

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. S. Staszica w Krakowie**

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki



Instrukcja

SUROWCE MINERALNE

Laboratorium I

**Analiza mikroskopowa
w świetle przechodzącym**

Opracował: mgr inż. Wojciech Panna

1. Cel zajęć laboratoryjnych

- Zapoznanie się z obsługą mikroskopu polaryzacyjnego do badań w świetle przechodzącym.
- Określenie tekstury i struktury analizowanych próbek skalnych.
- Określenie podstawowych własności optycznych faz mineralnych analizowanych obrazów mikroskopowych, takich jak: barwa własna, pleochroizm (wielobarwność), kształt ziaren, łupliwość, relief, barwy interferencyjne, wygaszanie światła, zbliźniczenia, budowa zonalna.

2. Wymagane zagadnienia:

- minerał, ciało krystaliczne, kryształ;
- złoża, urobek, surowce mineralne;
- minerały nieprzezroczyste, kryształy optycznie izotropowe i anizotropowe, dwójłomność;
- budowa mikroskopu polaryzacyjnego, płytki cienkie;
- tekstura, struktura;
- pleochroizm, łupliwość, relief, barwy interferencyjne.

3. Wstęp teoretyczny:

a) Surowce mineralne i ich podstawowe składniki

Nauka o surowcach mineralnych jest podstawą wielu innych dziedzin nauki. Źródła tej nauki wywodzą się z mineralogii, petrografii i geochemii, których podstawową metodą badawczą jest mikroskopia optyczna, a ściślej mówiąc mikroskopia polaryzacyjna. Pozwala ona na identyfikację składników mineralnych badanego surowca, ustalania w nim ilościowych stosunków składników mineralnych, a także służy do pomiaru uziarnienia oraz określenia cech strukturalnych i teksturalnych.

Używając mikroskopu polaryzacyjnego do badań w świetle przechodzącym w kanonie przedmiotu Surowce Mineralne często poruszane będą zagadnienia, których znajomość jest konieczna do sprawnego posługiwania się specjalistyczną terminologią. Niżej wymienione i wyjaśnione zagadnienia są fundamentalne dla dalszej pracy na zajęciach laboratoryjnych. Są to pojęcia takie jak:

- **MINERAŁ** - rodzima faza krystaliczna powstała w wyniku procesów geologicznych lub kosmologicznych i stanowiąca składnik skorupy ziemskiej (nie objęte powyższą definicją składniki Ziemi i innych ciał kosmicznych tj. bezpostaciowe ciała stałe, ciekłe i gazowe, nazywamy *substancjami mineralnymi*).
- **CIAŁO KRYSTALICZNE** to ciało jednorodne i anizotropowe pod względem co najmniej jednej właściwości.
- **KRYSZTAŁ** to takie ciało krystaliczne, które wykazuje prawidłową, wielościenną postać zewnętrzną samorzutnie wykształconą.

- **SKAŁA** – rodzimy utwór wielomineralny, rzadziej monomineralny, powstały w wyniku działania procesów geologicznych lub – szerzej – kosmologicznych i stanowiący geologicznie wyodrębnioną jednostkę strukturalną skorupy ziemskiej.
- **ZŁOŻE KOPALINY** (w skrócie **złoże**) jest to takie naturalne nagromadzenie minerałów, skał oraz innych substancji stałych, gazowych i ciekłych, których wydobywanie może przynieść korzyść gospodarczą.
- **SUROWCE MINERALNE** – urobek górniczy w stanie surowym lub (na ogół) wstępnie przetworzonym w zakładach przeróbki kopalin. Urobek (niesort górniczy) jest przetwarzany, gdyż w większości przypadków nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania.

W analizie mikroskopowej wykonanej przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego do badań w świetle przechodzącym składniki skał w stosunkowo łatwy sposób można szybko zidentyfikować na podstawie charakterystycznych cech optycznych. Większość minerałów skałotwórczych wykazuje takie cechy optyczne jak: barwa własna w płycie cienkiej, relief, pokrój, łupliwość, barwy interferencyjne czy rodzaj zblźniaczeń (Wyszomirski, Galos 2007). Niemniej jednak istnieją również minerały, które są – w obrazach uzyskanych za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego – nieprzeźroczyste.

Minerały nieprzeźroczyste (nieprześwielalne) są to minerały o połysku metalicznym lub półmetalicznym, które z reguły absorbują światło widzialne tak mocno, że w zwyczajnych badaniach mikroskopowo-petrograficznych uchodzą za niewidzialne. Słowo „zwyczajne badania” oznacza tutaj zastosowanie standardowych płytek cienkich o grubości 0,02 mm. Niektóre minerały uznawane za nieprzeźroczyste w znacznie cieńszych płytkach mogą wyraźnie przeświecać różnymi barwami i w intensywnym świetle przechodzącym ujawniać określone reakcje optyczne. Należy jednak nadmienić, że w ogromnej większości skał minerały takie są składnikami akcesorycznymi lub co najwyżej pobocznymi (Borkowska, Smulikowski 1973).

Większość identyfikowanych faz krystalicznych płytki o grubości ok. 0,02 mm jest prześwielalna dla promienia światła spolaryzowanego z zakresu światła widzialnego. Promień świetlny przy przechodzeniu przez fazę krystaliczną może zostać jedynie załamany (prawo Snell’a vel Snelliusa) lub ulega podwójnemu załamaniu światła polegającemu na jednoczesnym załamaniu i rozszczepieniu tego promienia na dwa niezależne, spolaryzowane promienie (prawo Fresnela). Takie zachowanie się promienia świetlnego przy przechodzeniu przez fazy krystaliczne pozwoliło wprowadzić podział na **kryształy optycznie izotropowe i anizotropowe**. W **kryształach optycznie izotropowych** promień światła ulega pojedynczemu załamaniu. Światło rozchodzi się we wszystkich kierunkach z taką samą prędkością, czyli współczynnik załamania światła jest we wszystkich kierunkach taki sam.

