

Metamorfizm I

Def: **Skaly metamorficzne** to skaly powstałe w głębi skorupy ziemskiej w wyniku oddziaływania wysokiego **ciśnienia** i **temperatury**, a niekiedy **czynników chemicznych** na istniejące już skaly magmowe lub osadowe. Przy czym przemiana ta odbywa się w stałym stanie skupienia lub w częściowym przetopieniu.

reakcje mające miejsce podczas przemian metamorficznych mają charakter **odwracalny**.

Gdy metamorfizmowi ulegają:
SKALY MAGMOWE -> przedrostek ORTO np. ortognejsy, ortolupki
SKALY OSADOWE -> przedrostek PARA np. paragnejsy, parolupki

Temperatura

- najefektywniejszy czynnik metamorfizmu,
- skaly zostają poddane oddziaływaniu wyższych temperatur wskutek przemieszczania się w coraz głębsze strefy skorupy ziemskiej,
- Temperatura w tych strefach związana jest z:
 - a) stopniem geotermicznym (ok. 300C) tzw. ciepło endogeniczne,
 - b) dostaniem się w pobliże oddziaływania intruzji magmowych,
 - c) ciepło z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych,
 - d) ciepło związane siłami tarcia przy dyslokacjach,

Fluidy (rozpuszczałniki)

Ziarna mineralne w drobnych porach intergranularnych otoczone są zawsze cieczami. W warunkach wysokiej temp. odznaczają się one dużą aktywnością. Nie jest to czysta woda, lecz zjonizowany roztwór zawierający (OH) i CO₂, a podrzędnie SO₄ i Cl oraz rozmaite kationy.

Ciśnienie

- skaly pogrążające się w głębi ziemi podlegają zwiększającemu się ciśnieniu wywieranemu przez nadległe masy skalne
- Wzrost ciśnienia powoduje zgodnie z zasadami termodynamiki, zagęszczenie materii, czyli zmniejszenie objętości minerałów i skal
- Niektóre minerały w tej sytuacji stają się nietrwałe i zostają zastąpione innymi bardziej trwałymi
- Z obserwacji praktycznych wynika, że wzrost ciśnienia pełni rolę podrzędną w stosunku do wzrostu temp. w proc. met.
- Ciśnienie litostatyczne i stres

Czas

Wszystkie minerały skal metamorficznych są w pełni krystaliczne.
Kryształy rozwinięte w warunkach metamorficznych noszą nazwę **blastów**.

W zależności od zakresu występowania wszystkich tych czynników będziemy mieli do czynienia z różnymi typami metamorfizmu: *termicznym, wysoko-ciśnieniowym, regionalnym (największe znaczenie), dyslokacyjnym, impaktywowym*

Minerały skal magmowych są dwójakiego pochodzenia:

- pochodzące od skal pierwotnych (magmaowych lub osadowych)
- będące produktami metamorfizmu

Wiele minerałów może mieć zarówno jedno jak i drugie pochodzenie.

Zachowanie się minerałów pod wpływem metamorfizmu

- KWARC - zachowuje się bez zmian, *opal* i *chalcedon* przekształcają się w kwarc.
- SKALENIE ALKALICZNE - reprezentowane są głównie przez *nikroklin*.
- LAGIOKLAZY - reprezentowane są głównie przez ogniwa o wyższej zawartości sodu (Na) (*albit, oligoklaz*).
- LAGIOKLAZY ZASADOWE - (zasobne w Ca) ulegają przeobrażeniu w nowe minerały: *zojzyt, klinozojzyt i epidot*.
- MIKI AMFIBOLE I PIROKSENY - zachowują się na ogół bez zmian, choć odmiany ze skal magmowych przechodzą zazwyczaj w odmiany charakterystyczne dla skal metamorficznych.
- Kalcyt.
- MUSKOWIT przechodzi w odmianę drobnoluszczkową *serycyt*.
- AMFIBOLE przechodzą w *aktynolit, tremolit, glaukofan*,
- PIROKSENY - przechodzą w *omfacyt*.

