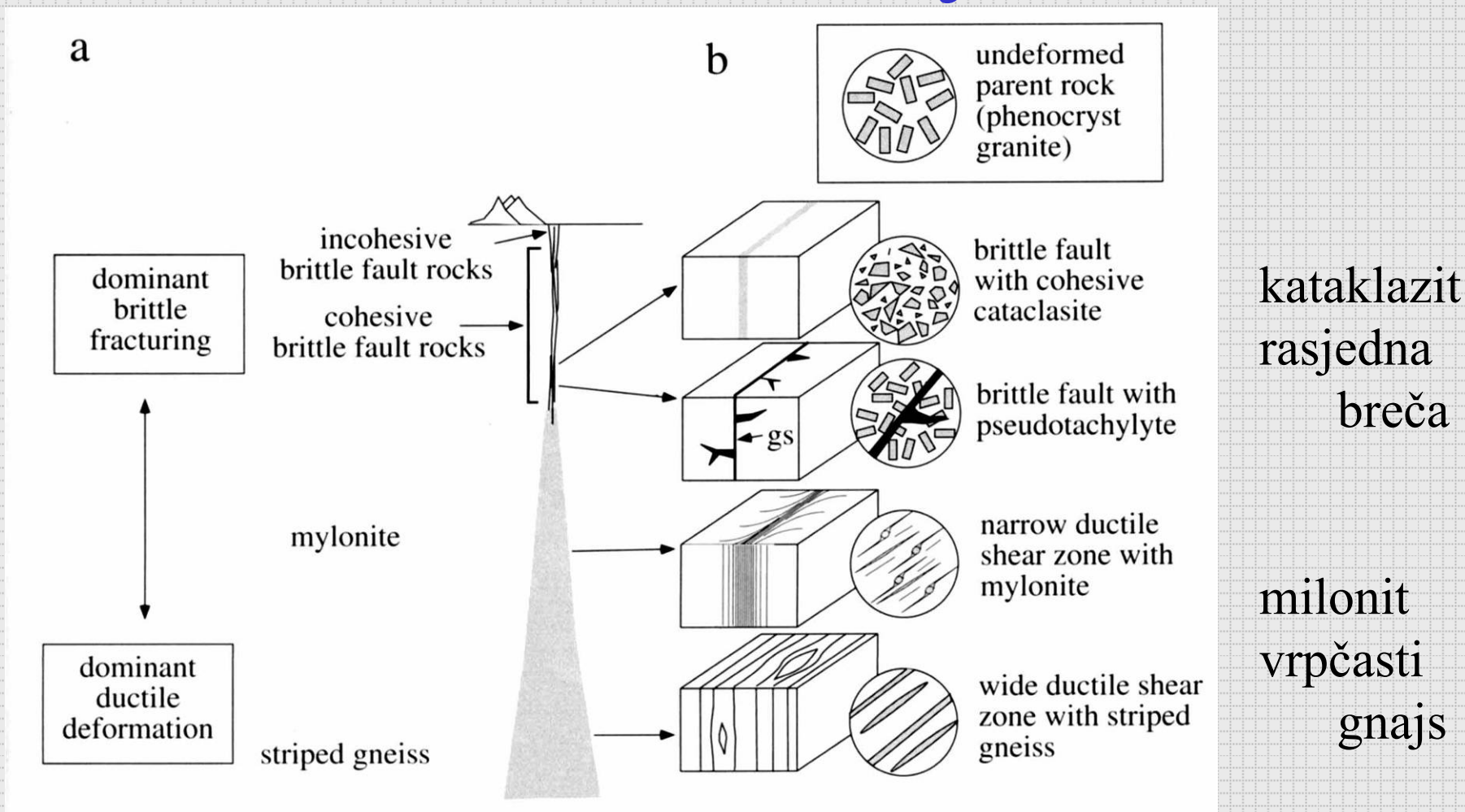
Para- sedimentni protolit

Koriste se samo onda kada trebaju otkloniti nedoumicu.

Npr. kvarcno - feldspatski gnajs može nastati ili iz arkoze ili iz granitoida. Ako pomoću minerala, kemijskog sastava ili terenskog opažanja možemo uočiti razliku onda koristimo termine poput *ortognajs*, *paragnajs*, ili *ortoamfibolit*.

Klasifikacija metamorfnih stijena

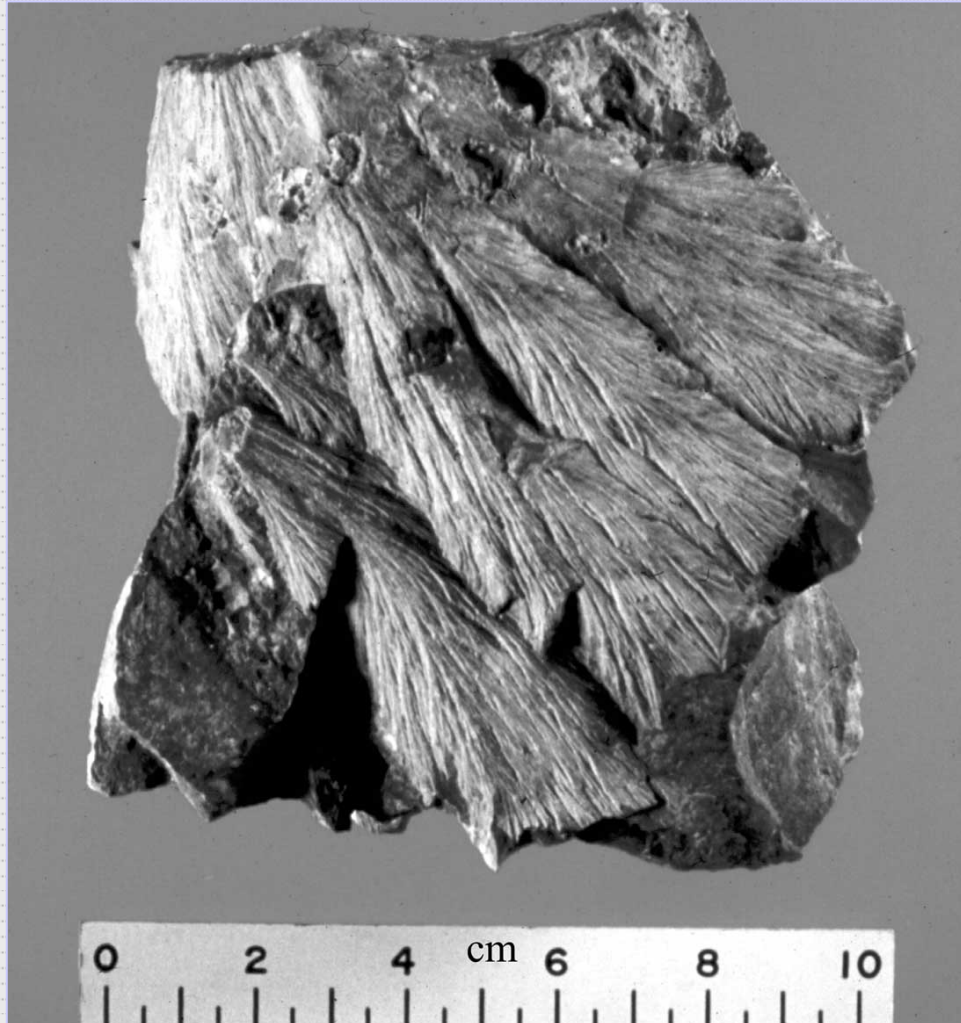
Kataklastične stijene



Slika 22-2. Shematski prikaz rasjedne (**shear**) zone pokazuje vertikalnu raspodjelu tipova stijena od nevezanih stijena i breča blizu površine do vezanih i škriljavih stijena. Širina smične zone raste s dubinom te ona postaje elastičnija (**ductile**). U krugovima su prikazane mikrostrukture. Prema Passchier and Trouw (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin.

Klasifikacija metamorfnih stijena

Kataklastične stijene



Slika 22-4. Udarni krateri u vapnencu (**shatter cones**) iz Houghton Structure, Northwest Territories. Fotografija: Richard Grieve, © Natural Resources Canada.