Nieco dłuższego omówienia z uwagi na bardziej skomplikowany proces przechodzenia promienia świetlnego przez fazę krystaliczną wymagają **kryształy optycznie anizotropowe**. Należą do nich kryształy krystalizujące w innych układach krystalograficznych aniżeli regularny. Wykazują one w różnych kierunkach odmienne właściwości optyczne. Występuje w nich podwójne załamanie światła tj. rozszczepienie

promienia świetlnego na dwa spolaryzowane promienie. Wśród kryształów optycznie anizotropowych wyróżnia się kryształy:

- **kryształy jednoosiowe** – należą do nich kryształy z układów: trygonalnego, tetragonalnego i heksagonalnego. Padający na nie promień światła – z wyjątkiem jednego kierunku zgodnego z osią krystalograficzną Z – ulega rozszczepieniu na dwa promienie: zwyczajny, o współczynniku załamania światła n_o i nadzwyczajny n_e . Promień zwyczajny rozchodzi się we wszystkich kierunkach z tą samą prędkością, nadzwyczajny zaś ma prędkość zmienną w pewnym zakresie.
- **kryształy dwuosiowe** – należą do nich kryształy z układów: rombowego, jednoskośnego i trójskośnego. Promień światła na nie padający ulega rozszczepieniu na dwa promienie nadzwyczajne, wykazujące zmienną prędkość rozchodzenia się w kryształach i różne współczynniki załamania światła w zależności od kierunku padania promienia świetlnego. Współczynniki załamania światła w kryształach dwuosiowych oznaczamy symbolami n_α , n_β i n_γ .

Ważnym pojęciem odnoszącym się do zdolności rozszczepiania światła przez kryształy anizotropowe jest **dwójłomność**. W kryształach optycznie jednoosiowych jej miarą jest różnica współczynników załamania światła promienia nadzwyczajnego i zwyczajnego: $\Delta = n_e - n_o$, natomiast w kryształach dwuosiowych – różnica skrajnych wartości współczynników załamania światła: $\Delta = n_\gamma - n_\alpha$.

b) Mikroskop polaryzacyjny do badań w świetle przechodzącym

Mikroskopy do badań w świetle przechodzącym są przeznaczone do obserwacji minerałów, skał i surowców, w których większość składników w płycie cienkiej jest przezroczysta lub przejrzysta. Tak jest w przypadku zdecydowanej większości surowców ceramicznych, stąd też do ich badań wykorzystywana jest ta właśnie odmiana mikroskopów polaryzacyjnych. Składają się one z elementów optycznych i mechanicznych.

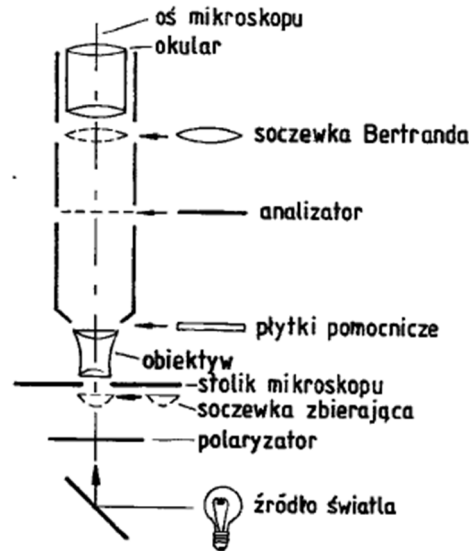
Najważniejszymi zespołami mechanicznymi są:

- **podstawa** - zapewnia mikroskopowi stabilność, najczęściej jest w niej umieszczone urządzenie oświetlające;
- **statyw** - łączy wszystkie części mikroskopu w całość;
- **tubus** - metalowa rura, w której z jednej strony znajduje się gniazdo do zakładania obiektywu lub zespołu obiektywów, a z drugiej strony otwór do wkładania wymiennego okularu;
- **mechanizmy ruchu** - umożliwiają ustawienie ostrości obrazu;
- **stolik przedmiotowy** - okrągły, obrotowy, zwykle z podziałką kątową na obwodzie, umożliwiającą odczyt kątów obrotu stolika.

Do najważniejszych elementów optycznych mikroskopu polaryzacyjnego zalicza się:

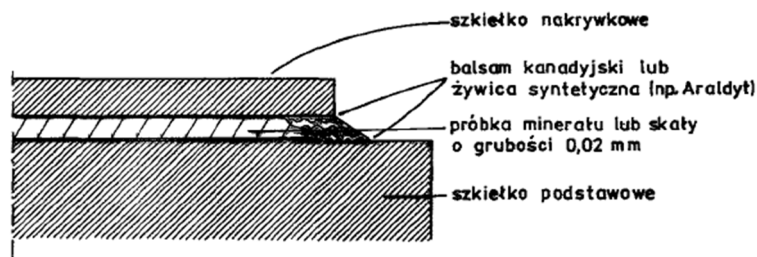
- **obiektyw (obiektywy)** - jest zespołem soczewek, który tworzy powiększony i odwrócony obraz pośredni badanego obiektu, powstający w płaszczyźnie ogniskowej okularu,
- **okular** - powstaje w nim obraz rzeczywisty lub urojony obrazu pośredniego utworzonego przez obiektyw (można to osiągnąć stosując soczewkę skupiającą lub układów o co najmniej dwóch soczewkach).

- **urządzenia oświetlające** – nowoczesne mikroskopy mają zwykle oświetlacze elektryczne umieszczone na stałe w podstawie, ich najważniejszą częścią jest kondensator, czyli zestaw soczewek umieszczonych pod stolikiem mikroskopu.
- **urządzenia polaryzujące światło** - w mikroskopach polaryzacyjnych używane są dwa polaroidy: polaryzator zwykle wbudowany w zespół soczewek kondensora oraz analizator o płaszczyźnie drgań fali zorientowanej prostopadle w stosunku do płaszczyzny drgań w polaryzatorze.



