

METODY PRACY I RACJONALIZACJA

JULIAN TOKARSKI

ANALIZA MIKROSKOPOWA NA USŁUGACH GEOLOGII

Dokumentami, którymi zajmują się geolodzy we wszelkiego rodzaju pracach, są skały. Każdy okruch skalny posiada w swej budowie zarejestrowaną wystarczającą sumę cech, które dokumentują jego genezę. Rzecz jasna, iż kwestia odczytania tych dokumentów jest sprawą odpowiedniej metody badań.

Wiadomo, że w badaniu skały posługujemy się całym zespołem środków, np. chemicznych, mechanicznych oraz mikroskopowych itp. Do tych środków przybyły obecnie dalsze metody w rodzaju mikroskopu elektronowego, przede wszystkim zaś promieni Roentgena, przenikających najgłębiej strukturę minerałów tworzących skałę.

Odczytanie dokumentów skalnych z punktu widzenia genetyczno-historycznego nie jest sprawą prostą. Należy pamiętać również i o tym, że zagadnienia geologii tak wyolbrzymiały, iż analiza jednego okazu czy nawet kilku z danej serii skalnej już nie wystarcza, a ich opis, nawet drobiazgowy, najczęściej nie ma znaczenia.

Petrografię ubiegłych lat zastępuje ostatnio inny rodzaj badań, które obecnie nazywamy petrologicznymi. Wprowadzam do terminologii geologicznej nowy wyraz pod nazwą „mikrogeologia“, tzn. wszelkiego rodzaju postępowanie analityczne w badaniu treści serii skalnych w celu rozwiązywania zagadnień geologicznych. Ponieważ tak pojęta praca badawcza zo-

stała ogromnie rozszerzona, należy tak opracować jej metody, by w regionalnym ujęciu dojść do wyników możliwie szybko, nie tracąc jednakże nic z dokładności. Metodologicznie znaczy to, iż przy próbach rozwiązywania zagadnień mikrogeologicznych należy wybrać takie postępowanie analityczne, które by w wynikach było związane funkcyjnie z innymi. Gdy tak pojęta funkcja zostanie odnaleziona już na wstępie, stosujemy do badań w najidealniejszym przypadku jedną metodę. Przy takim postawieniu sprawy badań dokumentów skalnych pozwalam sobie zwrócić szczególną uwagę na jedną metodę, która jest w szerokich kołach geologów niestety zapomniana. Jest to tak zwana analiza mikroskopowa skał. Posługuje się nią prawie wyłącznie mineralog i petrograf przy studium elementów powłoki ziemskiej.

Mikroskop polaryzacyjny, skonstruowany w końcu XIX wieku, został wprowadzony zrazu do badania skał na tle tzw. szlifów, czyli preparatów sporządzanych z cienkich (w granicach 25—30 mikronów) płytek, zamkniętych zazwyczaj w balsamie kanadyjskim między dwoma szkiełkami. W polu widzenia tego mikroskopu światło spolaryzowane, wytworzone pryzmatem Nicola, oświetla badany preparat promieniami, których elementy drgają w równoległych płaszczyznach. Na takie właśnie światło reagują różne sieci przestrzenne minerałów obecnych w preparacie w róż-

ny sposób, a tak charakterystycznie, że rozpoznanie ich w takim oświetleniu nie przedstawia dla badacza zbyt wielkich trudności.

W ten sposób staje się mikroskop polaryzacyjny doskonałym środkiem analitycznym w badaniach jakościowych każdej materii złożonej z elementów fazy stałej.

Pomocą w analizie mikroskopowej staje się również fakt, iż w tego rodzaju badaniach posługujemy się jednocześnie powiększeniem, które w nowoczesnych aparatach bez najmniejszych trudności może osiągnąć wielokrotność powyżej tysiąca.

Wzrokowe różnicowanie elementów skalnych powstaje przede wszystkim na skutek różnic w ich „gestości optycznej“, wywołujących pewne charakterystyczne zjawiska natury barwnej (barwy polaryzacyjne).

Pomocniczym zjawiskiem występującym w świetle spolaryzowanym jest również kierunkowe różnicowanie wektorów optycznych, wywołujących przy obrocie preparatów umieszczonych na stoliku mikroskopowym w polu widzenia charakterystyczne a łatwe do uchwycenia zmiany w zachowaniu się zwłaszcza ciał krystalicznych pewnego typu.

W oparciu o dokładną znajomość tzw. optyki kryształów współczesny petrograf, posługujący się mikroskopem polaryzacyjnym, potrafi łatwo i szybko zorientować się w jakości składników tworzących skałę.

