

Andrzej JAWORSKI

Z GEOCHEMII I PETROFIZYKI INTRUZJI MAGMOWYCH GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

(13 FIG.)

*On geochemistry and petrophysics of magmatic intrusions of the
Holy Cross Mts.*

(13 figs.)

Treść. Wykazano i statystycznie udowodniono istnienie prawidłowości w rozkładzie zawartości żelazowców i innych metali ciężkich w bazytach Gór Świętokrzyskich. Omówiono wyniki badań właściwości fizycznych tych skał, przedyskutowano współzmiennność tych parametrów oraz ich związek z chemizmem, składem petrograficznym i procesami wietrzeniowymi badanych magmowców. Wykonane badania dostarczyły nowych danych w odniesieniu do interpretacji genezy lamprofirów i diabazów a także parametrów do ilościowej interpretacji wyników powierzchniowych badań geofizycznych.

WSTĘP

Przedstawiono rezultaty badań geochemicznych i petrofizycznych skał magmowych regionu świętokrzyskiego wykonanych w Przedsiębiorstwie Poszukiwań Geofizycznych w latach 1967—1972. Jest to próba kompleksowej interpretacji danych z zakresu petrochemii, geochemii i petrofizyki omawianych skał w nawiązaniu do sposobu ich występowania oraz genezy. Obliczenia statystyczne wykonano w PPG przy użyciu maszyny matematycznej Odra-1204. Zastosowano schemat przeliczeń podany przez A. Jaworskiego (1972a) według programu opracowanego na maszynę przez E. Gizowską-Malinowską i autora. W pracy wykorzystano dotychczasowe wyniki oznaczeń pierwiastków śladowych wykonanych przez I. Kardymowicz (1957), W. Szczepanowskiego (1962, 1963) oraz A. Jaworskiego (1970, 1972c, 1973a). Właściwości fizyczne tych skał przebadano w Zakładzie Petrofizyki i Modelowania PPG w ramach realizacji prac naukowo-badawczych prowadzonych przez ten Zakład pod kierunkiem autora. Metodyka badań stabilności naturalnej pozo-

stałości magnetycznej skał została opracowana przez K. Mizeracką (1972). Wstępne dane odnośnie do petrofizyki bazytów świętokrzyskich przedstawiono w referacie na sympozjum naukowym w maju 1973 r. w Krakowie „Petrofizyka skał” (A. Jaworski, 1973). Panu Prof. drowi hab. W. Narębskiemu za dyskusje i cenne uwagi krytyczne składam serdeczne podziękowanie.

CECHY GEOCHEMICZNE DIABAZÓW I LAMPROFIRÓW

Znane dotychczas rozmieszczenie stref występowania omawianych skał jest nader charakterystyczne i pozostaje w związku z tektoniką Gór Świętokrzyskich (Z. Rubinowski, 1967). Są one ułożone pasowo

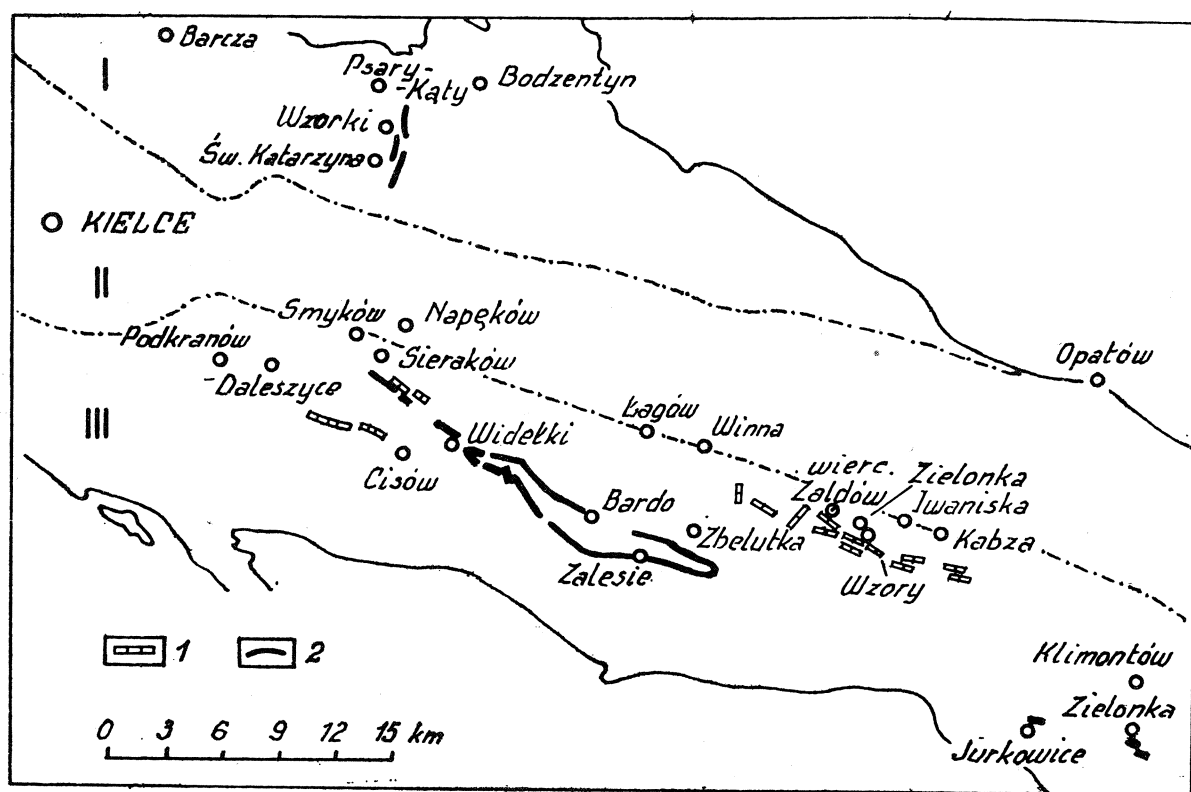


Fig. 1. Strefy występowania lamprofirów i diabazów w Górach Świętokrzyskich wg I. Kardymowicz, 1967. I — region łysogórski; II — synklinorium kielecko-łagowskie; III — antyklinorium dymińsko-klimontowskie. 1 — strefy występowania lamprofirów, 2 — strefy występowania diabazów

Fig. 1. Zones of occurrence of lamprophyres and diabases in the Holy Cross Mts (after I. Kardymowicz, 1967). I — Łysa Góra region; II — Kielce—Łagów synclinorium; III — Dymyń—Klimontów anticlinorium. 1 — zones of occurrences of lamprophyres; 2 — zones of occurrences of diabases

(fig. 1). Na obszarze antyklinorium dymińsko-klimontowskiego pas wychodni lamprofirów i diabazów o kierunku W—E rozciąga się na przestrzeni 54 km między Zielonką i Podkranowem. W tym regionie występowanie intruzji jest najlepiej poznane, a liczba ich wystąpień jest największa. Wychodnie lamprofirów koncentrują się w pobliżu południowej gra-

nicy synklinorium kielecko-łagowskiego. Pas wychodni diabazów leży nieco bardziej na południe od tej granicy i w rejonie Widełek-Sierakowa przecina strefę rozprzestrzenienia lamprofirów przyjmującą na tym odcinku kierunek NW—SE.

Drugim obszarem występowania diabazów (bez współwystępowania lamprofirów) jest prawie południkowa strefa Psary—Wzorki—Św. Katarzyna w rejonie Łysogórskim (fig. 1). Wszystkie znane dotąd wychodnie intruzji mniejszych Gór Świętokrzyskich występują w strefie hipergenezy. Poniżej zamieszczono krótką charakterystykę diabazów i lamprofirów niezbędną do udokumentowania stwierdzonych statystycznie związków korelacyjnych między pierwiastkami śladowymi występującymi w tych skałach oraz do wyjaśnienia obserwowanej współzmienności między parametrami fizycznymi tych skał a ich składem chemiczno-mineralnym, genezą i stopniem zaawansowania przemian hipergenicznych omawianych bazytów.

D i a b a z y

W diabazach świętokrzyskich wyróżniono cztery odmiany petrograficzne: 1) diabaz normalny (bezoliwinowy), 2) diabaz spilitowy, występujący w brzeźnych strefach skał pierwszej odmiany a będący wynikiem procesów przeobrażeń w warunkach niskich temperatur i dość wysokich ciśnień, 3) diabaz zieleńcowaty i 4) diabaz zadularyzowany (I. K a r d y m o w i c z, 1967). Pomimo mineralogicznego zróżnicowania chemizm tych skał jest mało zmienny (tab. 1), co wskazuje na możliwość wspólnego źródła magmowego, z którego skały te mogły powstać. Badania geochemiczne tych skał pochodzących z różnych miejsc występowania (fig. 1) wykazały, że diabazy charakteryzuje prawie stała zawartość metali ciężkich, a różnice w oznaczeniach W. S z c z e p a n o w s k i e g o (1963) i I. K a r d y m o w i c z (1957) spowodowane są odmiennym typem skał pobranych do oznaczeń. Wyższe nieco zawartości Zn i Cu podane przez W. S z c z e p a n o w s k i e g o wykazują próbki diabazu użyłonego, z widoczną mineralizacją gniazdową czy z enklawami. I. K a r d y m o w i c z natomiast badała diabazy wolne od wyżej wspomnianych składników obcych. Obydwa pierwiastki są więc składnikami mineralizacji żyłowej i gniazdowej. Bardzo zbliżone są zawartości kobaltu, niklu i chromu mimo przejawów mineralizacji epigenetycznej w niektórych próbkach. Są to zatem stałe składniki femiczne tych skał. W utworach osłony diabazów W. S z c z e p a n o w s k i (1963) stwierdził obecność tych samych pierwiastków co w diabazach, ale w znacznie mniejszej ilości. Autor ten wykrył w diabazach obecność indu i cyny, co jest osobliwością geochemiczną tych skał nie znaną dotąd w literaturze. Zestawione w tabeli 1 dane można uznać za kryterium geochemiczne wskazujące na komagmatyzm omawianych diabazów (magma bazaltowa), podobnie jak to wykazano dla skał zasadowych ziemi krakowskiej (Z. M i c h a ł e k, W. Ż a b i ń s k i, 1957,