Bieg promienia świetlnego w mikroskopie optycznym do badań w świetle przechodzącym (Wyszomirski, Galos 2007)

W zdecydowanej większości surowców ceramicznych dominującymi fazami mineralnymi są składniki przezroczyste w płycie cienkiej, stąd też do ich analizy wykorzystuje się mikroskop do badań w świetle przechodzącym, a preparatami do nich używanymi są płytki cienkie, które składają się z elementów przedstawionych na rysunku poniżej.



Przekrój przez preparat mikroskopowy do światła przechodzącego (Wyszomirski, Galos 2007).

c) Budowa wewnętrzna skał (struktura i tekstura)

W badaniach petrograficznych bardzo pomocne do identyfikacji oraz odtwarzania genezy skał są informacje na temat ich budowy wewnętrznej określane terminami *struktura i tekstura*.

Pojęcia te zostały zdefiniowane w 1904 r. przez Grubenmann'a, który zdefiniował **strukturę** jako opis wykształcenia składników skały: stopnia ich rozwoju (krystalizacji), wielkości poszczególnych składników oraz stopnia prawidłowości ich wykształcenia. Pod

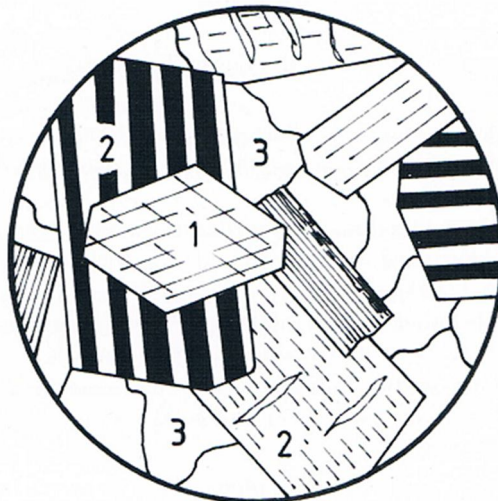
pojęciem **tekstury** kryje się opis wzajemnych relacji przestrzennych pomiędzy elementami budującymi skałę, na który składają się dwa zespoły cech: sposób rozmieszczenia składników oraz ich ułożenia (orientacji), a także stopień wypełnienia przestrzeni przez poszczególne składniki skały. Rzadziej w odniesieniu do mikroskopowych danych o budowie wewnętrznej skał używa się terminu mikrostruktura, nawiązując w ten sposób do wyróżnianych w innych skalach mezo-, makro- i megastruktur.

Charakteryzując cechy strukturalne i teksturalne skał, rozpatruje się wykształcenie poszczególnych budujących je elementów (składników) oraz wzajemne relacje pomiędzy nimi. Do elementów budujących skały zalicza się:

- **składniki mineralne**, krystaliczne, w postaci ziaren różnych minerałów, o zróżnicowanych kształtach, rozmiarach i genezie;
- **szkliwo**, czyli niekrystaliczny, amorficzny, przechłodzony stop;
- **pory**, czyli puste przestrzenie różnego kształtu, wielkości i genezy.

Składniki mineralne rozróżnia się m.in. pod względem stopnia prawidłowego wykształcenia postaci zewnętrznej (formy) wśród minerałów występujących w skałach, w których występują:

- **minerały własnokształtne** – posiadają w pełni wykształconą, wielościenną postać własną (np. tabliczki, blaszki, słupki);
- **minerały półwłasnokształtne** – o kształtach nie zupełnie prawidłowych;
- **minerały obcokształtne** – nie mają właściwej sobie postaci zewnętrznej – przybierają formę nieregularną.



Przykłady wykształcenia ziaren mineralów w skałach magmowych: 1 – własnokształtne (automorficzne, idiomorficzne); 2 – półwłasnokształtne (hipautomorficzne, hipidiomorficzne); 3 – obcokształtne (ksenomorficzne, allotriomorficzne) (Manecki, Muszyński [red.] 2008)

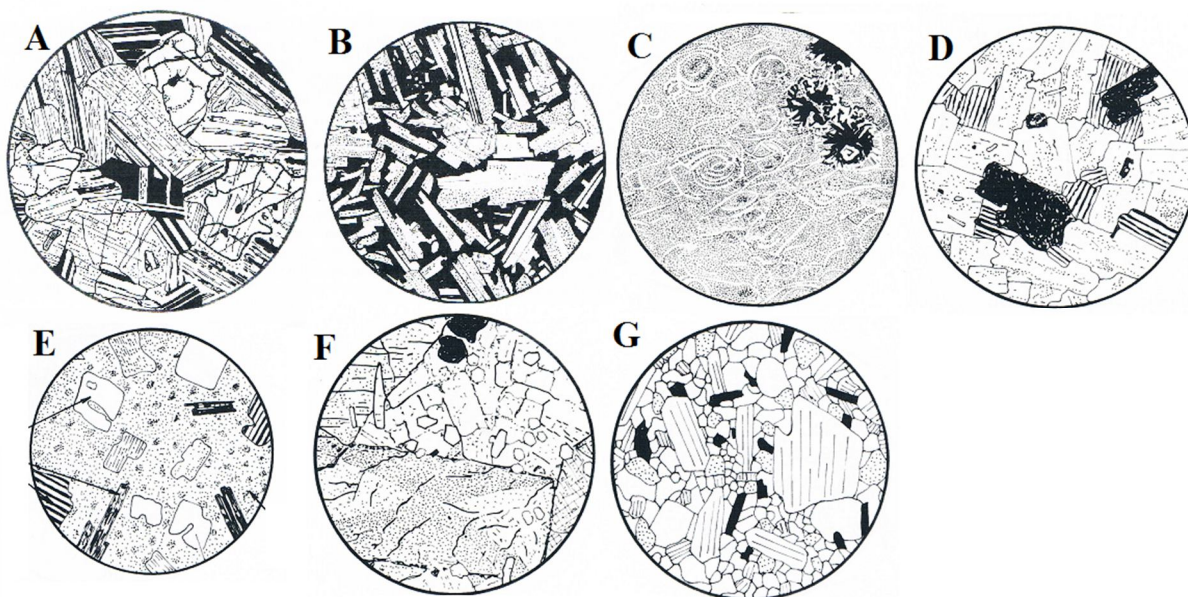
Wyżej wymienione składniki skał wykazują między sobą odpowiednie relacje (ułożenie, sposób rozmieszczenia, orientacji itd.) opisane pojęciami cech strukturalnych i teksturalnych. Prawidłowe określenie tych cech jest przede wszystkim narzędziem służącym do odczytywania genezy skał: śledzenia procesów magmowych, określenia tempa oraz warunków krystalizacji, zasobności w składniki lotne, lepkości i mobilności stopu itd. Rozpoznawanie struktur i tekstur skał jest ważną umiejętnością, którą można nabyć tylko zapoznając się z licznymi preparatami i preparatami mikroskopowymi różnych typów skał. Przy mikroskopowym określaniu struktur i tekstur należy jednak pamiętać, że analizuje się dwuwymiarowy obraz trójwymiarowego obiektu jakim jest skała.