Metamorfizam - razvoj ideja

Cilj:

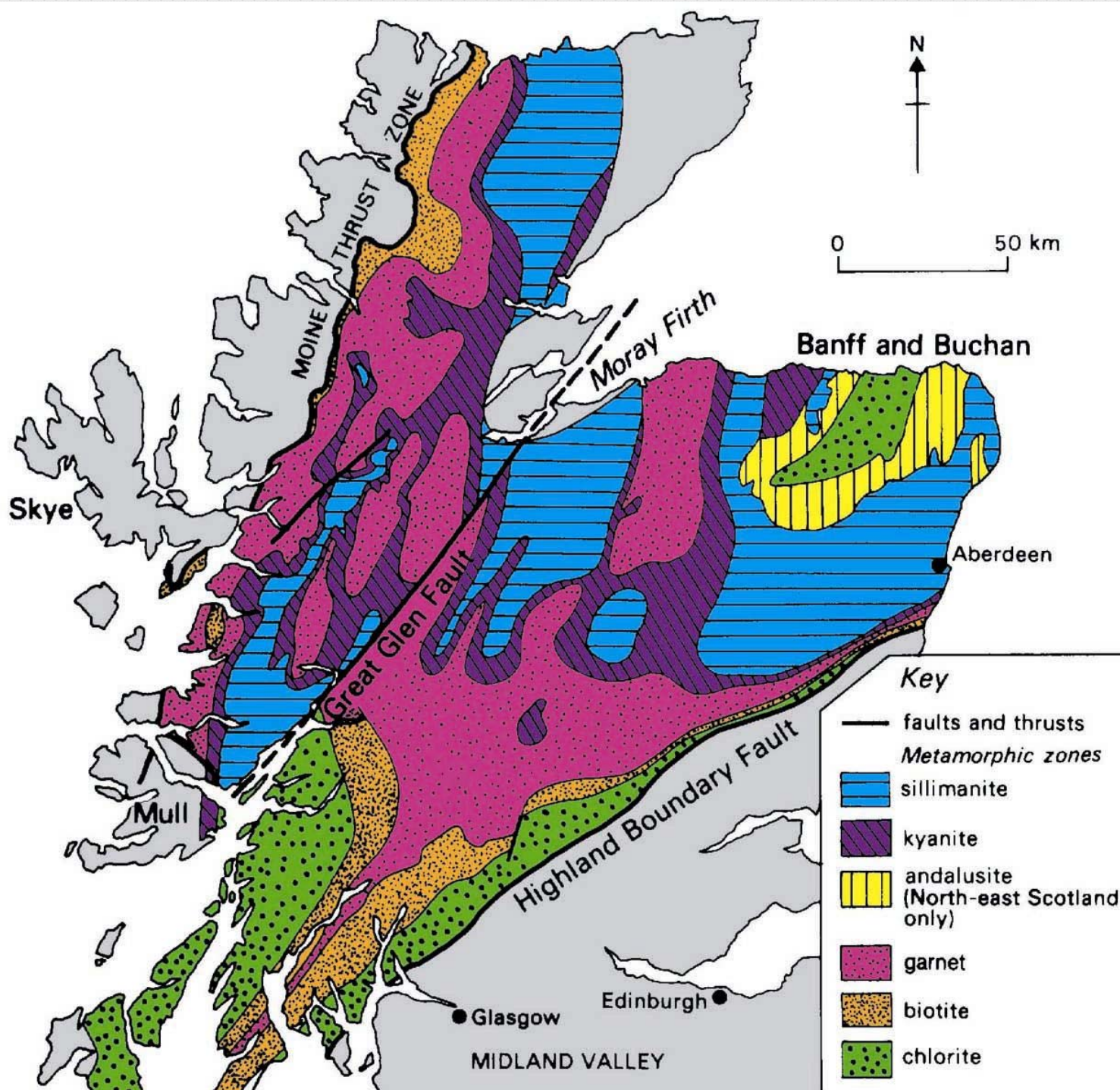
- Interpretacija uvjeta i evolucije metamorfnih stijena, planinskih lanaca i naposljetku evolucije Zemljine kore
- Metamorfne stijene mogu zadržati dovoljno informacija o svojim protolitima da nam omoguće interpretaciju i predmetamornih događaja

Povijest:

- George Barrow (1893, 1912)
- Regionalni metamorfizam u području Scottish Highlands (Škotska) - Kaledonska orogeneza ~ 500 Ma
- Barrow studirao **pelitne** stijene, podijelio područje na serije **metamornih zona**, prema pojavi novih minerala ovisno o porastu metamornog stupnja

•**Izograde** =
linije koje
razdvajaju zone
(linije na terenu
s konstantnim
metamornim
stupnjem)

Slika 21-8. Regionalna metamorfna karta područja Scottish Highlands pokazuje zone s mineralima razvijenim s porastom metamornog stupnja. Prema Gillen (1982) *Metamorphic Geology. An Introduction to Tectonic and Metamorphic Processes*. George Allen & Unwin. London.



Slijed metamorfnih zona s tipičnim metamorfnim mineralnim zajednicama

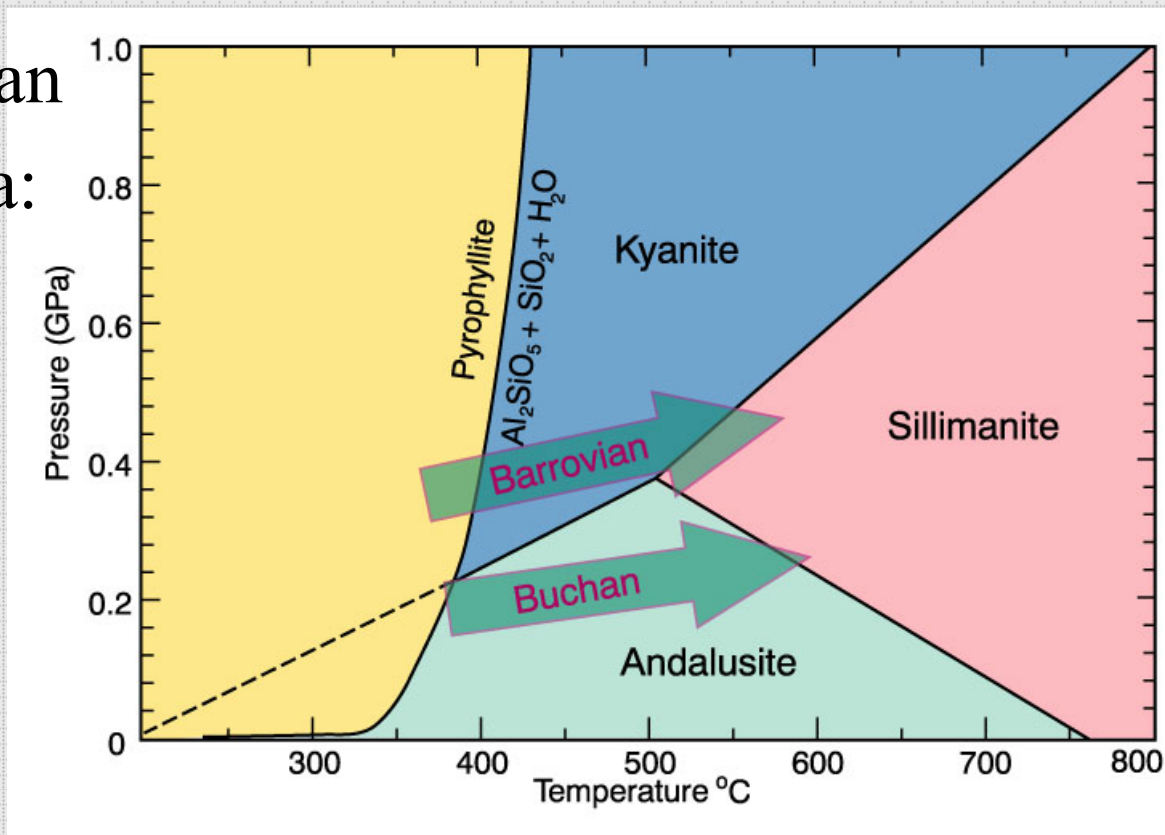
- **Kloritna zona.** Pelitne stijene su slejt ili filit koji sadrže **klorit**, muskovit, kvarc i albit
- **Biotitna zona.** Filit i škriljavac s **biotitom**, kloritom, muskovitom, kvarcom i albitom
- **Granatna zona.** Škriljavac s crvenim almandinskim **granatom**, uz biotit, klorit, muskovit, kvarc i albit ili oligoklas
- **Staurolitna zona.** Škriljavac sa **staurolitom**, biotitom, muskovit, kvarc, granatom i plagioklasom. Moguć i klorit.
- **Kijanitna (distenska) zona.** Škriljavac s **kijanitom**, biotitom, muskovitom, kvarcom, plagioklasom i obično još granatom i staurolitom
- **Silimanitna zona.** Škriljavci i gnajsevi sa **silimanitom**, biotitom, muskovitom, kvarcom, plagioklasom, granatom i moguće staurolitom. Također i kijanit može biti prisutan (polimorfna modifikacija - Al_2SiO_5)

Zaključak:

- Izograda (u klasičnom smislu) predstavlja prvu pojavu određenog metamorfnog indeks minerala na terenu s porastom metamorfnog stupnja
- Prolaskom izograde, npr. biotitne izograde ulazi se u biotitnu zonu
- Zone dakle imaju isti naziv kao i izograde koje čine granicu nižeg stupnja za tu zonu
- S obzirom da su izograde temeljene na prvoj pojavi minerala, a ne na njenom nestanku indeks mineral može biti stabilan i u zoni višeg stupnja

Postoje varijacije navedenih zaključaka u području sjeverno od promatranog terena - Banff i Buchan district