SKALENOIDY, OLIWINY całkowicie rozkładają się na bardzo urozmaicone produkty przemian *serpentyln (antygoryt, chryzotyl)* lub *chloryt*.
MINERAŁY ILASTE - przeobrażają się w *miki*,
GLAUKONIT - przechodzi w różne minerały żelaziste np. *epidot, chloryt*.
WĘGLANY - *syderyt i dolomit* trwale są tylko w płytkich strefach metamorfizmu. W głębszych strefach metamorfizmu zachowuje się tylko *kalcyt*. Aragonit przechodzi w *kalcyt*.
FOSFORANY - przechodzą w *apatyt*.

Minerały poboczne i akcesoryczne skal magmowych (hematyt, piryt, granaty, turmaliny) na ogół pozostają trwałe.
Uwodnione tlenki i wodorotlenki Fe przechodzą w bezwodne tlenki: *hematyt, magnetyt*.
Uwodnione tlenki i wodorotlenki Al, przechodzą w bezwodny tlenek: *korund*.
Siarczany i chlorki nie zachowują się.

Nowe minerały:

MINERAŁ	Pokrój	Twardość	Barwa	Inne
talk	luseczkowy	1	białawy, niebieskawy, zielonkawy	połysk jedwabisty, nieco perłowy, tłusty w dotyku
grafit	luseczkowy	1-2	czarny	połysk tłusty lub metaliczny, brudzi palce, łatwo rozcieralny
antygoryt, chryzotyl	luseczkowy, włuknisty	2-3	zielony (odcienie), zielonkawooliwkowy	skupienia zbite, skupienia żyłkowe, jedwabisto-metaliczny połysk, giętki
epidot		6-7	zielony	
chloryt	luseczkowy	2-3	zielony do czarnego	
dysten	slupkowy1	4-7	niebieskawy	

Metamorfizm II

Skaly Metamorfizmu regionalnego, facje metamorficzne

Def. METAMORFIZM REGIONALNY ma charakter wtórny w stosunku do ruchów górotwórczych i łagodujących, w wyniku których całe połacie wierzchnich warstw skorupy ziemskiej mogą się znaleźć na znacznej głębokości, to jest w warunkach, gdzie panuje wysoka temperatura i ciśnienie, albo tam gdzie zachodzą procesy górotwórcze i działa ciśnienie kierunkowe.

Facja metamorficzna - jest to zakres ciśnień i temperatur, w którym trwale są określone zespoły mineralne. W poszczególnych facjach przemiana skał przebiega z różną intensywnością i powstają rozmaite produkty tej przemiany.

W czasie metamorfizmu w określonych warunkach fizykochemicznych skały o różnych zespołach mineralnych, ale o takim samym składzie chemicznym tworzą skały metamorficzne charakteryzujące się identycznym składem zarówno chemicznym jak i mineralnym. Na przykład czy skałą wyjściową będzie koza czy też granit to produktem finalnym będzie gnejs. Z pojęciem facji związane jest jednocześnie pojęcie minerału wskaźnikowego.

Skały **tylity** powstające w wyniku zmetamorfizowania skał ilastych. Często są podobne do silnie zdiagenezowanych skał ilastych. Struktury łupkowe, bardzo drobnoblastyczne, częste zafałdowania, nierówne powierzchnie oddzielności. Barwy szare, niebieskawe, zielonkawe, brunatnawe. W składzie mineralnym mogą wystąpić: serycyt, chloryt, kwarc, albit, kalcyt.

Łupki - duża grupa skał o strukturze łupkowej, teksturze drobno lub średnioblastycznej, lepidoblastycznej. Obejmuje ona m.in.: *łupki grafitowe, alkowe, chlorytowe, mikowe, serycytowe.*

Łupki grafitowe - powstaje z przeobrażenia skał osadowych bogatych w substancję węglistą lub bituminy. Barwy czarnej, najczęściej niewielkiej czwistości.

Łupki chlorytowe - składa się gł. z chlorytów, co przesądza o barwie szarej do oliwkowej i niewielkiej twardości. Powstają w facji zielenicowej z skał osadowych ilastych.