Wybrane struktury skał magmowych wg. odpowiednich klasyfikacji:

- ❖ Typy struktur wyróżniane ze względu na stopień sykrystalizowania magmy (obecność lub brak szkliwa):
 - **struktura pełnokrystaliczna** – skała składa się wyłącznie z ziaren minerałów, brak jest szkliwa (typowa struktura skał głębinowych);
 - **struktura półkrystaliczna** – w skale obecne są zarówno kryształy, jak i szkliwo (charakterystyczna dla skał wylewnych i niektórych subwulkanicznych);
 - **szklista** – skała zbudowana jest ze szkliwa: brak większych ziaren minerałów, mogą natomiast być obecne kryształy, czyli nierozpoznawalne mikroskopowo zarodki kryształów (strukturę tą wykazują niektóre skały wylewne, głównie kwaśne)

- ❖ Typy struktur wyróżniane ze względu na wielkości bezwzględne składników mineralnych:
 - **struktura fanerytowa, (jawnokrystaliczna)** – w której poszczególne minerały można rozpoznać w skale gołym okiem – w jej obrębie wyróżnia się:
 - **strukturę wielokrystaliczną** (ziarna > 30mm),
 - **strukturę grubokrystaliczną** (ziarna 5 – 30 mm),
 - **strukturę średniokrystaliczną** (ziarna 1 – 5 mm),
 - **strukturę drobnokrystaliczną** (ziarna ok. 0,2 – 1 mm);
 - **struktura afanitowa (niewidocznie krystaliczna)** – składniki skały są nierozpoznawalne gołym okiem nieuzbrojonym – którą dzieli się na:
 - **strukturę mikrokrytaliczną** (ok. 0,01 – ok. 0,2 mm),
 - **strukturę kryptokrystaliczną** (< ok.0,01 mm).

- ❖ Typy struktur wyróżniane ze względu na wielkości względne składników mineralnych:
 - **struktura równokrystaliczna** – ziarna wszystkich minerałów budujących skałę mają w przybliżeniu jednakową wielkość (występuje najczęściej w skałach głębinowych);
 - **struktura nierównokrystaliczna (heterogranularna)** – w skale występują ziarna minerałów różniące się rozmiarami (może świadczyć o niestabilności warunków krystalizacji bądź wieloetapowości tego procesu) – z podziałem na:
 - **struktury porfirowe** – w skale obecne są dwie frakcje składników: większe, widoczne niejednokrotnie gołym okiem kryształy oraz skrytokrystaliczna, niekiedy półkrystaliczna lub wręcz szklista masa tworząca tzw. ciasto skalne (struktury typowe dla skał wylewnych i subwulkanicznych);
 - **struktura porfirowata** – stanowi odmiarę struktury pełnokrystalicznej, w której na tle nierównoziarnistej, od drobno- do średniokrystalicznej masy jeden ze składników wyróżnia się większymi rozmiarami ziaren;
 - **struktura seryjna** – pełnokrystaliczna skała składająca się z ziaren minerałów o bardzo zróżnicowanych rozmiarach, od drobnych do grubych.



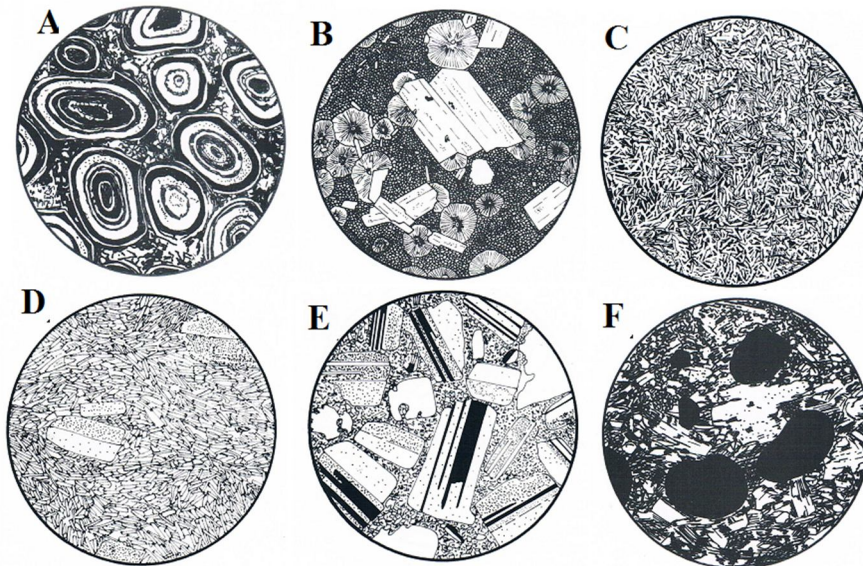
Struktury skał magmowych: A – struktura pełnokrystaliczna gabra oliwinowego, polaryzatory X; B – struktura półkrystaliczna bazaltu, polaryzatory X; C – struktura szklista obsydianu, jeden polaryzator; D – struktura równoziarnista syenitu, polaryzatory X; E – struktura nierównoziarnista: porfirowa ryolitu, polaryzatory X; F – struktura nierównoziarnista: porfirowata syenitu nefelinowego, polaryzatory X; G – struktura nierównoziarnista: seryjna tanalitu, jeden polaryzator; (Maneck, Muszyński [red.] 2008)