Kryształy, obok innych stałych fizycznych, cechują również stałe optyczne, jak współczynnik załamania światła, siła dwojkości, kąt osi optycznych itp. Stałe te można zazwyczaj bez trudności zmierzyć w omawianym aparacie polaryzacyjnym, co daje również możliwość odkrywania nowych elementów, wykazujących odmienne stałe optyczne w porównaniu z innymi już rozpoznanymi gatunkami.

Optyczna analiza jakościowa sięga tu dalej, a w diagnostyce ciał stałych działa dużo szybciej od zwykłej analizy chemicznej. Wymienimy jeden przykład. Przypuśćmy, że oddano nam do zbadania surowiec siarczanowy w formie okazów gipsu. W przemyśle nie jest obojętne, czy surowiec ten będzie składał się z czystego gipsu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) czy też będzie zawierał również domieszki w postaci anhydrytu (CaSO_4). Prawie każdy surowiec tego rodzaju zawiera również pewien procent zanieczyszczeń w postaci domieszek najczęściej ilastych. Gdyby nie było tych domieszek, oznaczenie analityczne zawartości wody dałoby wskazówkę o procentowej zawartości gipsu w surowcu. Jednakże domieszki ilaste również zawierają wodę, która uchodzi w znacznej ilości w tej samej temperaturze, w jakiej gips traci swą jedną czy też półtorę drobinę wody. Wnioskowanie więc o zawartości gipsu w surowcu z ilości wody uchwyczonej analitycznie jest utrudnione i może prowadzić do poważnych błędów w jego ocenianiu.

Tymczasem sproszkowana drobna ilość nadesłanej do analizy próbki, oglądana w preparacie mikroskopowym momentalnie i z największą łatwością pozwala stwierdzić, czy obok gipsu znajduje się również domieszka anhydrytu, tak bardzo bowiem odmiennie są reakcje świetlne tych dwóch minerałów w mikroskopie polaryzacyjnym. O ile więc posiadamy dostateczną znajomość cech optycznych elementów mineralnych, możemy z łatwością zbadać surowce mineralne w mikroskopie polaryzacyjnym na jakość lub „czystość“, bez jakichkolwiek zabiegów chemicznych. Fakty te są doskonale znane petrografom, a tego rodzaju prace analityczno-mikroskopowe są ich codziennym chlebem.

Niestety zauważyłem w mej długoletniej praktyce, w której miałem kontakty z przemysłem nieorganicznym, iż zostały one rychło zapomniane przez chemików opuszczających nasze wyższe uczelnie. Mineralogia jest wprawdzie przedmiotem nawet obowiązkowym i egzaminacyjnym w tych uczelniach, ale była zawsze i jest traktowana jako coś zgoła ubocznego. Gdy studium właściwej analizy chemicznej poświęca

się wiele godzin ćwiczeń i prac, studium mineralogii obejmuje, zwłaszcza w ćwiczeniach, tak małą ilość czasu i jest prowadzone najczęściej tak niedbale oraz bez właściwego planu, iż nic dziwnego, że młody magister, inżynier, nawet doktor chemii rychło o nim zapomina i w praktyce nie ma możliwości stosowania metod mineralogicznych, o których tak mało go informowano.

Optyka kryształów, której znajomość jest potężnym środkiem rozpoznawczym, nie jest studium łatwym. Wymaga ona dokładnej znajomości zasad fizyki, zwłaszcza jej części optycznej, ciepłoty oraz wprawy w precyzyjnym stosowaniu aparatu polaryzacyjnego.

Współczesna analiza mikroskopowa sięga już metodycznie znacznie głębiej w badaniu ciał stałych, gdyż daje możliwość ilościowego badania materiału. Z chwilą gdy preparowanie płytek skalnych zostało znacznie udoskonalone, gdy uzyskuje się odpowiednio preparaty wykonane masowo z pomocą maszyn szlifierskich w niespełną godzinę i to bez względu na stan skupienia skały — metody optyczne sięgnęły dalej. Dziś możemy określić już szybko i dokładnie ilościowy skład mineralny materiałów skalnych lub surowców. Stosuje się przy tych badaniach tzw. metody planimetryczne.

Planimetr mikroskopowy to okular aparatu zaopartony w siatkę o kwadratowych oczkach bądź też w podziałkę wygrawerowaną na jego osi symetrii.