Łupki mikowe - (fyszczkowy) powstaje w nieco głębszych strefach metamorfizmu niż inne łupki. Gł. składnik to miki, obok których mogą wystąpić kwarc, plagioklasy, chloryty, granaty, magnetyt i inne. W zależności od przeważającego składnika wyróżniamy łupki biotytowe, muskowitzowe. Tekstury lepido i lepido-granoblastyczne.

Łupki serycytowe - ma cechy swego głównego składnika - serycytu. Jeżeli współwystępuje z chlorytem, mówimy o *łupkach serycytowo-chlorytowych.*

Kwarcyty - głównie z przeobrażenia piaskowców kwarcytowych, wykazuje podobieństwo do osadowych piaskowców o spoiwie krzemionkowym. Na skutek rekryształizacji spoiwa są jednak od nich bardziej jednolite, masywne, zbite, szkliste. Poza kwarcem może pojawić się muskowitz, skalenie, granaty. Czasem zaznacza się struktura łupkowa - mówimy wtedy o łupkach kwarcytowych.

Marmury - powstają w wyniku zmetamorfizowania skał węglanowych. Jeśli skałą wyjściową były czyste wapienie to marmury zbudowane są wyłącznie z przekryształizowanego kalcytu. Jeżeli zawierały domieszki (np. min. ilaste), to mogą zawierać miki, chloryty, kwarc, skalenie i inne. Tekstura homeoblastyczna, granoblastyczna, struktura bezładna lub równoległa.

Zielenice - typowi przedstawiciele facji zielenicowej o barwach szaro- lub ciemno zielonych i teksturze najczęściej łupkowej, rzadziej natomiast bezładnej. Składnikami ich są: epidot, chloryt, albit i niekiedy aktynowolit. Pobocznie występują w nich również m.in.: magnetyt, apatyt, tytanit, kwarc, biotyt, kalcyt i dolomit. Charakteryzują się zwykle porfiroblastyczną mikrostrukturą - większe ziarna albitu widoczne są w nich na tle drobnoziarnistej masy chlorytowo-epidotowej z albitem. Zielenice i łupki zielenicowe są produktem metamorfizmu regionalnego zasadowych skał magmowych takich jak bazalty i ich tufy oraz niektórych diabazów wyrzających płytkie intruzje wśród podmorskich wulkanitów. Z powodu niewielkiego stopnia przeobrażenia w zielenicach nawet makroskopowo widoczne są relikty tekstury i struktury skał wylewnych. Niekiedy zielenice tworzą stopniowe przejścia do wyjściowych dla nich wulkanitów.

Granulity - skały kwarcowo-skaleniowe z granatami. Używa się też określeń granulity jasne i ciemne. Granulity jasne przedstawiają skały złożone z kaleni potasowych i plagioklazów. Skalenie potasowe są zazwyczaj drobnoziarniste, rzadziej tworzą porfiroblasty. Plagioklasy są reprezentowane przez oligoklaz zawierający wrostki ortoklazu (antypertyt). Kwarc w większości granulitów tworzy drobne ziarna o nieregularnych kształtach. Skały te stopniowo przechodzą w granulity ciemne, w których zrasta ilość granatu, a obok niego pojawia się augit. Wzrostowi udziału kładników ciemnych odpowiada w skaleniach wyraźna przewaga ilościowa plagioklazów nad skaleniami potasowymi. Granulity są skałami o wysokim stopniu metamorfizmu. Mogą one powstać zarówno ze skał magmowych jak i osadowych.

Serpentyyny - skały o teksturze bezkierunkowej barwy zielonawej, szarobiałej, brunatnej lub czarnej. Zbudowane głównie z minerałów serpentynowych: antygorytu, chryzotyli. Skały te są produktem metamorfizmu regionalnego w warunkach facji zielenicowej takich skał jak: dunity, perydotyty, pikryty i gabroidy. Mogą też powstawać ze skał metamorficznych o odpowiednim dla nich chemizmie np. z amfibolitów. Serpentyyny często zawierają liczne relikty niezmetamorfizowanych utworów wyjściowych. Często obejmują tylko pewne partie masywów ultrazasadowych i zasadowych, dlatego też stosunkowo łatwo można określić, z jakich skał powstały.