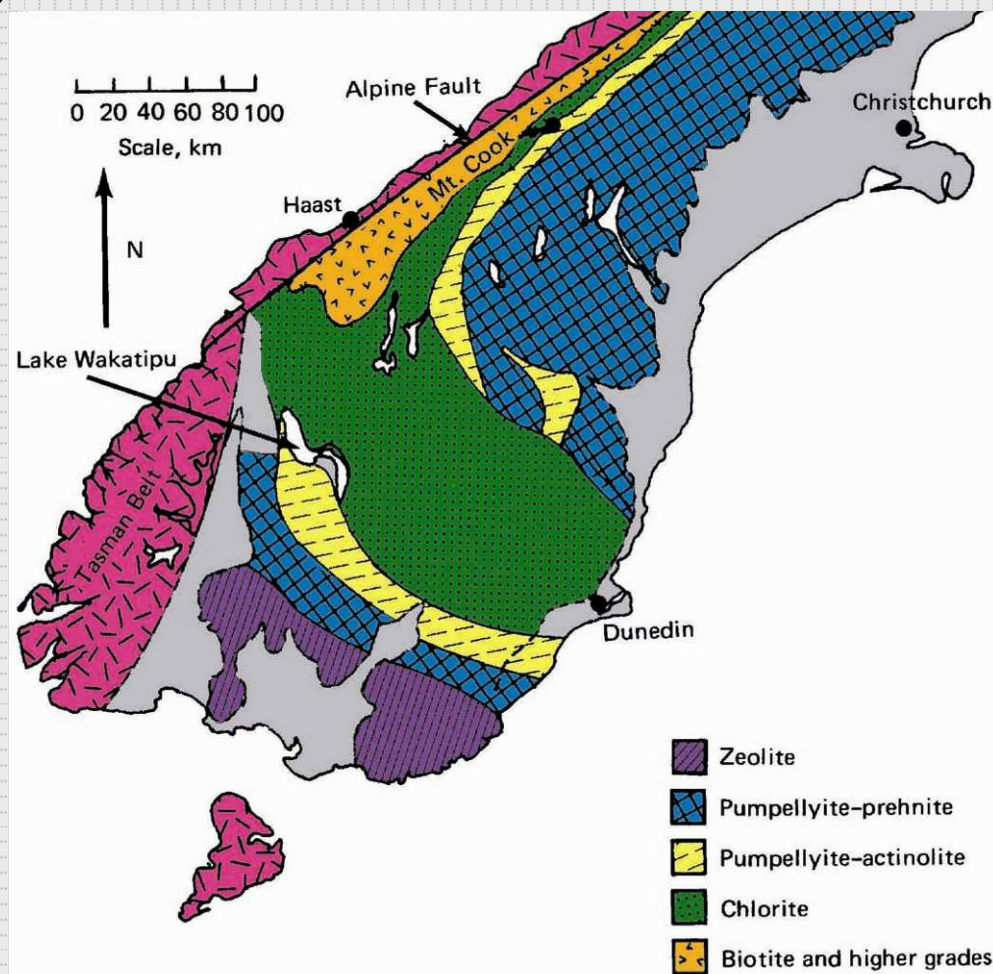
- Pelitni sastav je sličan ali je slijed izograda:
 - klorit
 - biotit
 - kordijerit
 - andaluzit
 - silimanit



Slika 21-9. P-T fazni dijagram za sustav Al_2SiO_5 pokazuje polja stabilnosti za tri polimorfne modifikacije. Također je pokazana prijelaz Al_2SiO_5 u pirofilit što ograničava pojavu Al_2SiO_5 polimorfne modifikacije u nižem stupnju u suvišku SiO_2 i vode. Dijagram izračunat programom TWQ (Berman, 1988, 1990, 1991).

Regionalni metamorfizam tonjenja Otago, New Zealand

- Jurske grauvake, tufovi, vulkanoklastiti u dubokom jarku metamorfozirane tijekom krede
- Finozrnati i nezreli materijal je podložen alteraciji i pri niskom stupnju

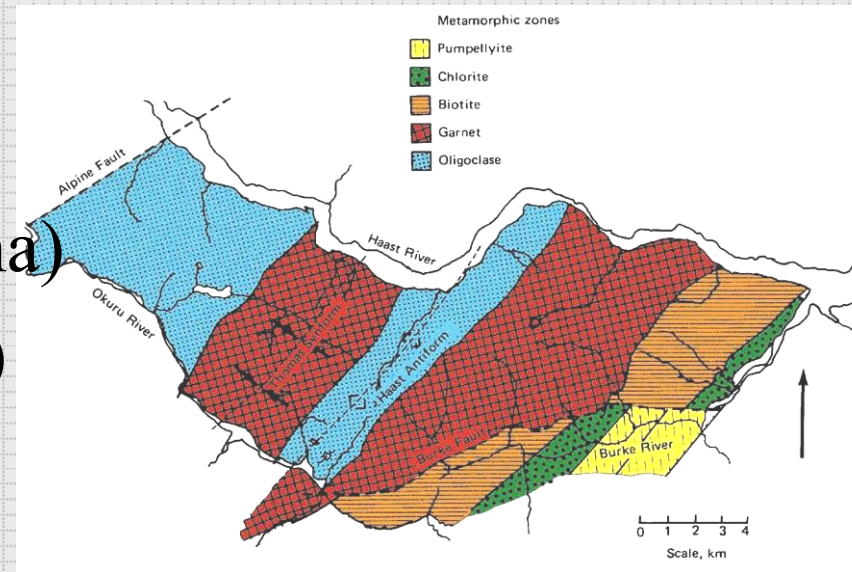


Slika 21-10. Geološka karta južnog otoka (New Zealand) pokazuje Mz metamorfne stijene starijeg Tasman Belt i Alpine Fault. Torlese Group je metamorfozirana u prehnit-pumpeleit zoni, a Otago Schist u zoni višeg stupnja. X-Y je Haast River Section slike 21-11. Iz Turner (1981) *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill.

Regionalni metamorfizam tonjenja Otago, New Zealand

Izograde kartirane u nižem stupnju:

- 1) Zeolitna
- 2) Prehnit-pumpeleitna
- 3) Pumpeleitna (-aktinolitna)
- 4) Kloritna (-klinozoisitna)
- 5) Biotitna
- 6) Almandinska (granatna)
- 7) Oligoklasna (albit je zamjenjen Ca-plagioklasom u nižem stupnju)



Regionalni metamorfizam tonjenja Otago, New Zealand

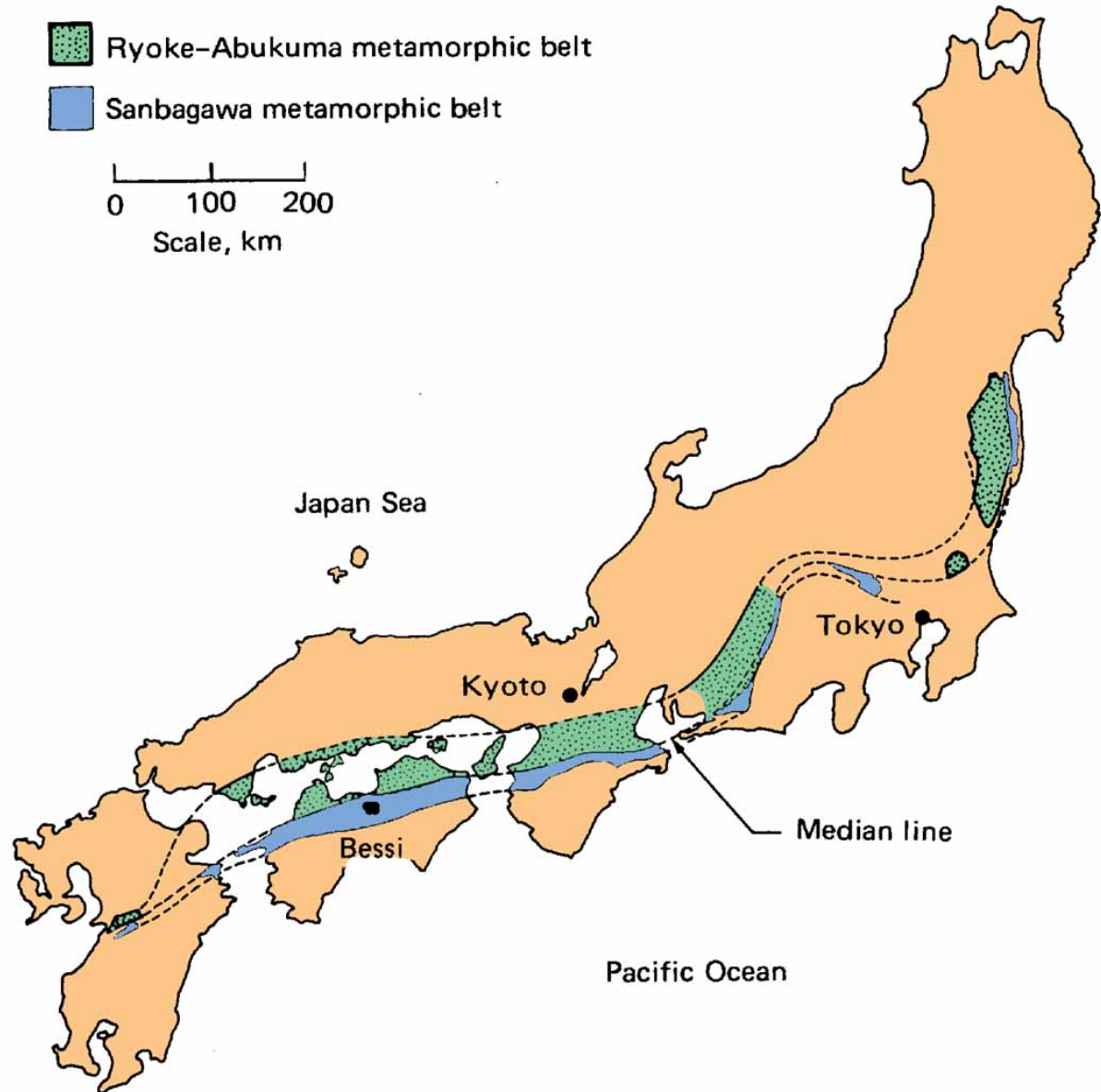
- Orogeni pojasevi imaju slijed zona od dijageneze do kloritne ili biotitne zone
- Razvoj zona niskog stupnja metamorfizma na New Zealand je posljedica nestabilnosti tufa i grauvara i prisutnosti vruće vode. Pelitni sedimenti ne reagiraju do višeg stupnja.
- Dakle, također odstupanja na New Zealand-u