Zasada planimetryczna jest następująca. W szlifie skalnym tak cienkim, iż światło przechodzi prawie przez wszystkie jego składniki (minerały), widać wyraźnie w polu widzenia, zwłaszcza przy użyciu światła spolaryzowanego, różne elementy mineralne oraz ich granice oddzielające dane jednostki od innych. Widać jakby piękną mozaikę złożoną z wyraźnie, ostró odgraniczonych od siebie, różnie zabarwionych składników. Grubość ich przy dobrym sporządzeniu preparatu powinny być w całym szlifie mniej więcej te same.

Stolik mikroskopu, obracalny precyzyjnie dokoła osi optycznej aparatu, posiada dwie śruby mikrometryczne, pozwalające przesunąć preparat w polu widzenia w dowolnych kierunkach. Śruby są umieszczone dokładnie tak, iż w utrwalonym położeniu stolika mikroskopowego preparat może przesunąć się w dwóch kierunkach pod kątem prostym. Jeżeli naregulujemy stolik mikroskopu tak, by przesuwanie preparatu śrubą mikrometryczną odbywało się dokładnie po linii podziałki planimetru, oraz jeżeli badany preparat jest nam jakościowo znany, tzn. jego elementy składowe zostały uprzednio jakościowo rozpoznane, tok analizy ilościowej jest następujący: przesuwamy preparat odpowiednią śrubą mikrometryczną tak, by minerały wędrowały wzdłuż podziałki okularu. Podczas tego odmierzamy podziałką przypadkowe przekroje, które znalazły się na linii podziałki. Wypisawszy uprzednio nazwy minerałów, odnotowujemy obok nich sukcesywnie liczby odpowiadające zmierzonym przypadkowym przekrojom różnych minerałów.

Oczywista, że przy tych pomiarach odmierzone przekroje tych samych minerałów będą różne, zależnie od przypadkowego umiejscowienia przekroju danego minerału w polu widzenia. Innymi słowy każdy ze składników raz da przekrój większy, raz mniejszy.

Jeżeli ilość pomiarów, którymi należy objąć cały preparat, będzie wystarczająca — każdy minerał, biorąc statystycznie, odda tutaj po obliczeniu liniowym nie tylko swoją średnią wielkość, lecz w sumie i procent swej zawartości. Wielkości te będą zarazem funkcją jego powierzchni.

Przy założeniu jednolitej grubości preparatu powyższe obliczenia oddadzą statystycznie wiernie objętości dostrzeżonych minerałów.

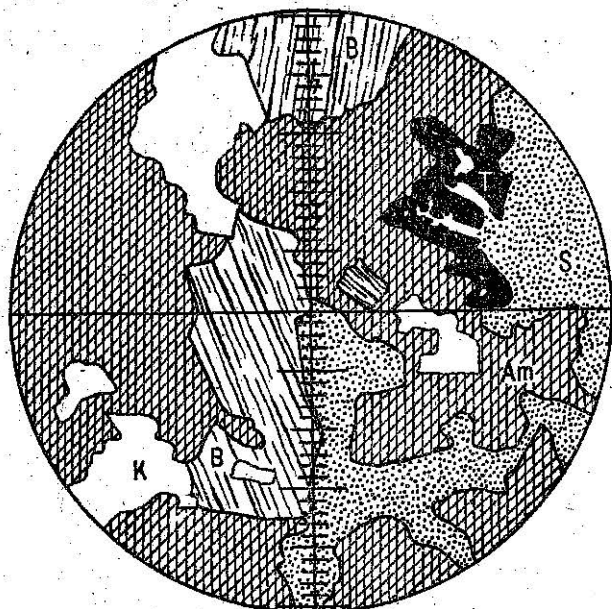
Przy znajomości ciężarów właściwych poznanych minerałów można łatwo przejść do obliczeń wagowych i podać wyniki w odpowiednich procentach. Ostateczne wyniki tego rodzaju badań ilustrują ilościowy skład

mineralny badanej skały. Zamieszczona rycina 1 przedstawia schematycznie obraz szlifów skalnego z nałożoną podziałką planimetryczną.

Początkowo wprowadzana do badań ilościowych składu mineralnego opisana wyżej metoda planimetryczna była o tyle niepewna, iż zrazu nie rozstrzygnięto zasadniczo ważnego tutaj zagadnienia. Zagadnienie

równaniu z chemiczną nigdy nie wykaże identycznych liczb dlatego, że pierwsza oddaje w wynikach pierwotny stan skały, gdy natomiast druga uwzględnia procesy wtórne (wietrzenie), niejednokrotnie wprowadzające głębokie a ukryte przed mikroskopem różnice w składzie materiału.

Porównywując cytowane wyżej oba rodzaje analiz granitu tatrzańskiego, stwierdzamy na podstawie dużego ich podobieństwa, iż skała ta nie była nadwreżona wietrzeniem.