Tabela 1
Wyniki badań geochemicznych diabazów i lamprofirów Gór Świętokrzyskich oraz produktów ich wietrzenia
Results of geochemical investigations of diabases and lamprophyres of the Holy Cross Mts.
and of their weathering products

Pierwiastek Element	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mn	V	Autor
Skala Rock											
diabaz diabase	+	+	320	170	50	80	84	46		+	I. Kardymowicz, 1967, W. Szczepanowski, 1967
zwietrzelina diabazu weathered diabase							130				A. Jaworski
gleba nad diabazami soil overlying diabases							175				A. Jaworski
lamprofir lamprophyre	1050	540	380	400	200	300	80	10		+	I. Kardymowicz, 1967, W. Szczepanowski, 1962
zwietrzelina lamprofiru weathered lamprophyre			72	425	35	70	32	102	875	+	A. Jaworski
gleba nad lamprofirami soil overlying lamprophyres			88	360	32	124	62	37	750	+	A. Jaworski
skaly zasadowe basic rocks	270	440	140	130	12	300	160	45	850	200	A.P. Winogradow, 1962
gleby soils	500	480	20	50	10	200	40	8	850	100	A.P. Winogradow, 1957

A. J a w o r s k i, 1973). W stosunku do klarków dla skał zasadowych (tab. 1) diabazy świętokrzyskie zawierają więcej miedzi, cynku i ołowiu, o połowę mniej niklu i blisko czterokrotnie mniej chromu. Średnia zawartość kobaltu wynosi 46 ppm i odpowiada klarkowi dla skał zasadowych. Ta nietypowość w zawartości mikroskładników wskazuje na podobieństwo geochemiczne tych skał do diabazów krakowskich a w pewnym stopniu także do diabazów sudeckich (A. J a w o r s k i, 1973a). Stosunek niklu do kobaltu w diabazach świętokrzyskich wynosi 3:1, w próbach użylonych i maleje do 1:1 w skałach bez wtrąceń obcych. Z badań wykonanych przez autora (A. J a w o r s k i, 1970, 1973a) wynika, że zawartość niklu w zwietrzelinach diabazu może dochodzić do 173 ppm (tab. 2), a w glebach nad tymi skałami ilość tego pierwiastka waha się w granicach 160—170 ppm, czyli czterokrotnie więcej niż wynosi klark Ni dla gleb (40 ppm). Zatem w strefach wietrzenia diabazów następuje znaczne podkoncentrowanie tego pierwiastka, co stanowi podstawę do typowania niklu jako wskaźnika w powierzchniowych badaniach geochemicznych.

L a m p r o f i r y

Są to skały niezmiernie podatne na procesy wietrzenia, które w ostatecznym efekcie powodują całkowitą przebudowę ich składu mineralnego i chemicznego a także zmiany ich właściwości fizycznych. Z uwagi na zróżnicowanie składu petrograficznego tych skał wyróżniono lamprofiry biotytowo-piroksenowe, o strukturze na ogół porfirowej, zawierające bardzo mało węglanów, powstałe w wyższych temperaturach oraz lamprofiry biotytowe o strukturze ocelarnej i sferolitycznej, nie zawierające piroksenów, z często spotykanymi minerałami węglanowymi, powstałe w fazie przedhydrotermalnej (I. K a r d y m o w i c z, 1967).

Lamprofiry świętokrzyskie wykazują nieznaczne zróżnicowanie petrochemiczne, co wskazuje na genezę z jednego ogniska magmowego (magma garbowo-diorytowa). Średnie zawartości pierwiastków śladowych w lamprofirach, ich zwietrzelinach i w glebach przedstawia tabela 1. Podobnie jak diabazy tak i lamprofiry zawierają pierwiastki typowe dla skał zasadowych (Ni, Co, Cr), ale w mniejszych ilościach, niż wynoszą ich klarki jak również ponadklarkowe zawartości Pb, Zn i Cu charakterystyczne dla magmowców kwaśnych. Zarówno dla wyróżnionych odmian petrograficznych lamprofirów, jak i dla próbek pobranych z różnych miejsc występowania tych skał w Górach Świętokrzyskich charakterystyczna jest nieznaczna zmienność pierwiastków śladowych, co stwierdzono także w diabazach. Zjawisko to sugeruje istnienie wspólnego ogniska magmowego dla omawianych skał magmowych tych gór (I. K a r d y m o w i c z, 1967). Zwietrzeliny lamprofirów charakteryzuje wyraźne podkoncentrowanie zawartości cynku, chromu i kobaltu w stosunku do skał świeżych. W porównaniu z klarkami gleby nad lamprofirami zawierają przeszło czterokrotnie więcej miedzi i kobaltu, aż siedmiokrotnie więcej cynku, trzykrotnie —

Tabela 2

Wyniki badań statystycznych zawartości pierwiastków śladowych w diabazach
Statistical parameters of trace element contents in diabases

Pierwiastek Element	Średnie arytm. zawartości Arithmetic mean of content. ppm.	Zakres oznaczeń Range of content ppm.	Odchylenie standardowe Standard deviation S	Wariancja Variance S^2	Wskaźnik zmienności Variation coefficient %	Typ rozkładu częstości wg metody: Frequency distribution type tested by:	
						"momentów centr." central moments"	kryterium Smirnova Smirnov's criterion
Zn	161,9	70-300	72,5	5261	44,8	n.n.	log.n., +
Pb	58,0	10-200	40,9	1669	70,4	n.n.	log.n., +
Cu	395,2	240-5600	82,4	6792	20,8	n.n.	n mode 400
Ni	92,0	40-700	93,6	876	101,7	n.n.	log.n., +
Co	27,7	10-60	11,1	122	39,8	n.n.	log.n., +
Cr	86,2	20-260	54,5	2973	63,2	n.n.	log.n., +, b.m.

n.n. - nie jest normalny not normal ; log.n., - lognormalny lognormal ;

n - normalny normal ; + asymetria dodatnia positive asymmetry ; b.m. - bimodalny? bimodal?

ołowiu, półtora raza więcej niklu, natomiast mniej chromu (tab. 1). Omówione powyżej zawartości metali ciężkich w strefie wietrzenia lamprofirów sygnalizują wyraźnie obecność mineralizacji barytowo-galenowej tych skał oraz umożliwiają stosowanie metod geochemicznych do powierzchniowych prac prospekcyjnych (A. J a w o r s k i, 1966).

BADANIA STATYSTYCZNE ASOCJACJI METALI CIĘŻKICH W BAZYTACH GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

Do badań asocjacji geochemicznych pierwiastków śladowych w bazytach Gór Świętokrzyskich oraz w strefie wietrzenia tych skał użyto schemat przeliczeń statystycznych oparty o metody analizy korelacyjnej. Omawiany schemat stosowano z powodzeniem do badania związków pierwiastków śladowych występujących zarówno w składach magmowych (W. N a r ę b s k i, 1966; A. J a w o r s k i, 1972a, 1973a), jak i w glebach czy substancji roślinnej (A. J a w o r s k i, 1972c, 1973a). W przypadku bazytów świętokrzyskich główną uwagę zwrócono na zawartość pierwiastków grupy żelaza (Ni, Co, Cr) oraz innych metali kolorowych (Cu, Zn i Pb, Ba, Sr).

Diabazy

Stwierdzono istnienie asocjacji metali ciężkich, dla których charakterystyczne są związki korelacyjne o wysokiej mocy (fig. 2. tab. 2, 3). Są to zespoły pierwiastków Zn — Pb, Zn — Pb — Cu, Co — Cu oraz Ni — Co — Cu. Z prawdopodobieństwem rzędu 76% można sądzić o istnieniu analogicznego związku między niklem, kobaltem i chromem ($R_{Ni, Co, Cr} =$

$r \backslash t$	Ni	Co	Cr	Zn	Pb	Cu	Ba
Ni							
Co			<u>2,6</u>			<u>2,93</u>	
Cr		<u>0,37</u>					
Zn					<u>3,8</u>		
Pb				<u>0,51</u>		<u>3,4</u>	<u>3,1</u>
Cu		<u>0,41</u>			<u>0,51</u>		
Ba					<u>0,49</u>		$r \backslash t$

Fig. 2. Tabela korelacyjna metali ciężkich występujących w diabazach (liczby nad kreską) i w lamprofirach (liczby pod kreską)

Fig. 2. Correlation table for heavy metals occurring in diabases (data above the line) and in lamprophyres (data below the line)

0,396, $\tau = 3,82$) oraz między kobaltem i chromem (prawdopodobieństwo 86% — fig. 2). Analiza współczynników korelacji cząstkowej wykazuje (tab. 5), że w badanych skałach, obecność miedzi nie wpływa na siłę związku korelacyjnego cynku z ołowiem ($r_{Zn, Pb(Cu)} = 0,368$, $t = 2,73$, prawdopodobieństwo 91%) podobnie nikiel nie warunkuje istnienia więzi korelacyjnej kobaltu z chromem ($r_{Cr, Co(Ni)} = 0,359$, $t = 2,52$, prawdopodobieństwo 83%) oraz analogicznego związku kobaltu z miedzią ($r_{CoCu(Ni)} = 0,402$, $t = 2,86$, prawdopodobieństwo 95%). Nie stwierdzono natomiast oczekiwanego związku niklu z chromem, (W. Narębski, 1966; A. Jaworski, 1973a), tak charakterystycznego zarówno dla skał zasadowych, jak i dla stref wietrzenia tych skał.