Wybrane tekstury skał magmowych, wg odpowiednich klasyfikacji:

- ❖ Typy tekstur wyróżniane ze względu na rozmieszczenie składników w przestrzeni:
 - **tekstura jednorodna** – składniki skały rozmieszczone są równomiernie: brak przestrzennego zróżnicowania składu mineralnego i/lub tekstury;
 - **tekstura niejednorodna** – składniki skały rozmieszczone są nierównomiernie: skupiają się w różnego kształtu formy różniące się składem mineralnym i/lub strukturą – w jej obrębie wyróżnia się:
 - **tekstury centryczne** – składniki skupiają się w sferyczne formy dookoła pewnych miejsc (centrów) w skale – w tym:
 - **kulistą** – w skale obecne są kuliste lub eliptyczne formy, składające się z koncentrycznych pasm różniących się składem mineralnym i/lub strukturą;
 - **sferolitową** – minerały o pokroju igielkowym lub włóknistym tworzą skupienia radialne, promieniście wyrastające z centrów krystalizacji;
 - **teksturę linearną** – w skale obecne są wydłużone formy wyróżniające się odmiennym składem mineralnym i/lub strukturą;
 - **tekstury warstwowe (planarne)** – skały zbudowane są z płaskich form (warstw, pasm) różniących się składem mineralnym i/lub strukturą.

- ❖ Typy tekstur wyróżniane ze względu na ułożenie składników w przestrzeni:
 - **tekstura bezładna** – brak orientacji minerałów o pokrojach podłużnych (słupkowy, pręcikowy, igielkowy, listewkowy, włóknisty) lub płaskich (tabliczkowy, płytkowy, blaszkowy); ich ułożenie w skale jest chaotyczne;
 - **tekstura kierunkowa** – minerały o pokrojach podłużnych lub płaskich są ułożone względem siebie w sposób zorientowany.

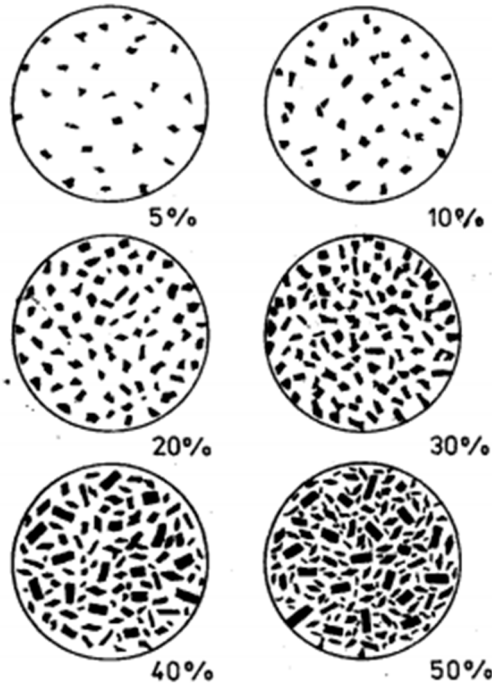
- ❖ Typy tekstur wyróżniane ze względu na stopień wypełnienia przestrzeni przez poszczególne składniki w skale:
 - **tekstura zbita (zwięzła)** – skała nie zawiera porów: minerały (ewentualnie szklivo) całkowicie wypełniają przestrzeń;
 - **tekstura porowata** – w skale pomiędzy składnikami mineralnymi lub w szklivo obecne są puste przestrzenie.



Tekstury skał magmowych: A – tekstura kulista granitu, obraz makroskopowy; B – tekstura sferolitowa ryolitu, jeden polaryzator; C – tekstura bezładna bazaltu, jeden polaryzator; D – tekstura kierunkowa (fluidalna) trachitu, polaryzatory X; E – tekstura zbita ryolitu, polaryzatory X; F – tekstura porowata (pęcherzykowa) bazaltu, polaryzatory X (Maneck, Muszyński [red.] 2008)

d) Badania mikroskopowe minerałów w świetle przechodzącym

Główną analizą wykonywaną przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego do badań w świetle przechodzącym jest analiza jakościowa. Która zostanie w dalszej części skryptu szerzej omówiona. Należy jednak nadmienić, że możliwe jest także ustalenie ilościowego składu mineralnego. Do orientacyjnej oceny ilościowej, szczególnie w przypadku faz wyraźnie odróżniających się od innych, korzysta się z tabel oceny wizualnej. Niemniej jednak są to tylko szacunkowe wyniki. Dokładne wyniki osiąga się za pomocą analizy planimetrycznej, która jest wspomagana techniką komputerową.