Ryc. 1

to wiązało się z odpowiedzią na pytanie, ile przekrojów mineralnych obecnych w szlifie należy zmierzyć oraz ile szlifów z danego okazu skały należy splanimetrować, by wyniki planimetryczne podawały istotny skład badanego materiału. Rozwiązaniem tego zagadnienia nie zajmowano się początkowo badaj dlatego, że badania planimetryczne miały na celu bardziej ogólne przydzielenie danej skały do grup systematycznych bądź też orientację w wartości kamieni. W przypadkach takich badań wystarczało użycie metody planimetrycznej nawet niezbyt dokładnej.

Zagadnienie granic ścisłości tej metody zostało rozwiązane z inicjatywy autora przy sposobności pracy nad trzonem krystalicznym Tatr, która wymagała większej ilości analiz chemicznych tamtejszego granitu. Mając do dyspozycji dziesięć precyzyjnych chemicznych analiz różnych gatunków tej skały, wykonano na tle ich próbek równoległe badania ilościowe planimetryczne z pomocą wyżej opisanej metody. Gdy głównie składniki mineralne skały (kwarc, bioty, plagioklasy, ortoklasy) oraz inne, obecne w małej ilości były już poprzednio rozpoznane pod względem chemicznym, można było przejść od wyników planimetrycznych do obliczeń składu chemicznego skały.

Pracę tę wykonała na zlecenie autora ówczesna asystentka Katedry Petrografii M. Turnau, ustalając przy tym następujące prawidłó dotyczące badań planimetrycznych.

Jeżeli z danego okazu skały splanimetruje się trzy szlify, mierząc na każdym równomiernie 300 ziarn, to średnie wyniki obliczeń planimetrycznych przeliczone na skład chemiczny skały zbliżają się wystarczająco dokładnie do wyników normalnej analizy (1% błędu).

Z dziesięciu przeprowadzonych w ten sposób analiz porównawczych przytaczam poniżej z cytowanej pracy M. Turnau*) jedną, dotyczącą granitu z Granatów w Tatrach.

Jest rzeczą jasną, że analiza planimetryczna w po-

Tabela I

Składniki	Analiza planimetryczna	Analiza chemiczna
SiO ₂	70,30%	70,92%
TiO ₂	0,30	0,22
Al ₂ O ₃	16,42	16,27
Fe ₂ O ₃	0,16	0,54
FeO	1,37	1,22
MnO	0,03	0,02
MgO	0,83	0,69
CaO	2,86	3,10
Na ₂ O	4,31	4,97
K ₂ O	2,44	1,69
Na ₂ O + K ₂ O	6,75	6,66

Wymieniona wyżej reguła, podana przez M. Turnau, nie była jednakże uniwersalna, tzn. dotyczyła wyłącznie takich skał jak granit tatrzański (zwany dziś tatrzytem), o średniej wielkości ziarna 0,5 mm. Gdy ziarno skalne jest grubsze, należy podwyższyć ilość szlifów planimetrycznych ziarn. Gdy skała posiada zbyt duże ziarno (np. wielkość kilku cm) metoda planimetryczna okazuje się nieekonomiczna. Można bowiem wykazać rachunkiem, że ilość szlifów wzrosłaby logarytmicznie tak bardzo, iż czas planimetrycznej analizy byłby dłuższy od czasu analizy chemicznej.

Powstało tedy nowe zagadnienie dotyczące wyszukania metody planimetrycznej uniwersalnej, która pozwalałaby na określenie składu chemicznego badanego materiału bez względu na jego strukturę, w czasie zbliżonym do zużytego przy normalnej analizie planimetrycznej. Czas ten został eksperymentalnie ustalony na około 1 godzinę planimetrycznej analizy jednego szlif, co dawało w rezultacie przy 3 szlifach 3, godziny, a łącznie z przygotowaniem szlifów oraz obliczeniem — około 5 godzin.

Wykonanie zaś chemicznej analizy tej samej skały przez sprawnego analityka rozporządzającego wszystkimi środkami zajmuje najmniej 11 dni (oznaczenie ilościowe 15 składników).

Opracowaniem zagadnienia uniwersalnej metody planimetrycznej zajął się również autor, rozwiązując je pozytywnie przez ustalenie nowej metody zwanej przez niego metodą planimetryczno-proszkową.

Założeniem przy takiej metodzie było następujące rozumowanie. Petrograf pragnący poddać jakąkolwiek skałę analizie chemicznej przystępuje najpierw do pobrania z niej średniej próbki wg ustalonych norm. Próbkę taką po dokładnym sproszkowaniu i to w ten sposób, by uzyskany materiał nawet w małej ilości (kilka gramów) odpowiadał składem mineralnym całej badanej skały, poddaje się następnie analizie chemicznej według przepisów chemii analitycznej.