Stwierdzony z dużym prawdopodobieństwem związek miedzi z kobaltem i chromem w diabazach oraz analogiczny związek tego pierwiastka z Ni, Co i Cr w strefie wietrzenia skał zasadowych rejonu krakowskiego (A. Jaworski, 1970, 1973a) wskazuje na silne powinowactwo geochemiczne miedzi z żelazowcami. Zjawisko to można uzasadnić przynależnością Cu do pierwiastków przejściowych grupy 3d w układzie okresowym, a zatem zbliżoną budową zewnętrznych powłok elektronowych tych metali, co ma zasadnicze znaczenie dla uzasadnienia stwierdzonych związków korelacyjnych w świetle teorii pola krystalicznego.

Pokrewieństwo geochemiczne Ni — Co — Cr w bazytach wyjaśniono na podstawie wyżej wspomnianej teorii w pracach W. Narębskiego (1966) i A. Jaworskiego (1973a).

Rozkład zawartości pierwiastków śladowych w diabazach obrazują histogramy (fig. 3), których kształt już na pierwszy rzut oka sugeruje lognormalny typ rozkładu zawartości tych metali w diabazach. Potwierdzenie tych sugestii obrazują wyniki badań statystycznych (tab. 2.).

Ogólnie sądzi się, że typ rozkładu częstości pierwiastka w określonym środowisku geochemicznym zależy od:

1. stężenia pierwiastków (u pierwiastków śladowych wyraźna jest tendencja do dodatniej skośności krzywych rozkładu),
2. stopnia podziału pierwiastków śladowych między poszczególne fazy (przy koncentracji pierwiastka w jednym mineralu charakterystyczny jest rozkład lognormalny przy równomiernym rozkładzie między kilka faz — normalny),
3. jedno- lub wielostadialności genezy badanego środowiska geochemicznego (tzn. im prostszy i uwarunkowany mniejszą ilością czynników genetycznych jest proces powstania skały, tym większe jest prawdopodobieństwo lognormalnego rozkładu zawartości jego składników).

Zatem w skałach magmowych głębinowych dominującym typem rozkładu zarówno pierwiastków głównych, jak i śladowych jest typ lognormalny. W skałach wulkanicznych, krystalizujących w znacznie mniej spokojnych warunkach ten typ rozkładu charakterystyczny jest tylko dla pierwiastków śladowych.

Tabela 3

Zestawienie współczynników korelacji wielorakiej i cząstkowej dla pierwiastków śladowych w diabazach i lamprofirach

Multiply and partial correlation coefficients for trace elements in diabases and lamprophyres

Współczynnik korelacji wielorakiej Multiply correlation coefficient R	Kryterium Criterion $\tau \geq 5$	Prawdopodobieństwo Probability %	Współczynnik korelacji cząstkowej Partial correlation coefficient $r/x/$	Kryterium Fischera Fischer's criterion $t \geq 3$	Prawdopodobieństwo Probability %
$R_{ZnPbCu} = 0,521$	7,64	+	$r_{ZnPb/Cu} = 0,386$	2,73	91
$R_{NiCoCr} = 0,390$	2,52	76	$r_{CoCr/Ni} = 0,359$	2,52	83
$R_{NiCoCu} = 0,427$	4,57	91	$r_{CoCu/Ni} = 0,402$	2,86	95
$R_{ZnPbCu} = 0,579$	7,80	+	$r_{PbCu/Zn} = 0,561$	3,75	+
$R_{NiCrCu} = 0,425$	5,60	+	$r_{PbBa/Sr} = 0,485$	3,13	+

+ - związek korelacyjny stwierdzono z najwyższym prawdopodobieństwem

- correlation showing the highest probability

W diabazach z Gór Świętokrzyskich przeważa lognormalny typ rozkładu częstości badanych pierwiastków. Jedynie miedź wykazuje rozkład normalny (tab. 2).

Podobne do wyżej omówionych asocjacji metali ciężkich w diabazach, wykryto w glebach Gór Świętokrzyskich (A. Jaworski, 1972c), co doprowadziło autora do wniosku, że zespół Ni-Co-Cr wykazuje silne więzi

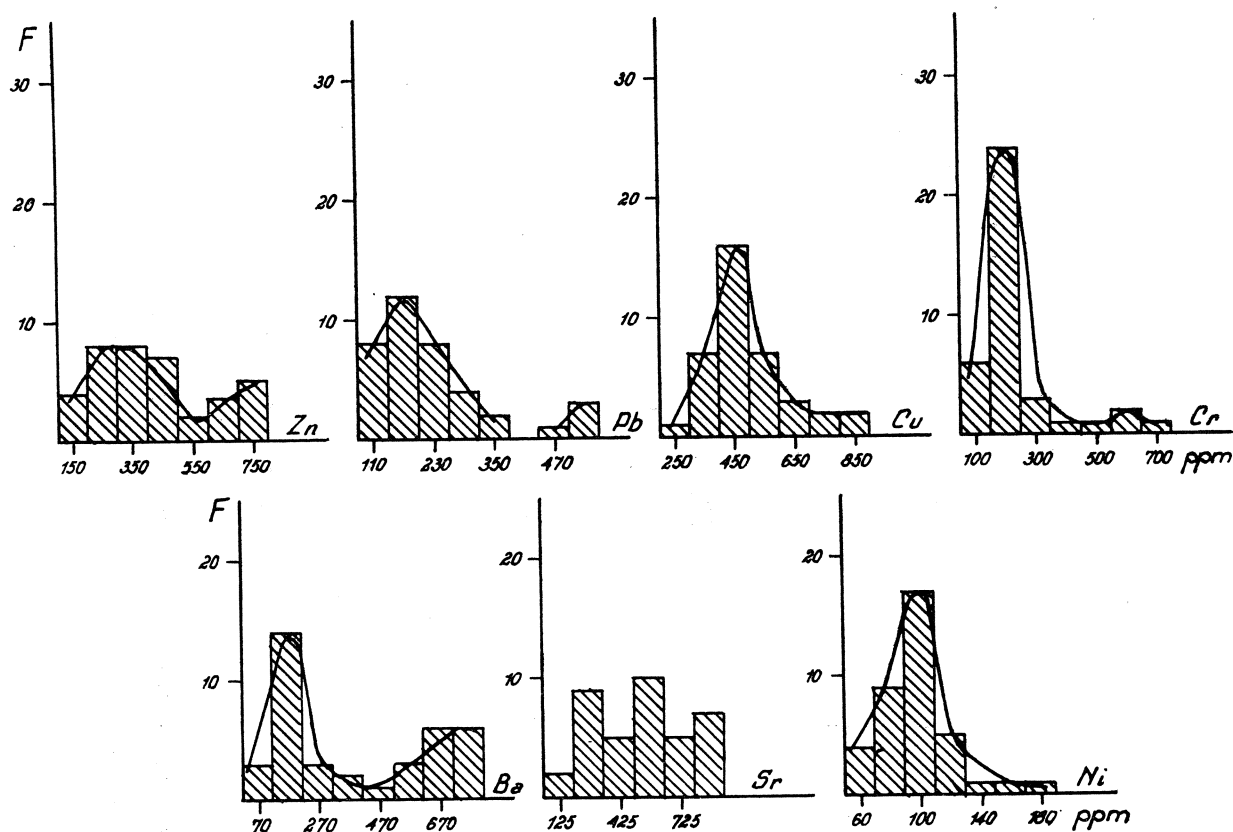


Fig. 3. Histogramy i krzywe rozkładu metali ciężkich w diabazach; F = częstość
Fig. 3. Histograms and frequency distribution curves for heavy metals in diabases;
 F = frequency

geochemiczne zarówno w skałach magmowych, jak i w różnych strefach utworów hipergenicznych. Jest to najkorzystniejsza asocjacja pierwiastków, którą należy wykorzystywać w pracach prospekcyjnych geochemiczno-geofizycznych nie tylko do poszukiwań złóż rud, lecz także w kartografii geologicznej. Asocjacja Cu-Pb-Zn jest już w pełni wykorzystywana w pracach prospekcyjnych przy poszukiwaniu złóż rud żelaza i metali kolorowych (A. Jaworski, H. Fortuńska, 1964; A. Jaworski, 1972b; L. Lenartowicz, 1968).

Interesującym stwierdzeniem było wykrycie wysokich zawartości srebra w glebach regionu świętokrzyskiego, co pozwala typować ten pierwiastek jako wskaźnikowy przy poszukiwaniach rud ołowiu (A. Jaworski, 1972c).

Celowe byłoby przebadanie występowania pierwiastków grupy żelaza w strefach wietrzenia diabazów świętokrzyskich w celu uzyskania pełniej-

szege obrazu migracji tych metali i udokumentowania przydatności metod geochemicznych do prac kartograficznych, podobnie jak to wykazano dla lamprofirów tego obszaru (A. J a w o r s k i, 1966).

L a m p r o f i r y

Badania statystyczne zawartości pierwiastków śladowych w tych skałach wykonano dwukrotnie. W I wersji wyliczenia oparto na wynikach 52 analiz zawartości Ba, Sr, Zn, Pb, Cu, Cr oraz Ni (W. S z c z e p a n o w s k i, 1963).

Wyniki przeliczeń uznano za niezbyt pewne z uwagi na wysoko anomalne zawartości niektórych pierwiastków (np. Ba do 0,35%, Zn do 0,1%, Pb do 0,9%), świadczące o intensywnej mineralizacji badanych próbek.