Skala wizualnej oceny udziału faz mineralnych metodą mikroskopową (Terry, Chillingier 1955 *fide* Wyszomirski, Galos 2007)

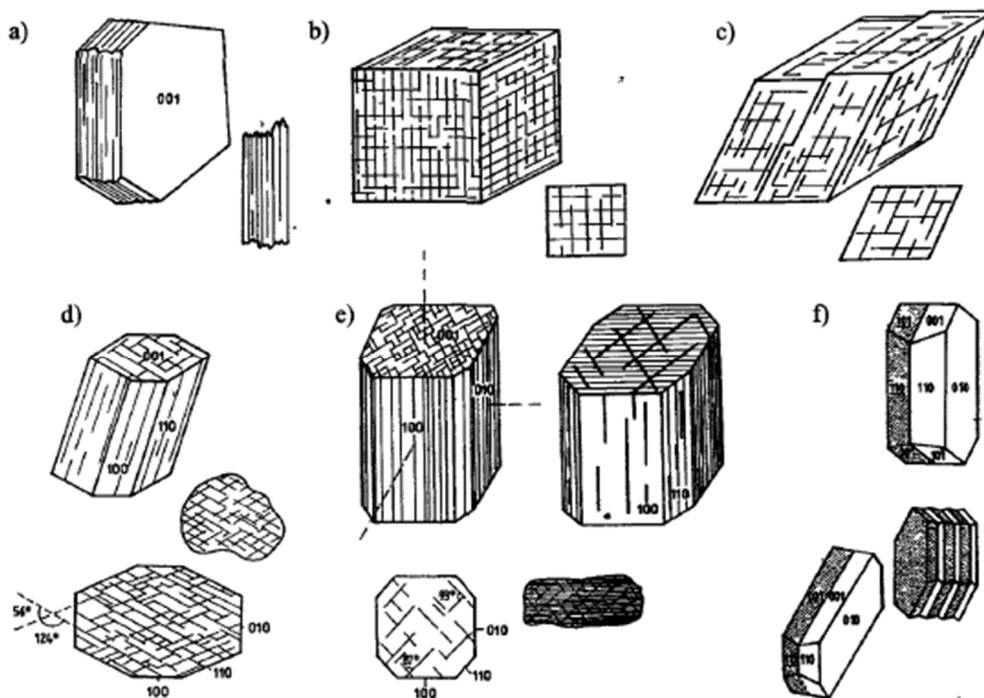
- **Badania mikroskopowe przy jednym polaroidzie**

W rutynowych badaniach mikroskopowych płytek cienkich w świetle przechodzącym określone są następujące cechy:

- ✓ obserwacja kształtu i wielkości ziaren mineralnych, kątów między ścianami i krawędziami kryształów, kątów między śladami płaszczyzn łupliwości;
- ✓ określenie barwy własnej minerału w płytce cienkiej;
- ✓ badanie obecności i charakteru pleochroizmu;
- ✓ określenie reliefu ziaren mineralnych i oceny wartości współczynników załamania światła.

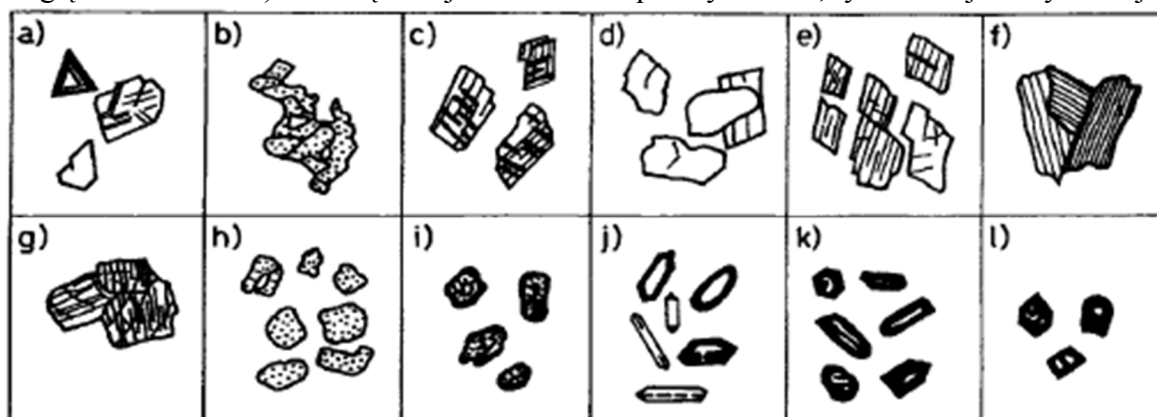
Barwa własna badanego minerału w płytce cienkiej może być bardzo zróżnicowana — od przezroczystej poprzez słabą, aż po intensywną. Kryształy niektórych minerałów wykazują **pleochroizm**, polegający na zmianie intensywności lub odcienia barwy tego kryształu w płytce cienkiej podczas obrotu preparatu. Zjawisko to jest wynikiem zdolności niektórych kryształów anizotropowych do odmiennego absorbowania światła o różnej długości fali w zależności od kierunku jego rozchodzenia się i od kierunku jego drgań. W kryształach jednoosiowych mogą być obserwowane dwie charakterystyczne barwy pleochroiczne, a w kryształach dwuosiowych - trzy takie barwy.

Jedną z cech minerałów obserwowaną mikro-, lub makroskopowo jest **łupliwość**. W mineralogii jest to zdolność minerału do pęknięcia i podziałów wzdłuż określonych kierunków zwanych płaszczyznami łupliwości pod wpływem uderzenia lub nacisku. Liczba kierunków łupliwości oraz kątów, które one tworzą jest zmienna, ale stała dla wszystkich osobników tego samego rodzaju minerału.