Amfibolity - to skały ciemnozielone, ciemnoszare lub czarne odznaczające się drobno- lub średnioziarnistą teksturą. Często ujawniają tekstury kierunkowe, podkreślone ułożonymi słupkami hornblendy. Rzadsze są w nich tekstury bezładne. Mikrotekstury tych skał są zazwyczaj nematoblastyczne. Amfibolity zawierają gł. hornblendę, kwarc oraz czasami sporą ilość plagioklazu. Drugim kryterium ich podziału jest oczywiście foliacja. W plagioklazach dość często widoczne są ziarna epidotu, świadczące o zastępowaniu tych skaleni zespołem albit + epidot. Przeważająca część amfibolitów powstaje podczas przeobrażeń regionalnych w warunkach facji amfibolitowej. Rzadsze skały te powstają w obrębie utworów epizonalnych utworzonych w ramach facji zielenicowej. W takich przypadkach oprócz hornblendy zawierają albit i epidot. Część amfibolitów powstaje w warunkach metamorfizmu kontaktowego w facji hornblendowo-hornfelsowej lub w efekcie retrogresywnych przemian skał o wyższym stopniu metamorfizmu, na przykład eklogitów i granulitów. Amfibolity mogą tworzyć się z utworów magmowych, osadowych oraz wskutek amfibolityzacji innych skał metamorficznych.

Gnejsy - grupa skał niezmiernie zróżnicowaną pod względem mineralnym, a szczególnie teksturalnym. Ich głównymi składnikami są skalenie i kwarc. Skalenie są reprezentowane zarówno przez plagioklasy jak i skalenie potasowe, zazwyczaj mikroklin. Skalenie budujące te skały mają różne rozmiary od małych kryształów po duże, kilkucentymetrowe. Porfiroblasty skaleni mogą mieć charakter reliktowy, tzn. przedstawiać zachowane w pierwotnej formie duże ziarna skaleni magmowych, cechujących się dość prawidłowymi zarysami z nielicznymi tylko wrostkami. Częściej jednak skalenie te wzrastały w czasie procesów metamorficznych kosztem drobnoziarnistej masy skaleniowej. Fyszczki występują w różnych ilościach. Przeważnie mają one postać dość dużych, dobrze rozwiniętych blaszek i są skupione w stosunkowo grubych laminach, lub jako składniki podrzędne - tworzą nieciągłe smugi. Muskowitz obecny jest tylko w gnejsach zmetamorfizowanych w warunkach niższych temperatur. Gnejsy przeobrażone w wysokich zakresach temperatur i ciśnień zawierają tylko biotyt, ponieważ w tych warunkach muskowitz staje się nietrwale, a jego miejsce zajmują sillimanit + ortoklaz. W gnejsach spotyka się chloryt, który zwykle wraz ze spadkiem stopnia metamorfizmu zastępuje biotyt. Często w gnejsach pojawia się też hornblendę. Z minerałów pobocznych powszechne są: cyrkon, apatyt; rzadziej notuje się tytanit i rutyl. Przeważająca część gnejsów powstaje podczas regionalnych przeobrażeń w warunkach facji amfibolitowej. Rzadziej skały te spotyka się w obrębie utworów reprezentujących najwyższy stopień metamorfizmu. Gnejsy mogą powstawać zarówno ze skał osadowych jak i magmowych.

Eklogity - skały złożone z granatów i piroksenów, a z minerałów pobocznych mogą zawierać rutyl i dysten. Tworzą się one ze skał o chemizmie gabrowym w warunkach bardzo wysokich ciśnień. Wskazuje na to skład mineralny: omfacyt, granat, rutyl, dysten. Niektóre z tych skał tzw. eklogity diamentonocne pojawiają się z perydotytami w kominach kimberlitowych. Materiałem wyjściowym dla eklogitów są przeważnie skały magmowe o składzie bazaltowym. Należy jednak przypuszczać, że część z nich może tworzyć się również z sedimentów. Tekstury grano i heteroblastyczne z porfiroblastami granatów większymi od omfacytów.