Metamorfni pojasevi Japana

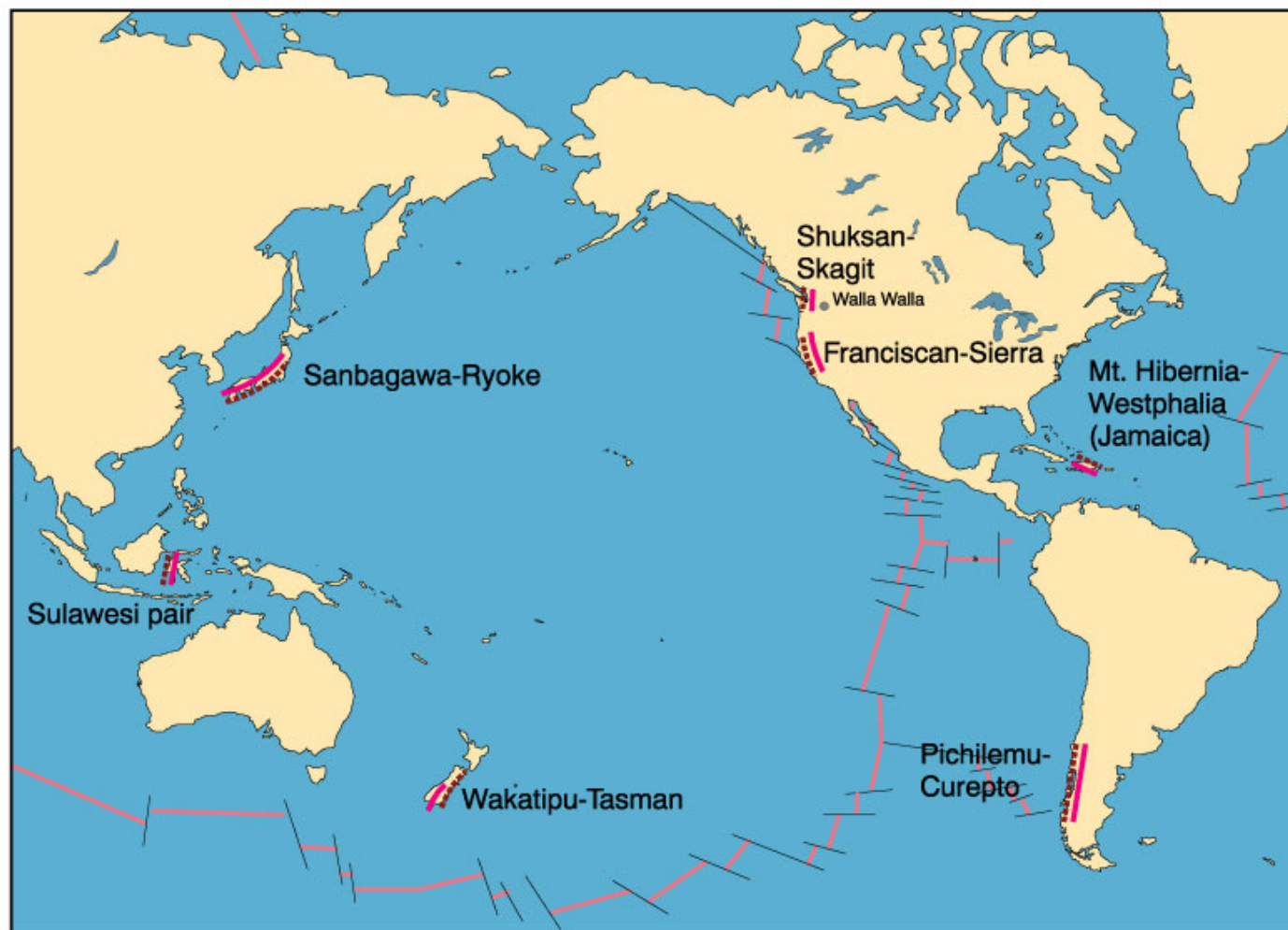
Paired belts

- Dva pojasa su u kontaktu duž cijele duljine preko rasjedne zone (Median Line)

Slika 21-12. Sanbagawa i Ryoke metamorfni pojasevi Japana. Iz Turner (1981) *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill and Miyashiro (1994) *Metamorphic Petrology*. Oxford University Press.



Miyashiro (1961, 1973) primjetio da su pojave istovremenih metamorfnih pojaseva, vanjskog **high**-P/T pojasa i unutarnjeg **lower**-P/T pojasa redovite u brojnim recentnim i starim subdukcijskim zonama



Slika 21-13. Neki od parova metamorfnih pojaseva u circum-Pacifičkom području. Iz Miyashiro (1994) *Metamorphic Petrology*. Oxford University Press.

Metamorfni pojasevi Japana

- NW pojas (“unutranji” pojas, dalje od jarka) je **Ryoke (ili Abukuma) pojas**
 - **Niski P/T** Buchan-tip regionalnog orogenog metamorfizma
 - Dominantni metapelitni sedimenti i izograde do silimanitne zone
 - visokotemperaturni-niskotlačni (**high-temperature-low-pressure - HTLP**) pojas
 - česti granitni plutoni

Metamorfni pojasevi Japana

- vanjski pojas - Sanbagawa Belt
- on je visokotlačni-niskotemperaturni pojas (high-pressure-low-temperature)
 - dosiže samo granatnu zonu u pelitnim stijinama
 - Bazične stijene su češće nego kod Ryoke pojasa i u njima je razvijen glaukofan (prelazi u hornblendu u višem stupnju)
 - Nastaju plavi škriljavci - blueschists - vezani za visoke P !!!

Kontaktne metamorfizam pelitnih stijena

- aureole oko intrudiranog magmatskog tijela
- Tilley opisao krupnozrnate neuškriljene granofelse koji sadrže visokotemperaturne minerale (opx, K-feldspat) nastale reakcijama iz biotita i muskovita
- hornfels
- sanidinitski, piroksenski hornfels, hornblenda hornfels, albit-epidot hornfels - facijesi

Metamorfni facijesi

- V.M. Goldschmidt (1911, 1912a), hornfelsi u Oslo regiji, relativno jednostavna mineralna zajednica u aureolama oko granitnog intruziva
- Zaključak: ravnotežna mineralna zajednica ovisna o T i X_{bulk}

Metamorfni facijesi

- Eskola (1915) razvio koncept metamorfnih facijesa

“U bilo kojoj stijeni ili metamorfnoj formaciji koja dosiže kemijsku ravnotežu kroz metamorfizam pri konstantnim uvjetima tlaka i temperature, mineralni sastav je određen samo kemijskim sastavom. To nas dovodi do općeg pristupa kojeg autor naziva metamorfni facijesi.”

Metamorfni facijesi

Dvostruki temelji za koncept facijesa

- **Opisni:** odnos između sastava stijene i njene mineralogije
 - Taj opis je od osnovnog značenja za Eskolin pristup
 - Metamorfni facijesi su tada skupina pridruženih mineralnih zajednica
 - Ako pronađemo na terenu određenu mineralnu zajednicu (ili još bolje grupu zajednica koje pokrivaju širi raspon sastava) tada se tom području može pripisati određeni facijes

Metamorfni facijesi

- **Interpretativni**: raspon temperatura i tlakova karakterističnih za svaki facijes
 - Eskola je bio svjestan T-P posljedica na pristup i predvidio je **relativne** temperature i tlakove u svojim predloženim facijesima
 - Danas možemo pridružiti relativno točne temperature i tlakove granicama pojedinih facijesa

Metamorfni facijesi

Eskola (1920) predložio 5 facijesa:

- Facijes zelenih škriljavaca (greenschist)
 - Amfibolitni (amphibolite)
 - Hornfels (hornfels)
 - Sanidinitni (sanidinite)
 - Eklogitni (eclogite)
- Svaki je lako definirati na temelju mineralnih zajednica koje se razvijaju u mafitnim stijenama

Metamorfni facijesi

- Dodano je još - Eskola (1939) :
 - Granulitni (granulite)
 - Epidot amfibolitni (epidote-amphibolite)
 - Facijes plavih škriljavaca (glaucophane-schist tj. blueschist)
- ... i promjenjen je naziv hornfels facijesa u piroksenski hornfels facijes (pyroxene hornfels facies)
- Eskolini facijesi i procjene njihovih relativnih temperatura i tlakova pokazani su na slici 25-1

Metamorfni facijesi

Slika 25-1 Metamorfni facijesi kako ih je predložio Eskola i njihovi relativni P-T odnosi. Prema Eskola (1939) *Die Entstehung der Gesteine*. Julius Springer. Berlin.