Łupliwość (a-e) i zblizniaczenia (f) w kryształach w obserwacjach makro- i mikroskopowych: a - jednosystemowa (miki), b - dwusystemowa (ortogonalna - halit), c - dwusystemowa (diagonalna - minerały węglanowe), d - dwusystemowa (diagonalna - amfibole), e - dwusystemowa i trójsystemowa (diagonalna - pirokseny), f - zblizniaczenia minerałów (Pichler, Schmitt-Riegraf 1987 fide Wyszomirski, Galos 2007)

Przy badaniu kryształów przy jednym polaroidzie można określić także ich względny lub bezwzględny współczynnik załamania światła, przejawiający się m.in. tzw. **reliefem**. W preparatach mikroskopowych kryształy zanurzone są zazwyczaj w balsamie kanadyjskim o współczynniku załamania światła $n = 1,545$. Kryształy wykazujące zdecydowanie wyższy od niego współczynnik załamania światła mają wyraźny relief dodatni, tj. ich powierzchnia sprawia wrażenie wypukłej względem otoczenia. Gdy natomiast kryształ ma współczynnik załamania światła niższy aniżeli balsam kanadyjski, to ujawnia on relief ujemny (wklęsły względem otoczenia). Im większa jest różnica współczynników, tym relief jest wyraźniejszy.



Relief (wzrastający od a do l) niektórych minerałów obserwowany na kontakcie z balsamem kanadyjskim: a - fluoryt, b - opal, c - mikroklin, d - kwarc, e - anortyt, f - muskowit, g - piroksen, h - oliwin, i - granat, j - cyrkon, k - rutyl, l - kasyteryt (Bolewski, Żabiński [red.] 1988 fide Wyszomirski, Galos 2007)

- **Badania mikroskopowe przy polaroidach skrzyżowanych**

W badaniach w świetle przechodzącym przy skrzyżowanych polaroidach określa się przede wszystkim charakter badanego kryształu - izotropowy czy anizotropowy;

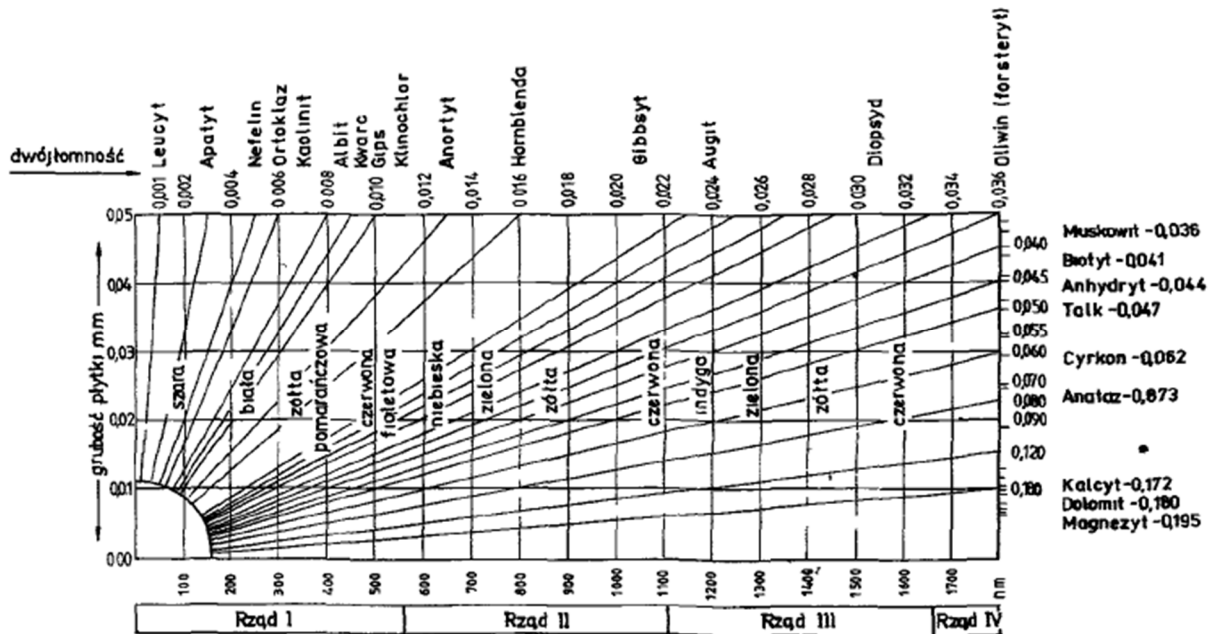
- w przypadku kryształów anizotropowych:
 - rodzaj barwy interferencyjnej,
 - kąt znikania (ściemniania) światła,
 - obecność lub brak zblźniaczeń oraz - jeśli one występują - ich charakter.

Pole widzenia (bez preparatu mikroskopowego) przy skrzyżowanych polaroidach jest ciemne. Podobny obraz obserwuje się dla ciał optycznie izotropowych oraz w badaniach ciał optycznie anizotropowych, w przypadku gdy wiązka światła przechodzi równolegle do ich osi optycznej. We wszystkich innych przypadkach kryształy optycznie anizotropowe, obserwowane przy skrzyżowanych polaroidach, ulegają przy obrocie o 360° czterokrotnemu rozjaśnieniu, wykazując odpowiednią barwę interferencyjną oraz czterokrotnemu ciemnieniu.

Barwy interferencyjne przy polaroidach skrzyżowanych wykazują wyłącznie kryształy optycznie anizotropowe. Jakość tych barw jest uzależniona od następujących czynników:

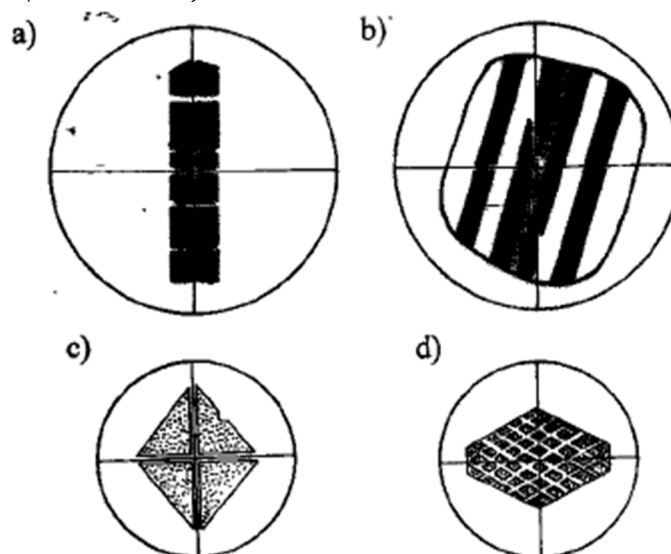
- dwójłomności (tj. maksymalnej różnicy współczynników załamania światła),
- kierunku przecięcia kryształu,
- grubości preparatu.