Stosując zasadę nowej metody planimetrycznej autor oparł się na analizie mikroskopowej średniej próbki sproszkowanej, przygotowanej do analizy chemicznej.

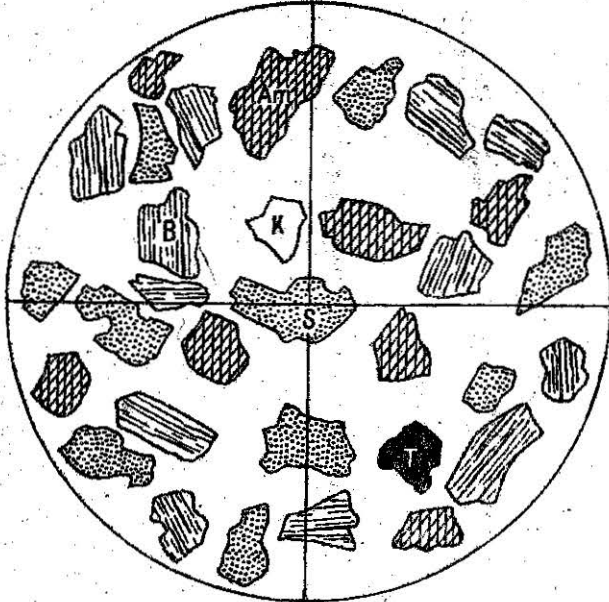
Przed analizą poddaje się uzyskany na drodze mechanicznej proszek przesiewaniu przez skład sit o drobnych wymiarach. Praktyka wykazała, iż najodpowiedniejsze są tu sита o 900, 4 900 i 10 000 oczek na cm². Tą drogą otrzymuje się trzy frakcje proszku, których wielkość ziarna waha się w następujących granicach:

- I frakcja 0,2 — 0,088 mm
- II frakcja 0,088 — 0,06 mm
- III frakcja poniżej 0,06 mm

* M. Turnau. Uwagi o geometrycznej metodzie analizy. *Bull. Int. de l'Acad. Pol. Kraków 1933 (po niemiecku).*

Z frakcji tych wykonuje się starannie preparaty mikroskopowe przez zanurzenie proszku najczęściej w balsamie kanadyjskim (odpowiednio spreparowana żywica sosny *Pinus canadensis*) o współczynniku załamania światła $\pm 1,54$.

Obraz mikroskopowy takich preparatów jest prosty (ryc. 2). Najczęściej proszek skalny przedstawia skałę całkowicie mechanicznie zdesintegrowaną, tzn. rozbitą na luźne okruchy jednorodnych, różnych minerałów. Jeżeli pierwsza frakcja — zależnie od natury skały — daje ziarno nadmiernie niezdesintegrowane, postępujemy się przy analizie frakcją drugą albo trzecią.



Ryc. 2

Wielkości poszczególnych minerałów w tak sporządzonym preparacie wahają się tutaj w granicach oczek dwóch sit, są zatem różne; można jednak przyjąć statystycznie, iż nie mierząc ziarna w mikroskopie — jak przy analizie liniowej planimetrycznej — lecz odliczając różne minerały w odpowiedniej ilości, na pewno liczymy średnio tyle razy większe ziarna, ile razy mniejsze. Tą drogą, jak to wykazuje rachunek prawdopodobieństwa, przy odliczaniu ilości ziarn różnych składników mineralnych, poznawalnych w mikroskopie, możemy przyjąć, że wszystkie one są tej samej średniej wielkości. Gdy ilość odliczonych ziarn w preparatach mikroskopowych będzie właściwa, uzyskujemy już przez proste odliczanie różnych składników dokładne, ilościowe zobrazowanie składu mineralnego skały.

Taki rachunek daje możność obliczenia w procentach ilości wszystkich składników badanej skały. Ponieważ przy uwzględnieniu zasad statystyki liczyliśmy ilość średniej wielkości ziarn, ich sumy dadzą nam również i wolumetryczne zobrazowanie składu mineralnego.

Przy znajomości ciężarów właściwych badanych składników skalnych łatwo przedstawić wyniki analizy proszkowej w procentach wagowych, a stąd przejść już bezpośrednio do przedstawienia składu chemicznego skały.

Sprawa ilości koniecznych odliczeń ziarn skalnych zamkniętych w preparatach została rozwiązana przez autora eksperymentalnie w sposób następujący.