Metamorfni facijesi

Od onda je dodano nekoliko novih facijesa.

Značajniji su:

- Zeolitni (zeolite)
- Prehnit-pumpeleitni (prehnite-pumpellyite)

... Coombs “burial metamorphic” - New Zealand

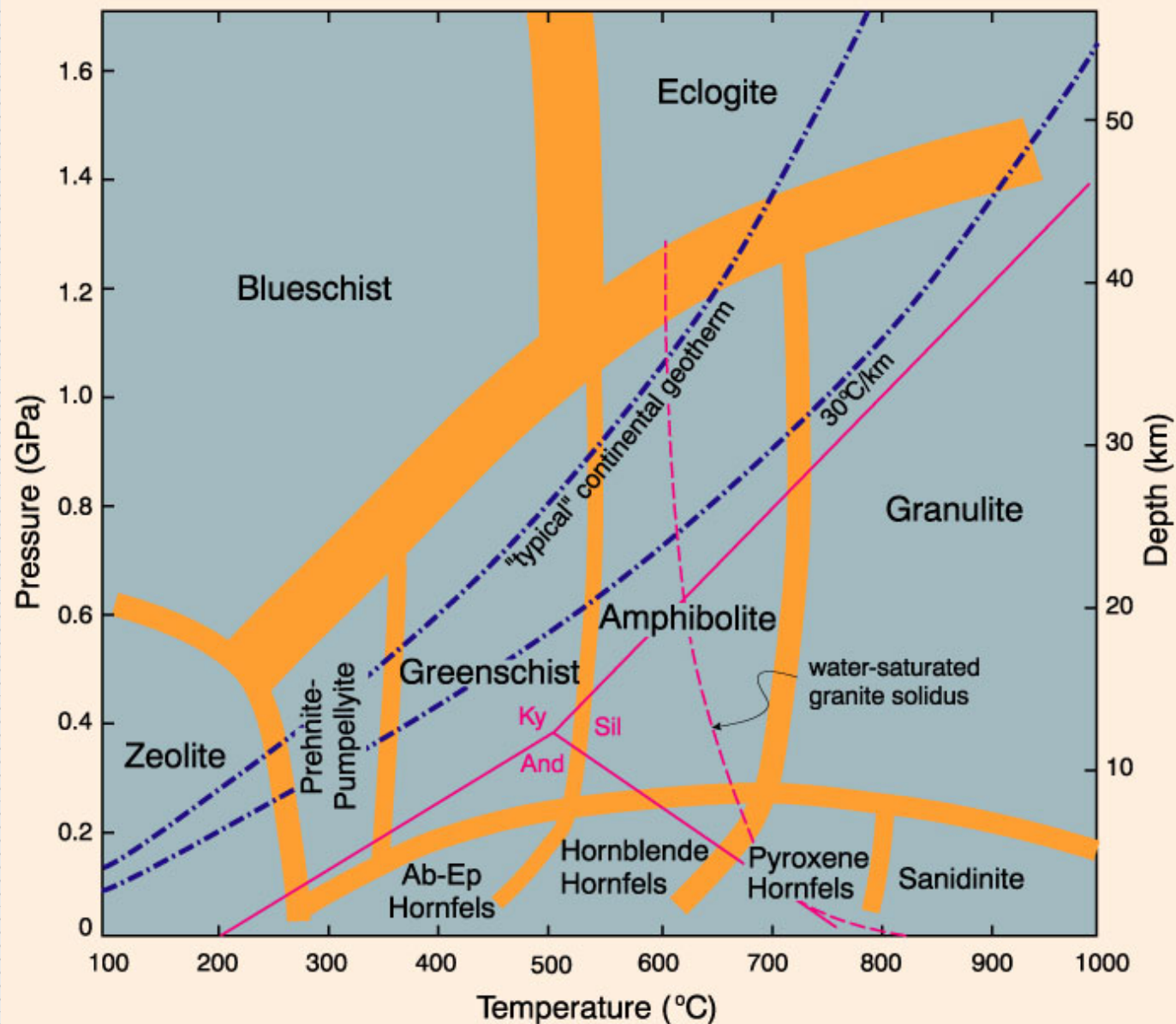
Fyfe *et al.* (1958) predložio:

- Albit-epidot hornfels (albite-epidote hornfels)
- Hornblenda hornfels (hornblende hornfels)

- Postoji još nekoliko manjih facijesa

Metamorfni facijesi

Slika 25-2. P-T dijagram pokazuje opće prihvaćene granice facijesa. Granice su približne i postupne. Tipičan ili prosječni kontinentalni geoterm je iz Brown and Mussett (1993). Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



Metamorfni facijesi

- Tablica mineralnih zajednica (parageneza) koje karakteriziraju pojedine facijese nastale iz mafitnih protolita).

Table 25-1. Definitive Mineral Assemblages of Metamorphic Facies

Facies	Definitive Mineral Assemblage in Mafic Rocks
Zeolite	zeolites: especially laumontite, wairakite, analcime
Prehnite-Pumpellyite	prehnite + pumpellyite (+ chlorite + albite)
Greenschist	chlorite + albite + epidote (or zoisite) + quartz $\pm$ actinolite
Amphibolite	hornblende + plagioclase (oligoclase-andesine) $\pm$ garnet
Granulite	orthopyroxene (+ clinopyroxene + plagioclase $\pm$ garnet $\pm$ hornblende)
Blueschist	glaucophane + lawsonite or epidote (+albite $\pm$ chlorite)
Eclogite	pyrope garnet + omphacitic pyroxene ($\pm$ kyanite)
Contact Facies	Mineral assemblages in mafic rocks of the facies of contact metamorphism do not differ substantially from that of the corresponding regional facies at higher pressure.

After Spear (1993)

Obično se metamorfni facijesi razmatraju u četiri grupe:

1) **Facijesi visokih tlakova**

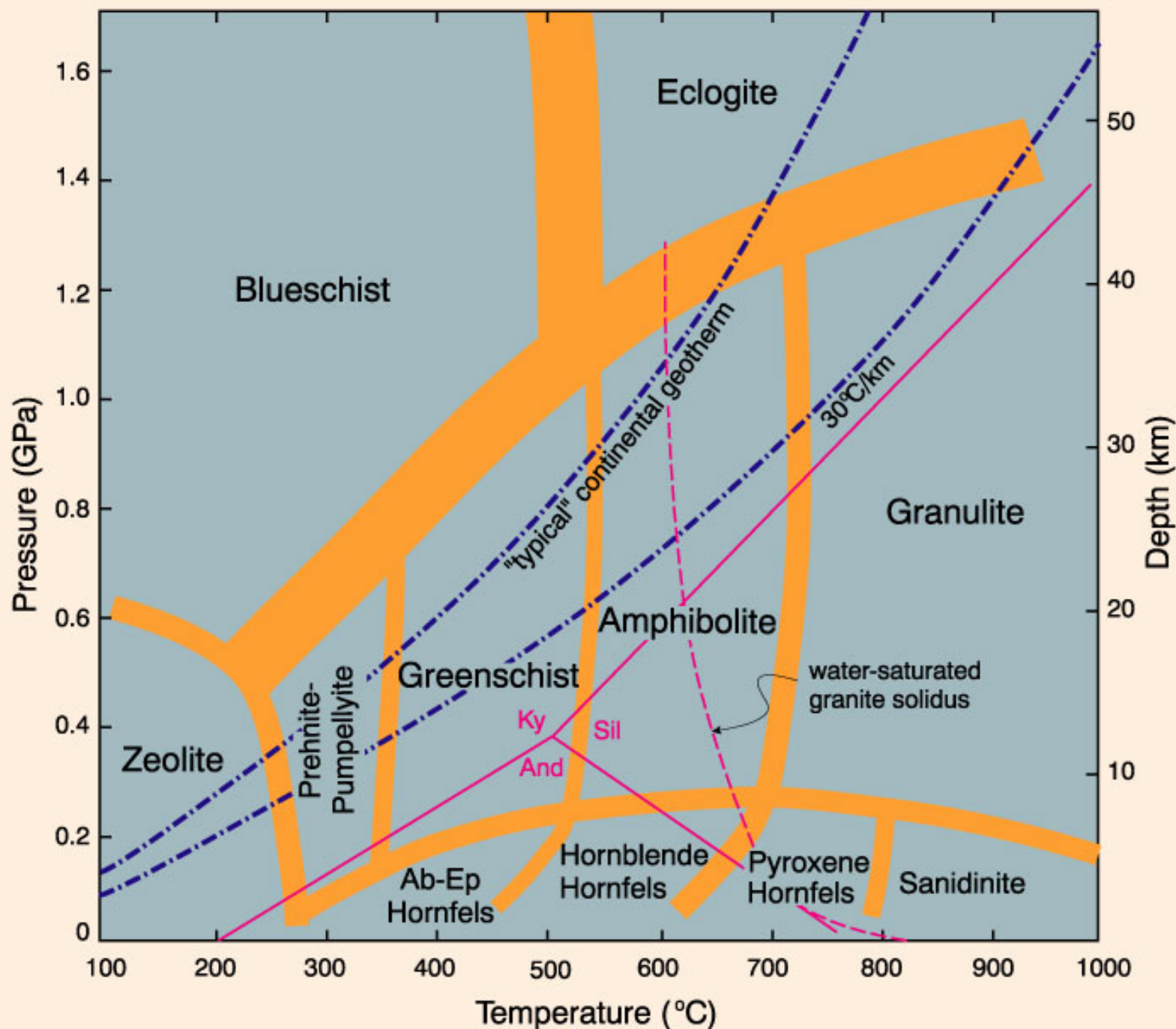
- Facijes **plavih škriljavaca** i **eklogitni** facijes: nizak molarni volumen faza u uvjetima visokog pritiska
- Nisko temperaturni facijes **plavih škriljavaca** javlja se u područjima niskih T/P gradijenata karakterističnih za subdukcijske zone
- Zbog toga što je **eklogit** stabilan pri normalnim geotermalnim uvjetima može se razviti kada se mafitna magma skrutne u dubljim djelovima kore ili gornjeg plašta