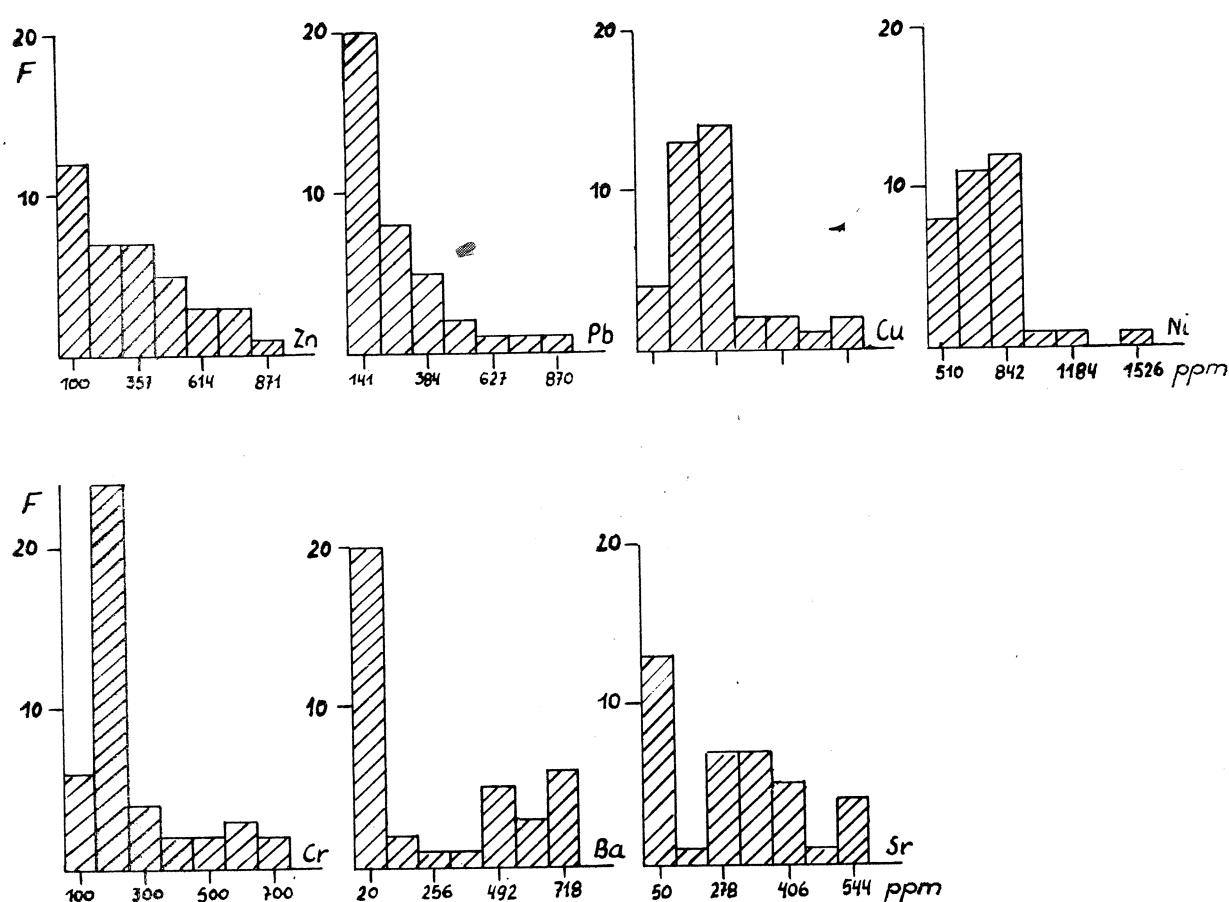


Fig. 4. Histogramy metali ciężkich w lamprofirach; F = częstość

Fig. 4. Histograms for heavy metals in lamprophyres; F = frequency

Część tych wyników pominięto, wybierając 38 analiz tworzących dla Ba i Zn jedną populację, co jak wiadomo jest warunkiem podstawowym stosowalności analizy korelacyjnej. Mimo to wybrane wyniki oznaczeń charakteryzowało zróżnicowanie i z reguły bardzo wysokie odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności, co przy rozważaniach statystycznych jest zjawiskiem niekorzystnym (tab. 4).

Tabela 4

Wyniki badań statystycznych zawartości pierwiastków śladowych w lamprofirach
dane z 38 analiz

Statistical parameters of trace element contents in lamprophyres
data after 38 analyses

Pierwiastek Element	Średnia arytm. Arithmetic mean of content ppm.	Zakres oznaczeń Range of content ppm.	Odchylenie standardowe Standard deviation S	Wariancja Variance S ²	Wskaźnik zmienności Variation coefficient %	Typ rozkładu częstości wg metody: Frequency distribution type tested by:	
						"momentów centr." "central moments"	kryterium Smirnova Smirnov's criterion
Zn	397,4	100-1000	227,7	51835	57,3	n.n.	log.n., +
Pb	199,3	20-710	191,4	36621	96,0	n.n.	log.n., +
Cu	402,6	190-800	136,4	18609	33,9	n.n.	n mode 380,6
Ni	82,6	50-170	226,7	514	27,4	n.n.	n mode 85,1
Cr	114,7	50-500	110,3	12177	96,2	n.n.	log.n., +
Ba	312,4	20-850	307,7	94707	98,5	n.n.	b.m., log.n., +
Sr	361,8	50-830	245,8	60436	67,9	n.n.	b.m., log.n., +

n.n. - nie jest normalny not normal ; log.n. - lognormalny lognormal ;

n - normalny normal ; + asymetria dodatnia positive asymmetry ; b.m. - bimodalny? bimodal?

Najprawdopodobniej dlatego właśnie wśród metali ciężkich wykryto jedynie istotny związek korelacyjny miedzi z ołowiem (fig. 2 — cyfry poniżej kreski).

Jest to interesujące stwierdzenie, poczynione po raz pierwszy w skałach magmowych dla tych metali. Na powstanie tego związku korelacyjnego nie ma wpływu obecność cynku w lamprofirach ($r_{\text{Cu, Pb, (Zn)}} = 0,561$, $t = 3,75$). Druga stwierdzona asocjacja pierwiastków to Zn-Pb-Cu (tab. 3), co wiązać można ze znaną mineralizacją galenowo-barytową tych skał. Z prawdopodobieństwem rzędu 68% stwierdzono istnienie więzi korelacyjnej Ni-Co-Cr (duży rozrzut oznaczeń Cr i zmienność oznaczeń Ni — tab. 4).

Zdaniem I. K a r d y m o w i c z (1967) lamprofiry są wynikiem przeobrażeń metasomatycznych skał diabazowych. Interesujące jest i to, że w strefie wietrzenia lamprofirów (gleby) stwierdzono słabe związki korelacyjne Ni-Co i Co-Cr, jednak także silną więź Ni i Cr, przy czym $r_{\text{Ni, Cr}} = 0,83$, a kryterium $t = 3,2$ (A. J a w o r s k i, 1972c).

Zawartość tych pierwiastków w lamprofirach odznacza się lognormalnym typem rozkładu, przy czym wyniki użytych metod statystycznych dla Ni i Cu są sprzeczne (tab. 4, fig. 4).

Analiza statystyczna omawianego materiału analitycznego skłania do stwierdzenia konieczności wykonania większej liczby oznaczeń pierwiastków śladowych w lamprofirach świeżych, bez wtrąceń obcych. Wykonane badania stref wietrzenia lamprofirów pozwoliły wytypować nikiel jako pierwiastek wskaźnikowy obecności tych skał przy pracach powierzchniowych metodą geochemiczną. Przydatność tej metody dla poszukiwań i kartowania podczwartorzędowych wychodni tych skał wykazał autor we wcześniejszej pracy (A. J a w o r s k i, 1966).

PETROFIZYKA BAZYTÓW ŚWIĘTOKRZYSKICH

Właściwości fizyczne skały zależą od cech fizycznych budujących ją minerałów, jej struktury i tekstury oraz stopnia przeobrażeń endogenicznych i wietrzeniowych, jakim skała podlegała w czasie swojej historii geologicznej. Wspomniane wyżej właściwości są więc także funkcją czasu, co ma szczególnie istotne znaczenie dla parametrów magnetycznych skał. I tak w zależności od rodzaju skały, jej genezy oraz upływu czasu starzeje się naturalna pozostałość magnetyczna, a powstaje nowa, lepka pozostałość magnetyczna skały. Ta ostatnia, powstała w określonym czasie, informuje o możliwych granicach zmian mierzonej naturalnej pozostałości magnetycznej w zależności od czasu i sposobu przechowywania badanych próbek. Oprócz tego, wartość lepkiej pozostałości magnetycznej stanowi kryterium przydatności skały do dalszych badań jej właściwości magnetycznych. Badania stabilności magnetycznej w odniesieniu do namagnesowania oraz krzywe rozmagnesowania termicznego dostarczają danych o ro-

Tabela 5

Zmienność chemizmu, składu mineralnego i własności fizycznych
diabazów świętokrzyskich

Variability of chemical and mineral composition and of physical
properties of diabases of the Holy Cross Mts

Składnik Component	Zmienność składu chemicznego Range of varia- bility of content wt. (%) wag.	Minerał Mineral	Zmienność norma- tywnego składu mineralnego Variability of normative mine- ral composition wt. (%) wag.
SiO ₂	41,26 - 50,25	kwarc - quartz	0,0 - 20,07
TiO ₂	1,39 - 2,81	ortoklaz - orthoclase	1,18 - 5,20
Al ₂ O ₃	12,23 - 23,85	albit - albite	17,64 - 41,64
* Fe ₂ O ₃	1,76 - 6,26	anortyt - anorthite	1,77 - 24,70
FeO	3,82 - 11,12	korund - corundum	0,0 - 7,01
MnO	ślady - 1,00 traces	nefelin - nepheline	0,0 - 0,87
MgO	0,25 - 7,55	diopsyd - diopside	0,0 - 24,30
CaO	0,89 - 15,11	hipersten - hypersthene	0,0 - 31,54
		enstatyt - enstatite	0,0 - 29,75
Na ₂ O	0,23 - 5,37	oliwin - olivine	0,0 - 12,74
K ₂ O	0,23 - 8,86	magnetyt - magnetite	1,40 - 9,57
H ₂ O +	1,71 - 4,80	ilmenit - ilmenite	2,30 - 5,59
H ₂ O -	0,25 - 2,93	apatyt - apatite	0,17 - 1,91
F ₂ O ₅	0,07 - 0,76	kalcyt - calcite	0,0 - 20,21
CO ₂	ślady - 8,77 traces	piryt - pyrite	0,0 - 1,45
S	ślady - 0,53 traces	hematyt - haematite	0,0 - 2,61
Cu	320 ppm	fluoryt - fluorite	0,0 - 3,50
Zn	170 "	cyrkon - zircon	0,0 - 0,14
Pb	50 "		
Ni	84 "		
Co	46 "		
Cr	80 "		