Odlicza się w preparacie np. 100 różnych ziarn, zapisując dokładnie ilości różnych składników (minerałów). Następnie odlicza się dalszą setkę. Porównując uzyskane ilości odliczonych minerałów, orientujemy się w podobieństwie uzyskanych liczb. Z uzyskanych odliczeń dwóch setek oblicza się średnie wartości

poszczególnych minerałów. Do tak otrzymanych wyników dodaje się liczby uzyskane z wyliczeń trzeciej setki itd. Analizę kończymy wówczas, gdy następną setka dodana do poprzednich nie zmienia już wyników.

Praktyka wykazała przy wielokrotnie powtórzonych analizach, że — podobnie jak w analizie planimetrycznej normalnej (liniowej) — odliczenie 300 ziarn wystarcza w zupełności do uzyskania poprawnych wyników, pod warunkiem możliwie dokładnego wymieszania proszku skalnego, przygotowanego do analizy planimetrycznej.

Kontrola wymieszania w gotowym już preparacie może być łatwo przeprowadzona w sposób następujący: okular mikroskopu polaryzacyjnego (petrograficznego) jest zapatrzono zazwyczaj w krzyż sporządzony z nitk pajęczych, który dzieli pole widzenia na cztery ćwiartki. Jeżeli proszek skalny zawierał jakiś minerał charakterystyczny, np. o wyróżniającej się barwie, to przy dokładnym wymieszaniu proszku we wszystkich ćwiartkach pola widzenia preparatu przesuwanego dla kontroli pod okularem zjawiają się podobne ilości ziarn owego minerału, np. trzy, dwa, cztery itd.

Jeżeli okaże się, iż minerał wymieniony jako wskaźnik zjawi się w ćwiartkach pół w ilościach bardzo nierównych (np. 0,13, 5,0, 0) — oznacza to, że preparat jest źle sporządzony.

Przy rozkruszaniu skały w celu przygotowania preparatu mikroskopowego różnice w kruchości pojedynczych minerałów mogą wywołać poważne błędy. Stwierdzono w badaniach eksperymentalnych, iż kwarc i skałki, chociaż pierwszy z nich nie okazuje w najmniejszym stopniu łupliwości, drugi zaś — doskonale w dwóch kierunkach — rozpadają się przy wspólnej desintegracji na jednakowe ilości okruchów. Natomiast biotyt, zawsze rozwinięty tabliczkowo, o doskonalej jednokierunkowej łupliwości, rozpada się w tych warunkach na blisko podwójną ilość blaszek.

Chcąc więc przedstawić drogą analizy proszkowej rzeczywisty skład mineralny granitu, w którym występują wymienione wyżej trzy minerały, uwzględnic należy po dokonanych odliczeniach przy obliczeniu procentu biotyту współczynnik 1,85, czyli podzielić ilości odliczonego w mikroskopie biotyту przez współczynnik 1,85.

Poprawność wymienionej analizy proszkowej została udowodniona w dwojaki sposób. W pierwszych stadiach pracy analizowano mieszanki złożone z dokładnie odważonych, różnych ilości minerałów. Użytkano tutaj błędy rzadko dochodzące do 1%. W dalszych badaniach przyjęto jako sprawdzian analizę chemiczną jednego z granitów, który okazał się skałą świeżą, nienaruszoną wietrzeniem. Był nim granit z Ośnicka na Wołyniu (USRR). Zamieszczone w tab. II trzy szeregi liczb, uzyskane drogą rzeczywistej analizy chemicznej skały, analizy planimetrycznej oraz proszkowej, wykazują podobieństwo nie mniejsze niż uzyskiwane przy stosowaniu dwukrotnej analizy chemicznej tego samego materiału.

Jak widać z przytoczonych liczb, wyniki analizy proszkowej są bardziej zbliżone do analizy chemicznej, niż wyniki otrzymane z przeliczeń planimetru liniowego. Staże się to zrozumiałe, gdy zważy się, iż do planimetrowania liniowego użyto trzech szlifów, w których ilość substancji mierzonych nie przekraczała 1 g. Z tego efektywnie poddano pomiarom napewno nie więcej niż trzecią część, wystarczającą do oddania składu mineralnego skały, zatem około 0,3 g. Przy analizie proszkowej natomiast poddano analizie mieszankę (dokładnie ujednostajnioną) w ilości około 100 g, zamykając w odpowiednich preparatach nieduże wprawdzie ilości ziarn (kilka tysięcy), jednakże w składzie tym samym co całość próbek.

Największe różnice między analizami planimetrycznymi a analizą chemiczną wystąpiły w procentach alkaliów. Petrograf musi położyć o zjawisko na karb wtórnych zmian w obrębie analizowanych skałeni, wywołanych drogą wietrzenia.