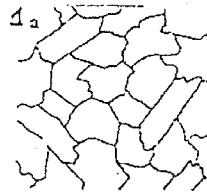
Migmatyty.

Tekstury skał metamorficznych:

I. ze względu na wielkość blastów:

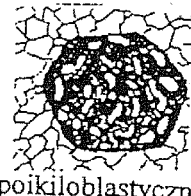
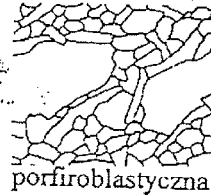
a) homeoblastyczne

- drobnoblastyczne (poniżej 2 mm)
- średnioblastyczne (2-5 mm)
- gruboblastyczne (powyżej 5 mm)



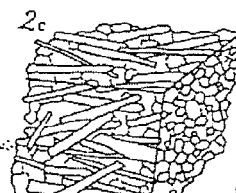
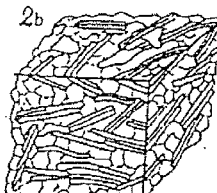
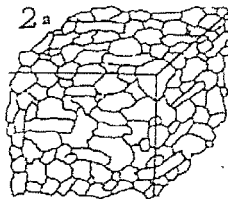
b) heteroblastyczne

- np.
- porfiroblastyczne
 - poikiloblastyczne



II. ze względu na pokrój blastów:

- a) granoblastyczne
- b) lepidoblastyczne
- c) nematoblastyczne



a) granoblastyczna

b) lepidoblastyczna

b) nematoblastyczna

Struktury skał metamorficznych :

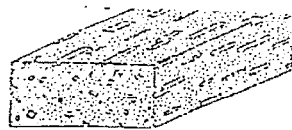
I ze względu na genezę:

- a) pierwotne (reliktowe)
- b) wtórne (metamorficzne)

II ze względu na uporządkowanie

- a) bezładne
- b) uporządkowane (kierunkowe, równoległe)

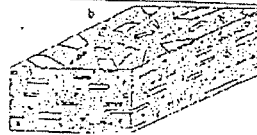
b.1) linijne (lineacja)



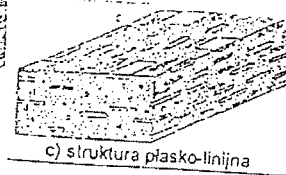
struktura lineacja mineralna

b.2) płaskie (płasko-równoległe, foliacja)

- z ułożenia (łupkowa)



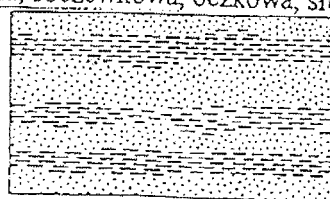
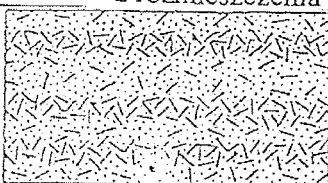
b) struktura płaska (foliacja)



c) struktura płasko-linijna

GNEJSOWA

- z rozmieszczenia (laminowana, soczewkowa, oczkowa, słupkowa)



struktura równoległa pochodząca z rozmieszczenia składników

Tab. 1. Klasyfikacja skał metamorfizmu regionalnego

Strefy metamorfizmu Głębokość Temperatura Ciśnienie	Epi 6-10 km 100-300°C 1600-2700 At	Mezo 10-20 km 300-500°C 2700-5400 At	Kata 20-30 km 500-800°C 5400-10 000 At
Skały pierwotne			
Piaszkowce kwarcowe	kwarcyty, łupki kwarcytowe		
Skały ilaste i mułowce	fyllity	łupki mikowe	granulity
Arkozy i szarogłazy	gnejsy		
Skały magmowe	zieleńce, łupki chlorytowe, łupki serycytowe	amfibolity, eklogity	
Wapienie	serpentynty, łupki talkowe		
	marmury		

Źródło: Z. Kurlenda, 1969: Przewodnik do ćwiczeń geologicznych, UMK, Toruń