Metamorfni facijesi

2) Facijes srednjeg tlaka

- većina metamorfnih stijena na površini pripadaju facijesu zelenih škriljavaca, amfibolitnom ili granulitnom facijesu
- Na slici 25-2 se vidi da facijes zelenih škriljavaca i amfiboliti facijes odgovaraju “tipičnom” geotermalnom gradijentu

Slika 25-2. P-T dijagram pokazuje opće prihvaćene granice facijesa. Granice su približne i postupne. Tipičan ili prosječni kontinentalni geoterm je iz Brown and Mussett (1993). Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

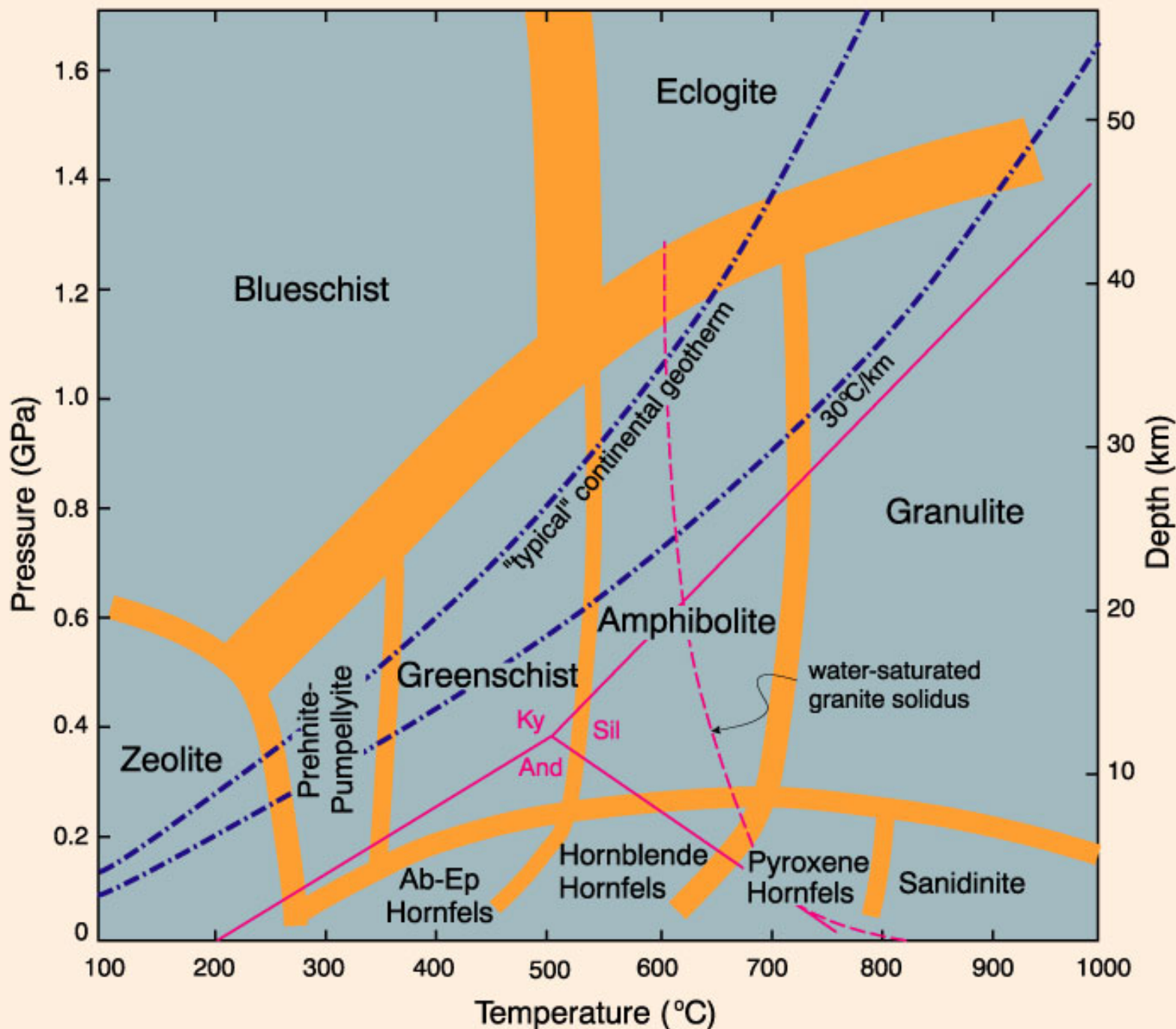


Metamorfni facijesi

3) Facijesi niskih tlakova

- Obuhvaća albit-epidot hornfels, hornblenda hornfels i piroksen hornfels facijese: kontaktno metamorfne terene i regionalne terene s vrlo visokim geotermalnim gradijentima
- Sanidinitni facijes je rijedak i ograničen na ksenolite u bazičnim magmama i na unutarnje dijelove kontaktnih aureola vrućih bazičnih intruziva

Slika 25-2. P-T dijagram pokazuje opće prihvaćene granice facijesa. Granice su približne i postupne. Tipičan ili prosječni kontinentalni geoterm je iz Brown and Mussett (1993). Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



Metamorfni facijesi

4) Facijesi niskog stupnja

- Stijene često ne uspijevaju rekristalizirati u potpunosti pri VLGM i ravnoteža nije uvijek dosegnuta
- Zeolitni i prehnit-pumpeleitni facijes nisu uvijek prisutni, dok je facijes zelenih škriljavaca najniži stupanj razvijen u mnogim regionalnim terenima