Tabela II

Składniki	Analiza (% wagowo)		
	chemiczna	plan-liniowa	plan. proszk.
SiO ₂	75,07	76,64	75,21
TiO ₂	0,30	0,10	0,09
Al ₂ O ₃	14,09	12,46	13,52
Fe ₂ O ₃	0,38	0,12	0,11
FeO	0,87	0,81	0,76
CaO	1,31	0,75	0,98
MgO	0,44	0,34	0,32
K ₂ O	4,06	3,57	4,94
Na ₂ O	3,07	3,01	3,88
H ₂ O	0,41	0,21	0,19

Za pomocą opisanej metody wykonano w ciągu ostatnich 20 lat wiele analiz i to na różnych materiałach, z natury rzeczy na skałach różnego typu. Stwierdzono tutaj następujące fakty:

1. Frakcja najdrobniejsza, poniżej 0,06 mm nie nadaje się w całości do pomiarów mikroskopowych ze względu na to, iż zawiera nadmierne ilości subtelnego pyłu nie uchwytanego w toku analizy mikroskopowej. Frakcja ta jednak teoretycznie jest najkorzystniejsza, gdyż drobne jej ziarno jest najlepiej zdesintegrowane w znaczeniu wyżej opisanym. W mikroskopie polaryzacyjnym można jeszcze przy nabyciu pewnej wprawy odróżnić składniki mineralne posiadające nawet 3 mikrony średnicy, naturalnie używając odpowiedniego powiększenia. Przy rozkruszeniu skały należy wobec tego dążyć, by nie tworzyło się zbyt dużo pyłu zamużającego obrazy mikroskopowe.

2. Dotychczasowe badania wykazały również, że przy ostrożnym przesiewaniu przez wszystkie sита przechodzą składniki mineralne w jednakowych stosunkach ilościowych, odpowiadających takimże stosunkom w samej skale. Wydaje się to może dziwne, fakt ten został jednak stwierdzony osobnymi analizami chemicznymi, których wyniki nie różniły się dla trzech uzyskiwanych frakcji.

3. Źródłem błędów jest subiektywność jest indywidualność badacza. Badania moje wykazały, iż niektórzy praktykanci uczą się metody proszkowej szybko, wykonując poruczone analizy z doskonałym wynikiem. Niewątpliwie przyczynia się do tego ich sumienność, a przede wszystkim cierpliwość. Niektórym brak tej cierpliwości i dlatego stale robią błędy.

Tak tedy w badaniach petrograficznych, a także wszędzie tam, gdzie chodzi o ilościowe rozpoznanie mieszaniny ciał stałych, można z dużym powodzeniem stosować opisaną metodę*. Oczywiście koniecznym warunkiem pozytywnych wyników jest znajomość optyki kryształów oraz umiejętność operowania mikroskopem polaryzacyjnym, tego zaś powinny nauczyć studia mineralogiczne w szkołach wyższych.

Analiza planimetryczna normalna lub proszkowa sięga niekiedy dalej niż najsubtelniejsza nawet analiza chemiczna. Spójrzmy np. na surowce potasowe w kopalniach.

W kopalniach niektórych soli potasowych surowce tworzą jakby gniazda o zmiennej wielkości, a co gor-

* J. Tokarski — Über eine pulver-planimetrische Methode der Analyse der kristallinen Gesteine. Bull. de l'Acad. Pol. 1939.

J. Tokarski. — O koliczestwiennom mikroskopiczekom analizie porod w izmieczenom widie. Izwiestja, Akad. N. SSSR, sier. geol., nr 6, 1940.

J. Tokarski u. H. Gawińska. — Ergebnisse der mikroskopisch-planimetrischen Analysen des Granits von Osnik in Wohlhynien. Bull. de l'Acad. Pol. Kraków, 1938.

St. Biskupski — O metodzie szybkiego oznaczania mineralów potasowych w surowcu katuskim. Przemysł Chemiczny, R. XXIII, 1939.

sza o bardzo zmiennym niejednokrotnie składzie mineralnym. Chcąc uzyskać z nich produkty przemysłowe należało poddać je koncentracji za pomocą procesów technologicznych. Koncentraty miały zawierać ilość wymaganą soli potasowych jako środków nawozowych. Zmielona kopalina przechodziła łańcuchowo do aparatów koncentracyjnych, gdzie ulegała częściowo rozwarzaniu, przy czym właściwy produkt przemysłowy strącał się w przepisanej ilości w formie krystalicznej. Zabiegi te wymagały ustawicznej kontroli rozkruszonego surowca, zwłaszcza przy dużej wspomnianej jego zmienności. Ograniczano się więc do oznaczania zawartości potasu, co zabierało około 6 godzin.