Uwagi - Remarks: dane z 14 analiz chemicznych i 12 mineralogicznych -
data from 14 chemical and 12 mineralogical analyses /J.Kardymowicz, 1967/;

* - Odmiana zielenicowata diabazu zawiera do 17% żelaza - Greenstone variety
of diabase contains up to 17% iron /J.Kardymowicz, 1967/.

dzaju i pochodzeniu naturalnej pozostałości magnetycznej oraz składzie mineralnym frakcji magnetycznej badanej próbki. Krzywe rozmagnesowania polem zmiennym są uzupełnieniem badań metodą termiczną i informują o wielkości ziarn minerałów ferromagnetycznych. Gęstość przestrzenna i porowatość względna wskazują przede wszystkim na zróżnicowanie struktury i tekstury skały w zależności od przeobrażeń mineralnych i wietrzeniowych, jakim skała podlegała w czasie swojej historii geologicznej. Z przemianami tymi wiązać można także zmienność prędkości fali akustycznej w tych skałach. Zagadnienie właściwości fizycznych minerałów zasadowych skał magmowych z uwzględnieniem ich przemian hipergenicznych podano w pracy A. Jaworskiego (1972b), w której zestawiono także zmiany niektórych parametrów fizycznych minerałów skałotwórczych i powstałych z nich minerałów wietrzeniowych. W tym miejscu należy podkreślić, że w wyniku wietrzenia minerały pierwotnie magnetyczne tracą tę właściwość, ciężary właściwe wtórnych minerałów są z reguły niższe niż minerałów pierwotnych, podobnie zdaje się zmieniać ich opór właściwy i właściwości akustyczne (prędkość rozchodzenia się fali podłużnej — V_p). Stan rozpoznania petrofizycznego diabazów świętokrzyskich jest niewystarczający zarówno w sensie ilości wykonanych pomiarów, jak i skromnego ich asortymentu. Wnioskowanie utrudnia także fakt, że badane próbki pochodziły z bazytów objętych procesami przeobrażeń endo- i egzogenicznych, brak jest zatem parametrów fizycznych dla świeżych typów tych skał. Badania parametrów magnetycznych diabazów wykonano w Przedsiębiorstwie Poszukiwań Geofizycznych (K. Mizeracka, 1972). Rezultaty tych prac zestawiono w tabeli 5. Dużą rozpiętość

1. Ciężar objętościowy — Volume weight (g/cm ³):	
diabaz zwietrzały — weathered diabase	2,39—2,52
średnia — average	2,46
diabaz świeży — unaltered diabase	2,9
średnia — average	2,9
diabaz z wiercenia Prągowiec 1 — diabase from bore-hole Prągowiec 1	2,58—2,82
2. Porowatość efektywna w % — Effective porosity in %:	
diabaz zwietrzały — weathered diabase	5 — 10
średnia — average	6
diabaz z wiercenia Prągowiec 1 — diabase from bore-hole Prągowiec 1	0,21—2,49
średnia — average	1,11
3. Właściwości magnetyczne i akustyczne — Magnetic and acoustic properties:	
podatność magnetyczna — magnetic susceptibility	(0—14000) × 10 ⁻⁶ CGSM
naturalna pozostałość magnetyczna — natural magnetic residue	In-(1—2000) × 10 ⁻⁶ CGSM
inklinacja pozostałości magnetycznej — inclination of magnetic residue	I = —73° — 81°
diabaz z wiercenia Prągowiec 1 — diabase from bore-hole Prągowiec 1	3400—4700 m/sek
średnia — average	2962 m/sek

1, 2 — R. Blus, 1969, A. Jaworski, 1972b,c; 3 — K. Mizeracka 1971, A. Jaworski 1972c

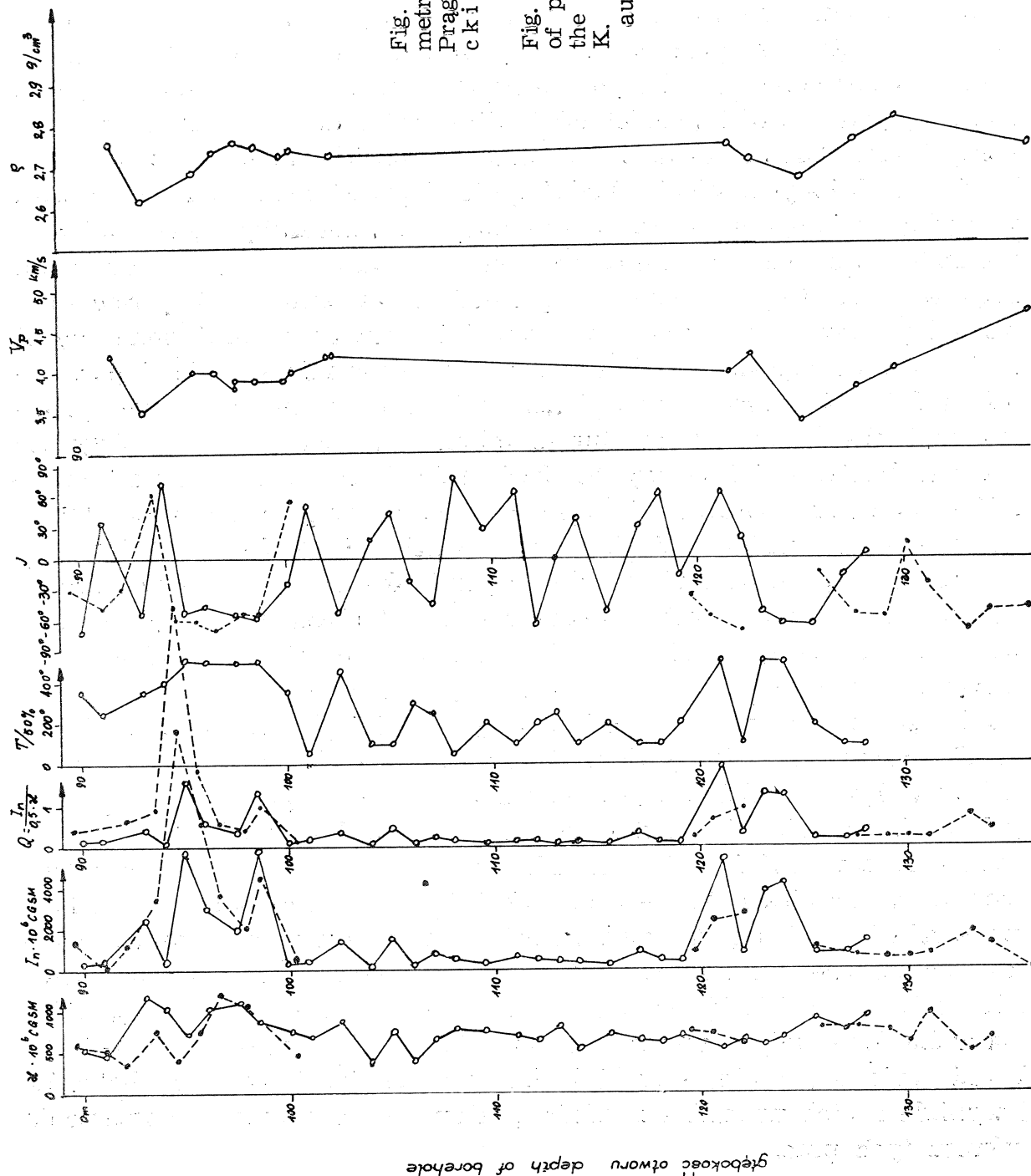
pomierzonych wartości podatności magnetycznej ($0-14\,000 \cdot 10^{-6}$ CGSM) czy naturalnej pozostałości magnetycznej ($0-12\,000 \cdot 10^{-6}$ CGSM) należy wiązać ze zmiennością składu mineralnego i chemizmu tych skał będącego rezultatem zarówno procesów o charakterze hydrotermalnym, jak i zmian zachodzących w strefie hipergenezy. Interesujący dla rozważań genetycznych jest obraz zmienności parametrów magnetycznych w przekroju poprzecznym dajki diabazowej nawierconej w otworze Pragowiec 1a, gdzie widoczna jest wyraźna zmiana właściwości magnetycznych centralnej części dajki od jej partii brzeżnych przewierconych w strefach głębokości 94,5—99,0 m oraz 120,0—125,0 m (fig. 5). Zjawisko to szczególnie wyraźnie ilustrują zmiany rozkładu naturalnej pozostałości magnetycznej