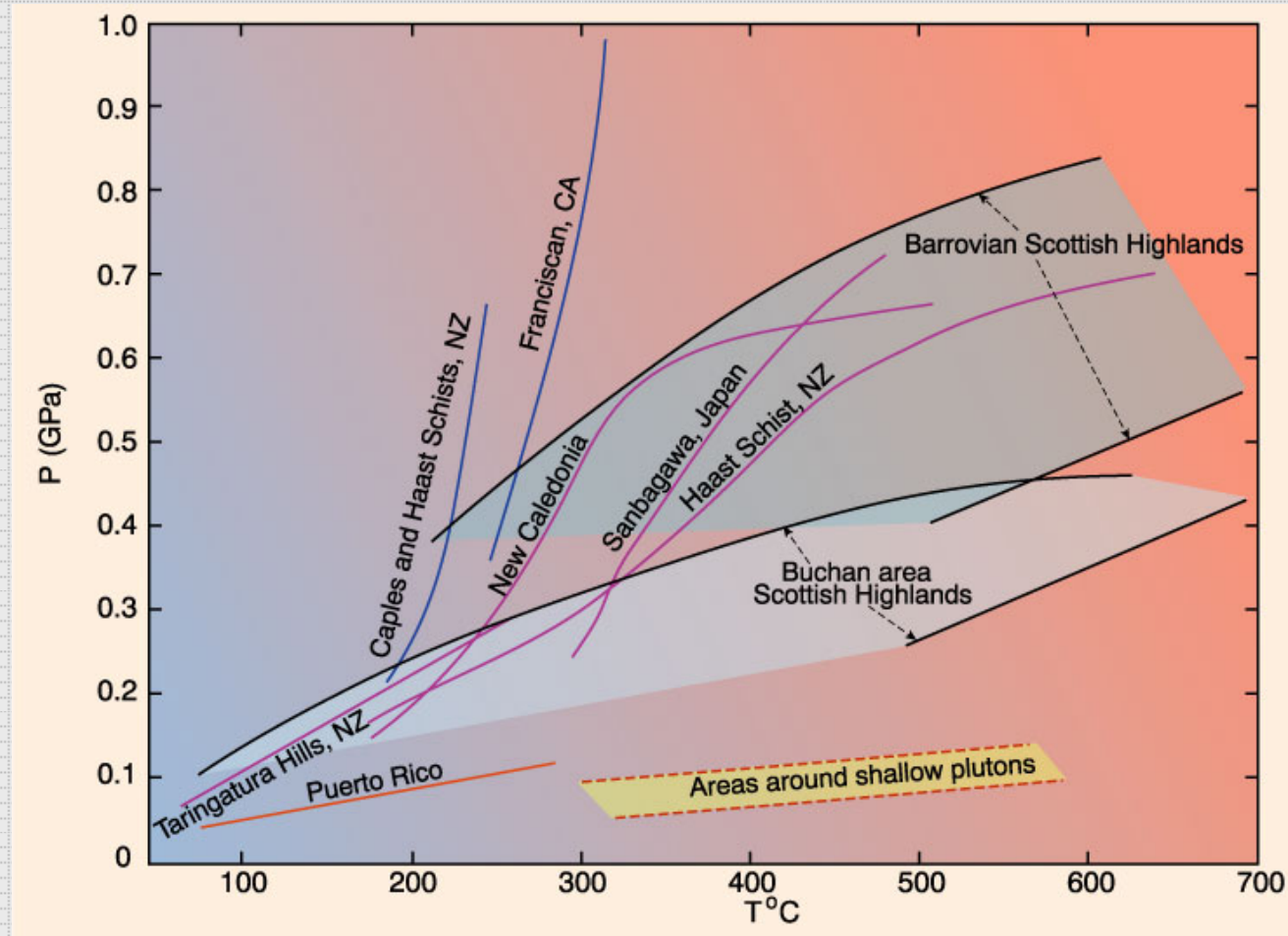
Metamorfni facijesi

Kombinacija koncepta izograda, zona i facijesa:

- Npr.: “kloritna zona facijesa zelenih škriljavaca”, “staurolitna zona amfibolitnog facijesa” ili “kordijeritna zona hornblenda hornfels facijesa” itd.
- Karte metamorfnih terena obično sadrže izograde koje definiraju zone i one koje definiraju granice facijesa
- Rijetko se definira facijes ili zona samo na osnovu jednog tipa stijena već se gleda na više tipova stijena

Serije metamorfnih facijesa

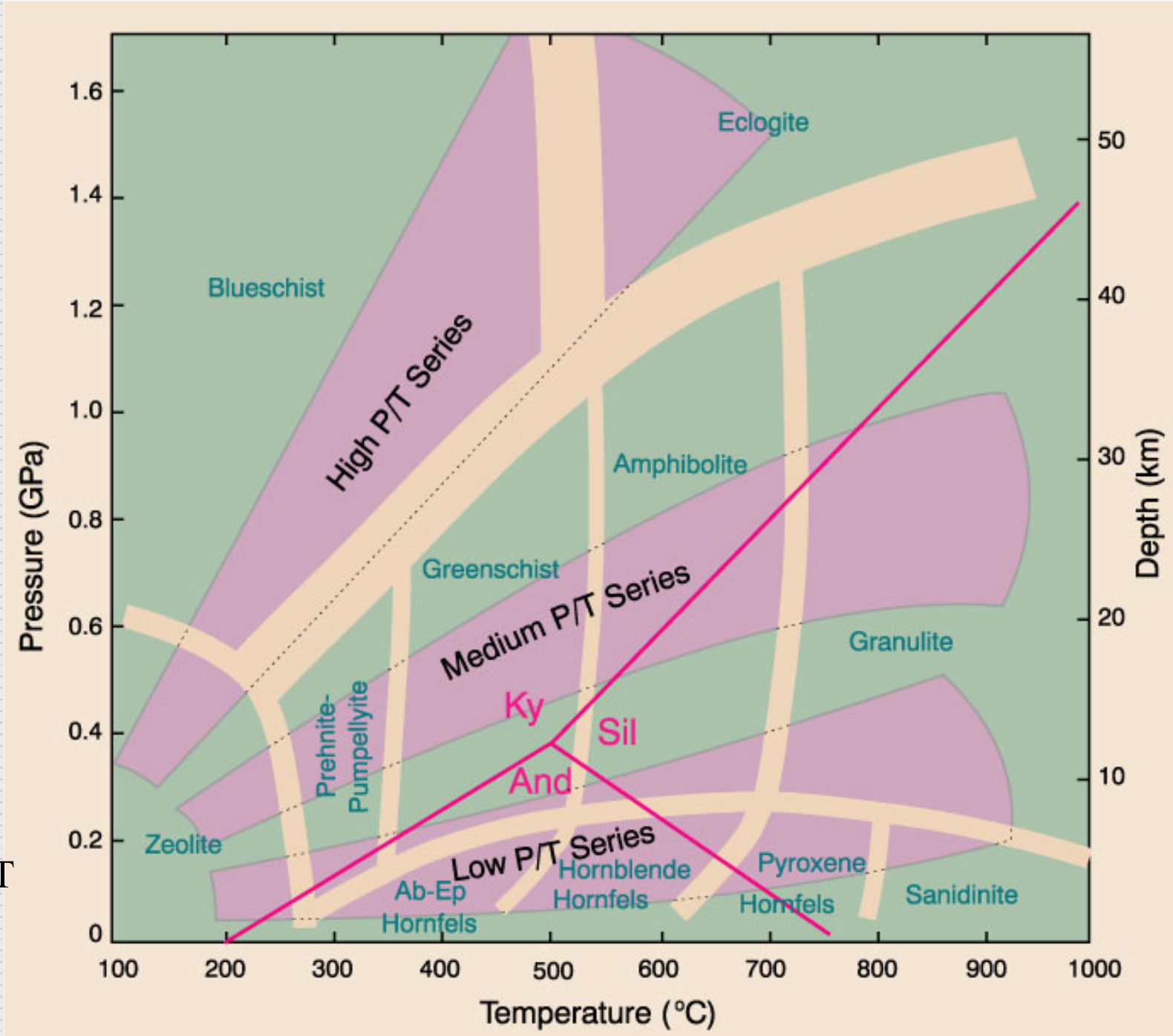
Slika 21-1. Metamorfni gradijenti (metamorphic field gradients) odnosno procijenjeni rastući P-T uvjeti za nekoliko metamorfnih područja. Prema Turner (1981). *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill.



Presjek kroz metamorfni teren koji prati porast uvjeta trebao bi pratiti jedan od nekoliko mogućih gradijenata (**metamorphic field gradients**) - slika 21-1 - i ako se ekstrapolira proći kroz odgovarajući slijed metamorfnih facijesa

Slika 25-3. P-T
dijagram
 pokazuje tri
 osnovna tipa
 serija
 metamorfnih
 facijesa
 predloženih
 prema Miyashiro
 (1973, 1994).
 Winter (2001)
 An Introduction
 to Igneous and
 Metamorphic
 Petrology.
 Prentice Hall.