Barwy interferencyjne wykazują cykle zwane rzędami barw interferencyjnych. Pierwszy rząd stanowią barwy powstające na skutek różnicy dróg optycznych nieprzekraczającej 550 μm . W kolejności są to barwy: staloszara, szara, biała, żółta, pomarańczowa i czerwona pierwszego rzędu. Drugi rząd barw interferencyjnych występuje przy różnicy dróg optycznych 550-1100 μm ; w kolejności są to barwy: niebieska, zielona, żółta i czerwona. W trzecim rzędzie (1100-1650 μm) reprezentowane są te same barwy, choć już wyraźnie słabiej nasycone, a więc pastelowe. Barwy interferencyjne w sąsiedztwie granicy między barwami pierwszego i drugiego rzędu ostro odcinają się od siebie. Stąd są one nazywane żywymi barwami interferencyjnymi.



Kolejność barw interferencyjnych klina kwarcowego (diagram Michel Levy'ego) między skrzyżowanymi polaroidami w świetle białym

Jeśli okular mikroskopu jest wyposażony w krzyż nitkowy ustawiony zgodnie z kierunkami drgań skrzyżowanych polaroidów, to kąt, jaki tworzy ten krzyż z widocznym kierunkiem krystalograficznym (np. zarys kryształu, ślady płaszczyzn zbliźniaczeń), określa się jako **kąt znikania (ściemniania) światła**.



Znikanie światła: a – proste, b – skośne (na przykładzie zbliźniaczenia wielokrotnego), c, d – symetryczne (Bolewski i in. 1990 fide Wyszomirski, Galos 2007)

Zbliźniaczenia (zrosty bliźniacze) obserwowane są najczęściej wśród skałeni, co ułatwia identyfikację poszczególnych ich odmian. Charakterystyczne są zwłaszcza wielokrotne zbliźniaczenia plagioklazów. Zbliźniaczenia podwójne i wielokrotne (polisynteryczne) są także częste m.in. w piroksenach czy amfibolach, a wielokrotne - w minerałach węglanowych, np. w kalcycie.

4. Literatura:

- Bolewski A, Kubisz J., Manecki A., Żabiński W., 1990 – Mineralogia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- Bolewski A., Żabiński W. [red.], 1988, Metody badań minerałów i skał. Wyd. Geol., Warszawa.
- Borkowska M., Smulikowski K., 1973 – Minerale skałotwórcze. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Manecki A., Muszyński M. [red.], 2008 – Przewodnik do petrografii. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Pichler H., Schmitt-Rieraf C., 1987 – Gesteinbildende Minerale in Dünnschliff. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Wyszomirski P., Galos K., 2007 – Surowce mineralne i chemiczne przemysłu ceramicznego. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.

5. Przebieg zajęć laboratoryjnych

Część A: Budowa wewnętrzna skał

1. Na podstawie obrazów mikroskopowych płytek cienkich wytypowanych przez prowadzącego określić:
 - wykształcenie postaci zewnętrznej minerałów które wchodzi w skład analizowanej skały (minerały: własnokształtne, półwłasnokształtne, ksenomorficzne);
 - czy w obserwowanej skale występują inne elementy budujące skałę oprócz elementów mineralnych?
2. W oparciu o przedstawione w instrukcji szkice, a także opisy struktur i tekstur przypisać odpowiednie ich nazwy. Wytypowane określenia wpisać w tabelę:

Nazwa próbki	Struktura	Tekstura

3. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji (w pkt. 2) opisz przypuszczalną genezę powstawania analizowanych skał. Jaki wpływ na strukturę miały warunki krystalizacji poszczególnych minerałów? Czy kinetyka procesu tworzenia się skał ma wpływ na ich strukturę i teksturę?

Część B: Badania mikroskopowe minerałów w świetle przechodzącym

- a) Określenie cech optycznych minerałów na podstawie badań mikroskopowych. Podczas pracy mikroskopu w trybie z jednym polaroidem określ: kształt (pokrój ziaren), łupliwość, barwę własną, pleochroizm, relief.
- a) Podczas pracy mikroskopu w trybie dwóch, skrzyżowanych polaroidów określ: barwy interferencyjne, wygaszenie światła (minerał izotropowy, proste, skośne, faliste), rodzaj zbliźniaczenia lub czy występuje budowa zonalna.

Wyniki przedstaw za pomocą tabeli:

Cecha/minerał				
Kształt				
Łupliwość				
Barwa własna				
Pleochroizm				
Relief				
Barwy interf.				
Wygaszenie światła				
Zbliżniaczenia				

6. Na podstawie barw interferencyjnych zaobserwowanych podczas obserwacji wybranego minerału i tablicy Levy'ego oszacuj dwójłomność analizowanego minerału.
7. Oszacuj wielkości ziaren mineralnych, kątów między ścianami i krawędziami kryształów (wchodzących w skład zaproponowanych przez prowadzącego płytek cienkich) oraz kątów między śladami płaszczyzn łupliwości.

Część C: Samodzielny opis preparatów mikroskopowych.

1. Sporządź opis dwóch wybranych preparatów mikroskopowych, na przykładzie wykonanych ćwiczeń (A1, A2, B1) z rozdziału 4.