(I_n) oraz współczynnika Q ($Q = \frac{I_n}{0,5\alpha}$). Próbki skał o podwyższonych war-

tościach I_n oraz Q z części brzeżnej dajki posiadają wyższą stabilność magnetyczną niż z części centralnej. Poza tym próbki te bardzo mało zmieniły swoją naturalną pozostałość magnetyczną pod działaniem pola ziemskiego w okresie 4 miesięcy. Skały pochodzące ze sfery centralnej dajki posiadają bardzo dużą wartość lepkiej pozostałości magnetycznej, przekraczającą znacznie wartość stabilnej pozostałości magnetycznej diabazów omawianej strefy (fig. 5). Taki rozkład właściwości magnetycznych w obrębie badanej dajki wskazuje, że diabazy części brzeżnych tej intruzji, posiadające trwałą pozostałość magnetyczną, nie zostały przeobrażone i zachowały swoją pierwotną pozostałość magnetyczną, której kierunek można wiązać z kierunkiem pola magnetycznego Ziemi i w okresie tworzenia się tej części intruzji. Pozostałą partię diabazu charakteryzuje zmienne początkowe namagnesowanie skały, czego źródłem były późniejsze przeobrażenia, powodujące zmianę początkowego namagnesowania. Należy sądzić, że mała stabilność pozostałości magnetycznej i różnicowanie wartości inklinacji części próbek diabazu spowodowane są wtórnymi nagrzewaniami (K. Mizeracka, 1972). Źródłem energii cieplnej była zapewne kolejna, młodsza intruzja diabazowa. A zatem poglądy petrografów i geologów co do wieloetapowej (pulsacyjnej) genezy tych skał w Górach Świętokrzyskich, na co naprowadziła tych badaczy zmienność składu mineralnego i chemicznego różnych części dajki, znajdują swoje potwierdzenie w wynikach badań właściwości fizycznych diabazów. Złożoność procesu namagnesowania diabazów sugeruje różny czas ich powstania, co do niedawna było zagadnieniem bardzo hipotetycznym. Osobnego wyjaśnienia wymaga dość duża rozpiętość wartości bezwzględnych parametrów magnetycznych stwierdzonych w diabazach. Jest to zjawisko związane z różnym stopniem zwietrzenia tych skał oraz głębokim zasięgiem przemian hipergeniczych, które w szybkich stwierdzono do głębokości 10 m, a w wierceniach nawet znacznie głębiej. Jak wspomniano wyżej, efektem wietrzenia diabazów jest całkowity rozkład m. in. minerałów femicznych (magnetycznych, o wysokich wartościach gęstości masy).

Fig. 5. Zestawienie wykresów parametrów fizycznych skał w otworze Pragowiec 1a (wg K. Mizera-ckiej, 1972 i autora). Oznaczenie symboli na fig. 9

Fig. 5. Diagram showing variation of physical parameters of rocks in the bore-hole Pragowiec 1a (after K. Mizeracka, 1972 and the author). For symbols see Fig. 9



W odkrywkach obserwować można rozpad diabazu na masę piaszczysto-żwirową. Kolejny etap wietrzenia to daleko idące zmiany chemizmu doprowadzające do powstania skały zielonej lub brunatnozielonej o konsystencji gliny i, jak to wynika z badań S. P a w ł o w s k i e g o (1947), o znacznej pobudliwości magnetycznej. Nic więc dziwnego, że w obrębie strefy wietrzenia diabazów parametry magnetyczne wykazują znaczną zmienność, wietrzenie bowiem tych skał zmierza w kierunku utraty magnezu, wapnia i alkaliów, wzrasta natomiast ilość glinki, żelaza i wody. Najprawdopodobniej ta właśnie zmiana chemizmu skały w ramach jednej genetycznie strefy dajki, zmierzająca do wzrostu zawartości żelaza w skałach, występującego w zmiennych ilościach w próbkach o różnym zaawansowaniu procesu wietrzenia, jest przyczyną wyżej wspomnianej zmienności parametrów magnetycznych. Z punktu widzenia możliwości zastosowania powierzchniowych badań prospekcyjnych metodą magnetyczną fakt znacznej pobudliwości magnetycznej zwietrzelin diabazu jest zjawiskiem korzystnym. Pozwala to na kartowanie geofizyczne diabazów nawet całkowicie rozłożonych. Wyniki badań gęstości przestrzennych i porowatości względnych diabazów zestawiono w tabeli 5. Interesujące jest porównanie zmienności tych parametrów w przekroju dajki diabazu w wierceniu Prągowiec 1a (fig. 5). Rozkład gęstości przestrzennych i porowatości względnych w profilu wiercenia również potwierdza omówione wyżej zróżnicowanie diabazu. Wydaje się, że zróżnicowanie gęstości i porowatości należy wiązać raczej ze zmianami wietrzeniowymi, zwłaszcza z zaburzeniami teksturalnymi i strukturalnymi omawianych skał. Średnia gęstość masy diabazów świeżych wynosi 2,60—2,90 G/cm³, gęstość przestrzenna 2,60—2,80 G/cm³, porowatość względna waha się w granicach 0,10—2,73%, bezwzględna natomiast zmienia się w przedziale 0,39—3,46% (K. C h m u r a, 1970; A. J a w o r s k i, 1972b). Z pomiarów wykonanych w otworze Prągowiec 1a średnia gęstość przestrzenna jest bliska 2,70 G/cm³ co dowodzi, że badane skały nie odznaczają się wyraźnymi zmianami wietrzeniowymi. Silnie zwietrzałe diabazy z wiercenia Smyków 2 posiadają gęstość przestrzenną rzędu 2,46 G/cm³ przy średniej porowatości efektywnej 6% (R. B l u s, 1967, 1969). Stopień zwietrzenia diabazów ma także zasadniczy wpływ na zdolność przewodzenia fal podłużnych w tych skałach (tab. 5). Prędkość tych fal mierzona w warunkach normalnych na próbkach diabazów świeżych osiąga 4700 m/s, gdy w skałach zwietrzałych oscyluje w granicach 2400—3100 m/s i jest tym mniejsza, im bardziej zwietrzała i spękana jest próbka. Znalazło to wyraz w wyliczonych wartościach twardości akustycznej. Twardość akustyczna (iloczyn prędkości fali podłużnej V_p (m/s) przez gęstość przestrzenną skały (G/cm³), która dla diabazów świeżych wyraża się liczbą 13 500, dla zwietrzałych — 7020. Przedstawione powyżej wyniki badań parametrów fizycznych diabazów i wynikłe z nich wnioski uzasadniają celowość kontynuacji i poszerzenia zakresu tych prac.

Właściwości fizyczne lamprofirów

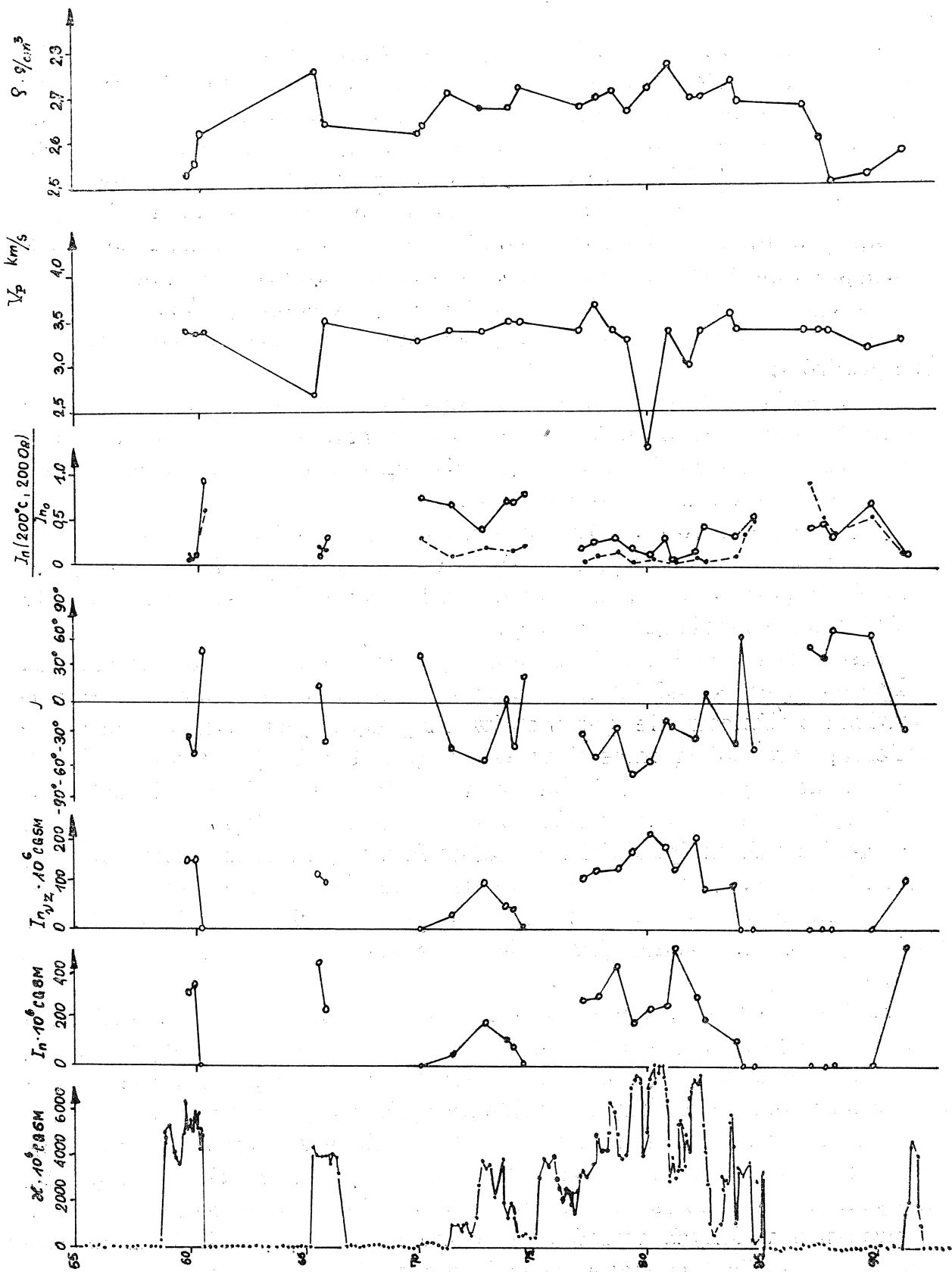
W porównaniu z diabazami lamprofiry stanowią skały lepiej poznane zarówno pod względem geologicznym, jak petrochemicznym i petrofizycznym. Pomiary parametrów fizycznych są prowadzone przez PPG na zlecenie Oddziału Świętokrzyskiego IG oraz w ramach prac postępu technicznego PPG (K. Mizeracka, 1967, 1972). Wachlarz oznaczanych parametrów był identyczny jak w przypadku diabazów. Badaniem objęto rdzenie wiertnicze z otworów Wszachów 1, Wszachów 2 oraz Iwaniska 3. Intruzje lamprofirów wykazują zróżnicowanie właściwości magnetycznych, co szczególnie wyraźnie obserwuje się w przypadku pomiarów próbek z rdzeni z otworu Wszachów 1 (fig. 6). Można tu wyróżnić trzy rodzaje lamprofirów:

od głębokości 77,0 do 83,0 m — występują skały o dużej podatności magnetycznej, lecz o małej stabilności w odniesieniu do temperatury i pola zmiennego. Skały te cechuje duża wartość lepkiej pozostałości magnetycznej i ujemna wartość inklinacji;

od głębokości 70,1 do 72,5 m oraz od 73,8 do 75,0 m i od 87,0 do 88,7 m stwierdzono strefy, w których występują lamprofiry o małej podatności i pozostałości magnetycznej, większej stabilności oraz z reguły o dodatnich wartościach inklinacji.