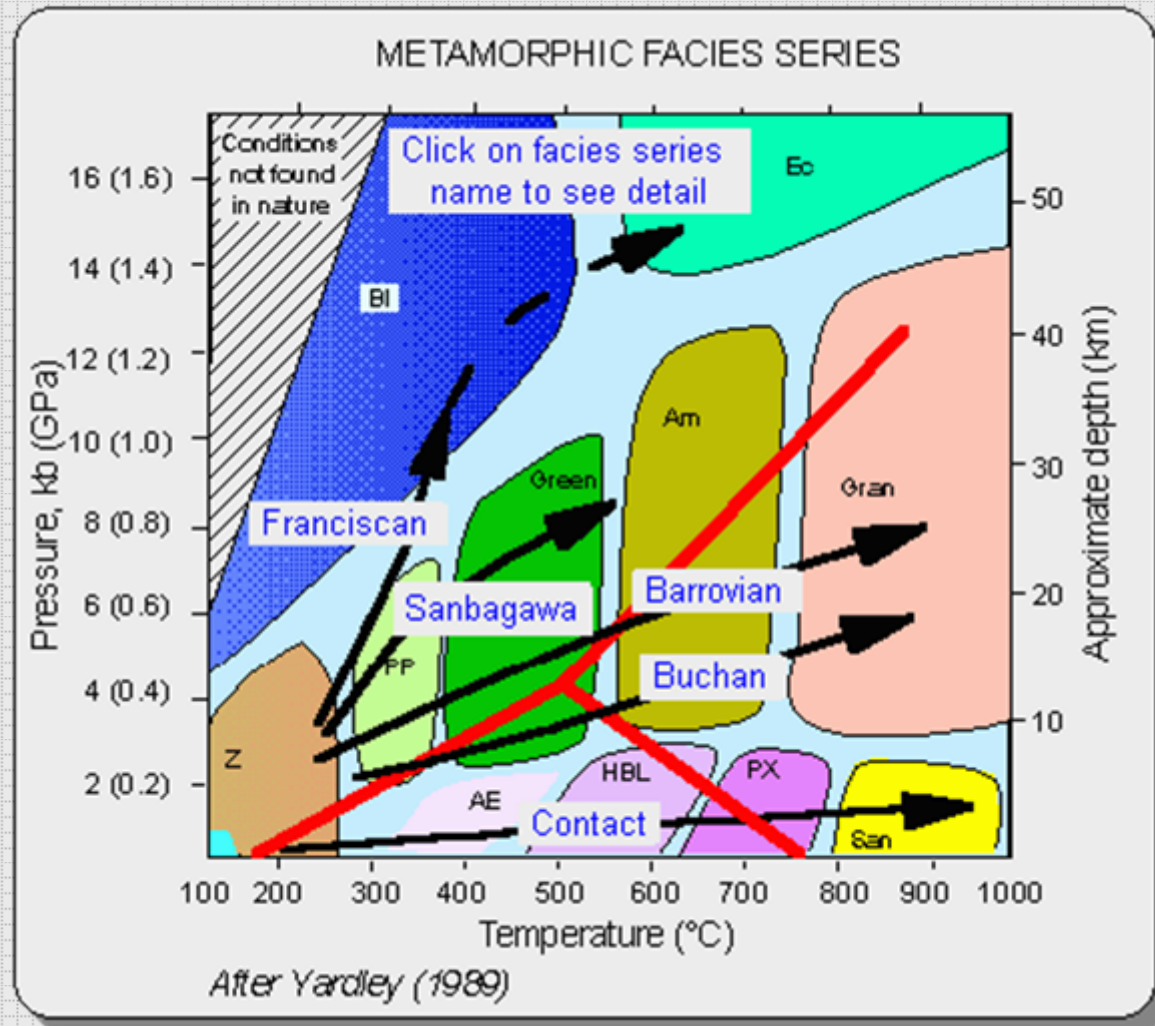
1. high P/T
2. medium P/T
3. low P/T



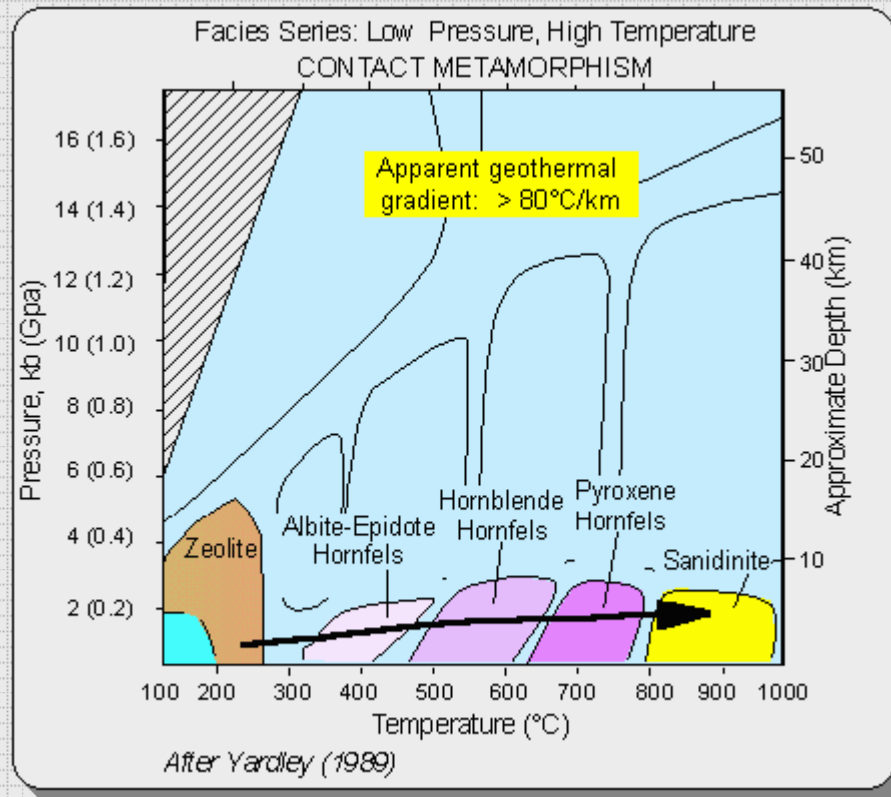
Serije metamorfnih facijesa

- Miyashiro (1961) predložio **pet serija** metamorfnih facijesa nazvanih prema tipskim lokalitetima
 1. Kontaktna serija facijesa (very low-P)
 2. Buchan ili Abukuma serija facijesa (low-P regional)
 3. Barrovian serija facijesa (medium-P regional)
 4. Sanbagawa serija facijesa (high-P, moderate-T)
 5. Franciscan serija facijesa (high-P, low T)

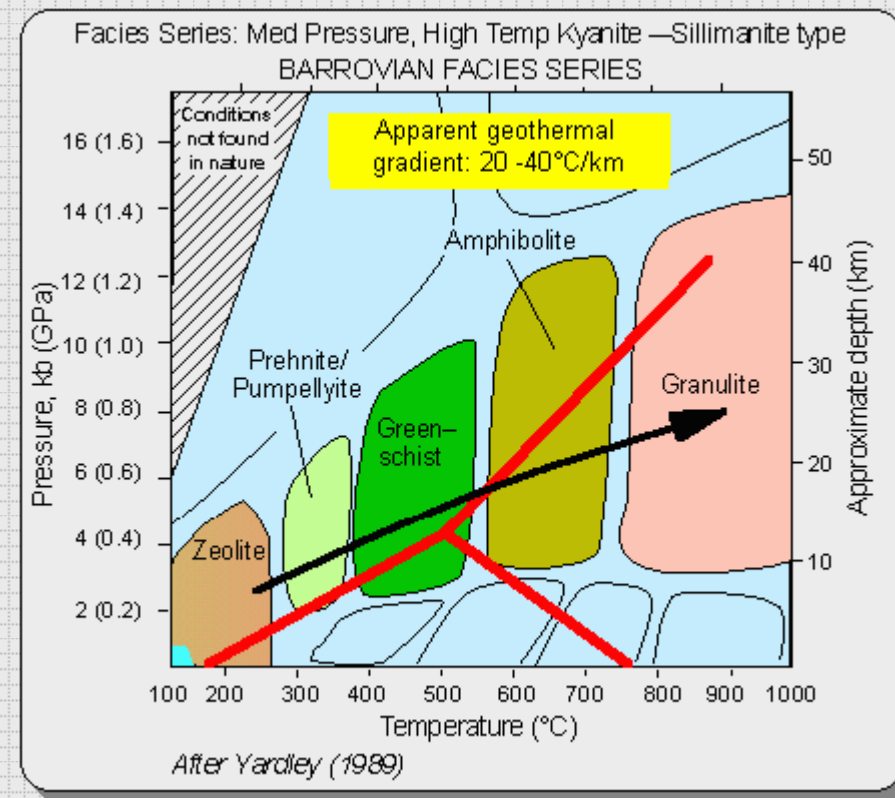
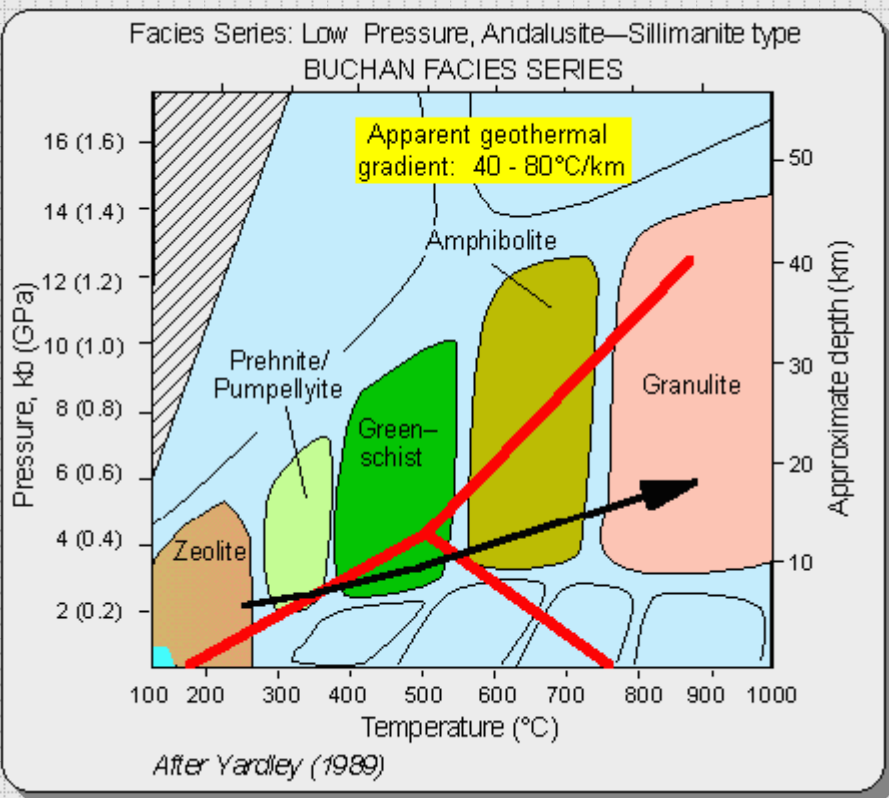
Serije metamorfnih facijesa



Serije metamorfnih facijesa



Serije metamorfnih facijesa



Serije metamorfnih facijesa