Na seriach próbek wykonano odpowiednie prace planimetryczno-proszkowe. Wykazały one możliwość stosowania metody proszkowej jako środka kontrolnego z o wiele lepszym skutkiem, ponieważ:

1. Czas wykonania analizy proszkowej nie przekracza 1 godziny.

2. Surowiec był scharakteryzowany ilościowym składem mineralnym, z którego łatwo można było przejść na wyliczenie chemiczne.

Zaznaczyć należy, że znajomość składu mineralnego była dla technologa ważniejsza od znajomości składu chemicznego. Uzyskany bowiem wynik analizy chemicznej skał solnych, w procentach kationów i anionów w roztworze wodnym, nie zawsze może być łatwo, bezpośrednio i jednoznacznie przeliczony na skład mineralny. O koncentracji technologicznej decyduje jednakże procentowa zawartość mineralów potasowych, których różnice fizyczno-chemiczne kierują reakcjami koncentracji.

Tabela III

Analiza surowca potasowego

Składniki w % wag.	Anal. proszk.	Analiza chemiczna	
		wykonana	obliczona z plan.
halit	43,10	Na 18,11	18,36
syłwin	13,46	K 9,89	9,55
polihalit	12,61	Ca 5,83	5,50
kalnit	5,46	Mg 0,97	1,09
kizeryt	0,28	Cl 36,00	35,48
anhidryt	13,00	SO ₄ 19,09	19,51
il	12,09	H ₂ O 1,57	1,97
		il 8,54	8,54

Przekonał się również, iż analiza planimetryczna potrafiła wykryć nawet poważne błędy w analizach fabrycznych surowca potasowego, skoro włączając kationy z odpowiednimi anionami na podstawie tych analiz uzyskano zgoła nierealne stosunki mineralne w surowcu, czyli analiza chemiczna wykazała obecność mineralów nieznanych, a nawet nieistniejących w złożu.

Ostatnio wielkie usługi oddała analiza planimetryczno-proszkowa w kontroli składu chemicznego cementu hutniczego, złożonego z 2 składników: czarnych, nieprzezroczystych ziarn klinieru oraz jasnych, podobnych do szklawa, ziarn żużlu.

Analiza ta była tak prosta, iż mogła być wykonana w przeciągu 15 minut, z dokładnością do 0,1%, co więcej, mogła ona oszacować procent odszkliwienia się żużlu dzięki użyciu polaryzatorów, czego żadna analiza chemiczna nie mogłaby odkryć. Należy przy tym zaznaczyć, że żużel odszkliwiony nie jest już materiałem czynnym hydraulicznie*.

* J. Tokarski — Analiza mikroskopowa na usługach przemysłu. Wapno — Cement — Gips, styczeń i luty 1953 r.

Dowodami na sprawność analizy proszkowo-planimetrycznej są wyniki badań znalezionych ostatnio w Tatrach dwóch bloków diorytowych*.

Wymienione okazy zbadano trzema metodami: planimetryczną (liniową), metodą proszkową oraz analizą chemiczną. Analiza planimetryczna (liniowa) zawiodła tutaj w zupełności, ponieważ okazało się, iż struktura badanych okazów była bardzo nierównomierna z powodu skupiania się femicznych składników (biotytu i amfibolu) w osobne agregaty o różnym składzie ilościowym. Natomiast analiza planimetryczno-proszkowa, wykonana na tle średniej próbki całego okazu, przygotowanej do analizy chemicznej, dała wyniki zgodne z analizą chemiczną. Ilustruje to tabela IV

* J. Tokarski — „Diorytowy głaz morenowy z Doliny Kościeliskiej w Tatrach” oraz „Diorytowo-pegmatytowy głaz morenowy z Doliny Kościeliskiej w Tatrach”, komunikaty oddane do druku w Biul. PAN.

Tabela IV
Dioryt z Doliny Kościeliskiej

	1	2	3	4	5	6	Sredn.	Analiza proszkowa
amfibol	43	50	43	25	30	21	35	27
biotyt	13	6	6	11	13	16	11	38
plagioklaz	23	20	27	32	29	34	27	30
sercyt	12	9	15	27	23	22	18	—
kwarc	3	3	5	3	2	5	4	4
apatyt	1	1	1	1	2	śl.	1	
kalcyt	4	4	śl.	śl.	1	1	2	1
tytanit	1	7	3	1	śl.	1	2	