Pozostałe części intruzji reprezentują trzeci typ skały o parametrach magnetycznych pośrednich między wyżej omówionymi odmianami. Przedstawione zróżnicowanie parametrów magnetycznych wiązać należy ze zmienną zawartością minerałów femicznych takich, jak biotyt, limonit, chloryt, hematyt, a w szczególności magnetyt. Ten ostatni minerał tworzył się w lamprofirach wielokrotnie, w różnych etapach przeobrażeń endogenicznych skały. Ilości minerałów femicznych są zmienne i nie ma tu zastosowania reguła, że im świeższa skała, tym więcej w niej minerałów magnetycznych. Jedynie „kwaśna skała z Sierakowa”, ostateczny produkt rozpadu lamprofiru, zawiera śladowe ilości związków żelaza (fig. 8).

M. Tarnowska (1969) wyróżnia trzy zasadnicze etapy przeobrażeń wietrzeniowych lamprofirów. W stadium początkowym skała, pod działaniem wód zawierających tlen, zaczyna się przeobrażać wzdłuż kierunków spękań ciosowych i tektonicznych. Na powierzchni spękań powstają rdzawobrunatne skupienia wodorotlenków Fe, limonityzacja obejmuje też częściowo zewnętrzne strefy niektórych minerałów np. pirytu, biotyту. Innym nowo utworzonym minerałom supergenicznym brak. Z procesów wtórnych wyraźnie zaznacza się chlorytyzacja i karbonatyzacja. Lamprofir zachowuje generalnie pierwotny skład mineralny, teksturę i cechy fizyczne (fig. 7, tab. 6). Stadium pośrednie reprezentują lamprofiry z głębszych partii odsłonień, położone w niewielkiej odległości ponad zwierciadłem wód gruntowych. Procesy rozpuszczania



głębokość otworu depth of borehole

i utleniania są zaawansowane. Minerale supergeniczne (limonit, kaolin) oraz krzemionka w różnym stopniu zastępują minerały pierwotne. Lamprofir przyjmuje teksturę porowatą, staje się lżejszy, kruchy i bardziej miękki. Zmienia barwę z szarej na żółtoszarą, rdzawożółtą. Magnetyt ulega częściowemu utlenieniu, biotyt — hydratacji, zmniejszają się własności magnetyczne skały (fig. 7, 8, tab. 6). Stadium końcowe obejmuje

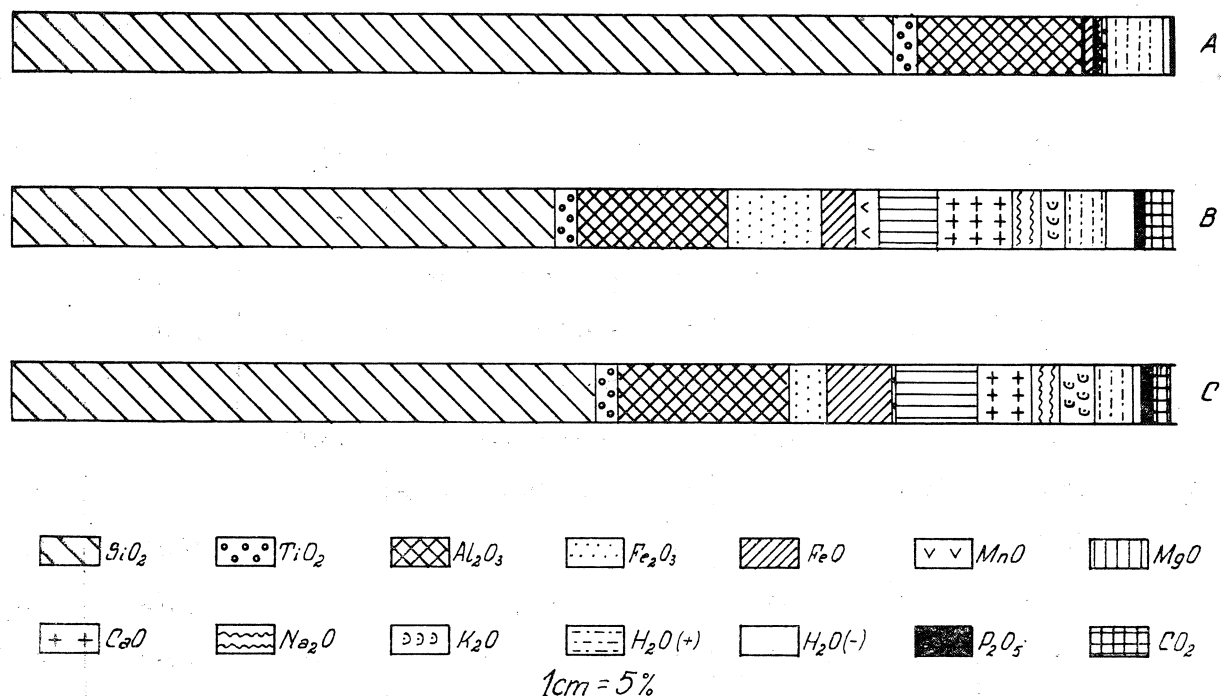


Fig. 7. Zmiany chemizmu lamprofirów w wyniku procesów wietrzenia. A — lamprofir całkowicie rozłożony; B — lamprofir zwietrzały; C — lamprofir świeży

Fig. 7. Variation of chemical composition of lamprophyres due to weathering processes. A — completely decomposed lamprophyre; B — weathered lamprophyre; C — fresh rock

powierzchniowe części dajek poddane bezpośredniemu i długotrwałemu działaniu wód i innych czynników wietrzeniowych. Skała jest silnie zmieniona, niepodobna do lamprofiru świeżego. Składa się wyłącznie z kaolinu, krzemionki i wodorotlenków Fe, wśród których zachowały się relikty, pseudomorfozy i szkielety minerałów pierwotnych. Skała przyjmuje teksturę porowatą lub luźną, nie scementowaną. Barwa jej jest jasna, kremowożółta. „Lamprofir” staje się miękki, ma małą gęstość masy (poniżej 2 G/cm³), jest niepobudliwy magnetycznie, rozsypliwy w wodzie. Magnetyt jest całkowicie utleniony, biotyt przeobraził się w hydrobiotyt i wermikulit. W masie skały dominuje kaolin (fig. 7, 8). Zmienność chemizmu lamprofirów świętokrzyskich wraz z zaawansowaniem procesów

Fig. 6. Zestawienie wykresów parametrów fizycznych skał w wierceniu Wszachów 1 (wg K. Mizerackiej, 1972 i autora). Oznaczenie symboli na fig. 9

Fig. 6. Diagram showing variation of physical parameters of rocks in the bore-hole Wszachów 1 (after K. Mizeracka, 1972 and the author). For symbols see Fig. 9

Tabela 6

Zmienność chemizmu, składu mineralnego i własności fizycznych lamprofirów świętokrzyskich
 Variability of chemical and mineral composition and physical properties of lamprophyres
 of the Holy Cross Mts

Składnik Component	Skład chemiczny lamprofiru Chemical composition of lamprophyres %			Minerał Mineral	Skład mineralny "normatywny" lamprofiru Normative mineral composition of lamprophyres %		
	rozłożony altered	zwietrzały weathered	świeży fresh		rozłożony altered	zwietrzały weathered	świeży fresh
SiO ₂	75,52	58,00	53,20	kwarc - quartz	75,90	24,22	16,25
TiO ₂	2,01	2,66	1,48	ortoklaz - orthoclase	2,36	7,29	19,76
Al ₂ O ₃	14,26	23,87	14,51	albit - albite	3,91	25,81	23,60
Fe ₂ O ₃	0,27	2,80	2,50	anortyt - anorthite		4,24	15,81
FeO	0,72	0,22	7,41	korund - corundum	23,90	6,61	3,79
MnO	ślady	0,02	0,08	hipersten - hypersthene			9,90
MgO	ślady	0,30	6,56	enstatyt - enstatite		14,55	7,28
CaO	0,35	0,50	2,53	magnetyt - magnetite	0,48	0,63	3,68
Na ₂ O	0,47	0,20	3,45	ilmenit - ilmenite	1,29	3,98	2,29
K ₂ O	0,42	2,23	3,30	hematyt - haematite		2,10	4,12
H ₂ O+	4,87	7,10	3,13	apatyt - apatite	0,71	2,57	2,06
H ₂ O-	0,58	1,40	0,46	piryt - pyrite			0,75
P ₂ O ₅	0,31	0,09	0,84	rutyl - rutile	1,45		
CO ₂	-	ślady	0,37	kalcyt - calcite			0,46
S	-	0,05	0,64				
BaO	-	-	0,20	Dane wg - Data according to J.Kardymowicz, 1967; M.Tarnowska, 1969; K.Mizeracka, 1967, 1971; R.Blus, 1967; A.Jaworski, 1972.			
Li	-	-	-				

Ciężar objętościowy — Volume weight (g/cm³):

lamprofir zwietrzały — weathered lamprophyre	1,80—2,19
lamprofir świeży — unaltered lamprophyre	2,53—2,70
lamprofir z wiercenia Wszachów 1a — lamprophyre from bore-hole Wszachów 1a	2,51—2,78
średnia — average	2,66

Porowatość w % — Porosity in %:

lamprofir zwietrzały — weathered lamprophyre	21, 4 — 33,2
lamprofir świeży — unaltered lamprophyre	3,8 — 4,5
lamprofir z wiercenia Wszachów 1a — lamprophyre from bore-hole Wszachów 1a	0,30— 3,86
średnia — average	1,48

wietrzeniowych obrazuje fig. 7. Wraz z intensywnością wietrzenia zwiększa się zawartość Fe_2O_3 w skałach zwietrzałych (B) w porównaniu ze skałami świeżymi (C), osiągając minimum w produktach końcowego roz-

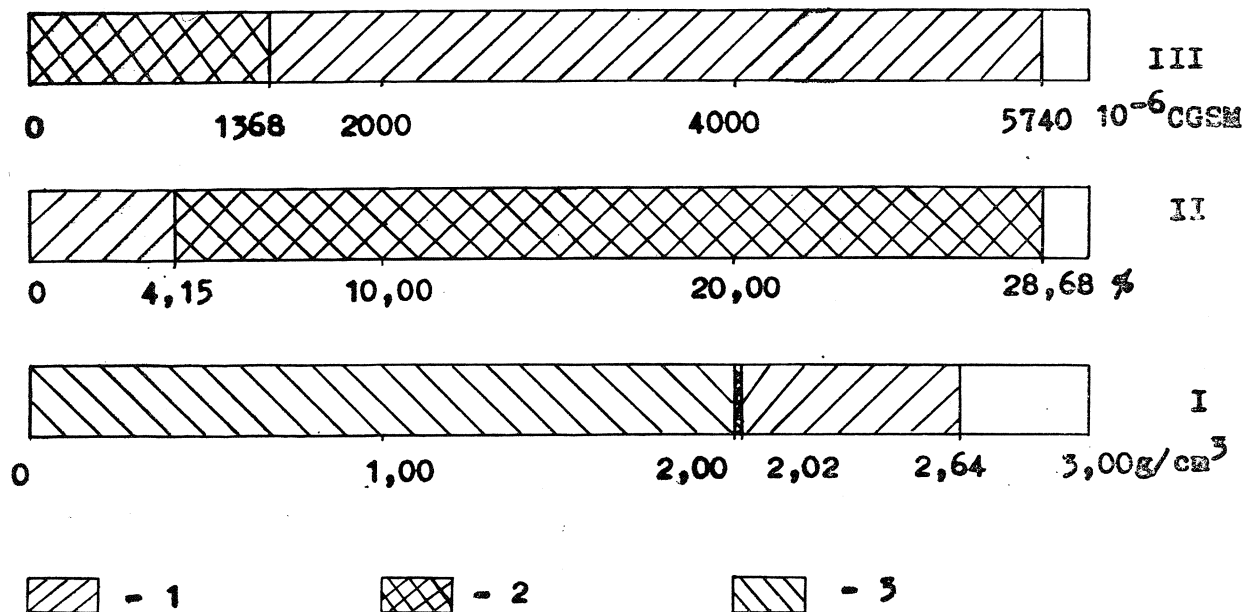


Fig. 8. Zmiany właściwości lamprofirów w zależności od stopnia zwietrzenia tych skał. I — gęstości przestrzenne; II — porowatości względne; III — podatność magnetyczna. 1 — lamprofiry świeże; 2 — lamprofiry zwietrzałe; 3 — lamprofiry rozłożone

Fig. 8. Variation of physical properties of lamprophyres depending on the degree of their weathering. I — volume density; II — relative porosity; III — magnetic susceptibility. 1 — fresh rocks; 2 — weathered rocks; 3 — decomposed rocks

kładu tych skał (A). Ilość żelaza dwuwartościowego wyraźnie maleje wraz z zaawansowaniem procesów wietrzeniowych. Nic więc dziwnego, że do niedawna napotymano trudności w kartowaniu metodą magnetyczną i geochemiczną lamprofirów całkowicie rozłożonych. Zawartość żelaza i innych metali ciężkich jest w tych skałach minimalna (fig. 6).

Z dotychczasowych badań petrofizycznych wynika, że procesy post-

←	
Właściwości magnetyczne i akustyczne — Magnetic and acoustic properties:	
podatność magnetyczna — magnetic susceptibility	(0—8500) $\times 10^{-6}$ CGSM
naturalna pozostałość magnetyczna — natural magnetic residue	$I_n = (12—760) \times 10^{-6}$ CGSM
inklinacja pozostałości magnetycznej — inclination of magnetic residue	$I = (-73^\circ) — (+89^\circ)$
podatność magnetyczna skał zwietrzałych — magnetic susceptibility of weathered rocks	(0—2000) $\times 10^{-6}$ CGSM
podatność magnetyczna skał świeżych — magnetic susceptibility of fresh rocks	(3000—8500) $\times 10^{-6}$ CGSM
prędkość przewodzenia fal podłużnych w lamprofirach z wiercenia	
Wszachów 1a — velocity of transmittance of longitudinal waves in rocks from bore-hole	2600—4200 m/sec
średnia — average	3800 m/sec

genetycznych przeobrażeń tych skał wyraźnie zaznaczają się w wartościach parametrów magnetycznych, które przedstawiono w tabeli 6. Zestawiono w niej zmienność chemizmu składu mineralnego odmian lamprofirów oraz ich właściwości fizyczne. Zwraca uwagę wybitne zmniejszenie gęstości przestrzennych skał zwietrzałych w stosunku do świeżych i wybitny wzrost porowatości względnych w miarę rozwoju procesów wietrzenia, dochodzący do 33,2%. Wyniki pomiarów prędkości rozchodzenia się fal podłużnych w lamprofirach wykazały, że w świeżych skałach V_p osiąga wartość rzędu 3900—4200 m/sek, w próbkach zwietrzałych natomiast jest znacznie niższa i oscyluje w przedziale 2600—3300 m/s (tab. 6). Twardość akustyczna tych skał wyraża się liczbą 10 400 (dla skał świeżych) oraz 6000 (dla skał zwietrzałych). Kontrast akustyczny między omawianymi skałami jest bardzo wyraźny. Należy podkreślić, że wyniki badań akustycznych oraz gęstości i porowatości lamprofirów z wiercenia Wszechów 1 potwierdzają istnienie 3 stref dajki wyróżnionych na podstawie laboratoryjnych badań magnetycznych (fig. 6). Przedstawione wyniki badań petrochemicznych, geochemicznych i petrofizycznych zdają się wskazywać na zróżnicowanie lamprofirów nie tylko w zależności od procesów wietrzenia, ale także, podobnie jak w przypadku diabazów, na pulsacyjną genezę tych skał. Kontynuacja badań petrofizycznych lamprofirów jest jak najbardziej celowa, zwłaszcza w aspekcie dostarczenia danych do rozwiązania zagadnienia genezy tych skał. Istnieją bowiem poglądy (T. F. W. Barth, 1962, str. 193), że skały tego typu mogą być produktem metasomatozy diabazów. Miałoby to istotne znaczenie dla prognoz metalogenicznych Gór Świętokrzyskich.

BADANIA WSPÓŁZMIENNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH BAZYTÓW ŚWIĘTOKRZYSKICH

Do badań współzmienności właściwości fizycznych omawianych skał zastosowano metodę analizy korelacyjnej (A. Jaworski, 1972a), badanie typów rozkładów częstości parametrów fizycznych według kryterium „momentów centralnych” (D. A. Rodionow, 1964) oraz kryterium Smirnowa. Wyliczenia wykonano na maszynie matematycznej Odra-1204. Ponadto wykonano histogramy rozkładu liczebności badanych parametrów oraz wykresy korelacyjne. Wyniki przeliczeń przedstawiono w tabeli korelacyjnej (fig. 9) sporządzonej dla lamprofirów. Okazało się, że tylko wartość współczynnika Q oraz naturalna pozostałość magnetyczna (I_n) wykazują jednoznaczny, dodatni, liniowy związek korelacyjny, czego się spodziewano na podstawie zależności $Q = \frac{I_n}{0,5\kappa}$ (κ — podatność magnetyczna). Jedynie dla tego przypadku wartość współczynnika prostej korelacji liniowej osiąga wysoką wartość dodatnią ($r_{Q I_n} = 0,671$, $t = 3,25$). Dla pozostałych par właściwości fizycznych uzyskano ujemne wartości współczynników korelacji, co wskazuje na brak prostej zależności liniowej mię-

$r \begin{smallmatrix} t \\ \end{smallmatrix}$	ρ	P_w	κ	I_n	Q	V_p
ρ		-0,19	0,71			0,07
P_w	-0,05		0,20	0,24		
κ	0,17	0,05		0,07	-1,10	
I_n		0,08	0,02		3,25	-0,49
Q			-0,27	0,671		
V_p		0,02		-0,12		$r \begin{smallmatrix} t \\ \end{smallmatrix}$

Fig. 9. Tabela korelacyjna właściwości fizycznych lamprofirów Gór Świętokrzyskich. ρ — gęstość przestrzenna, P_w — porowatość względna, κ — podatność magnetyczna, I_n , I_r — naturalna pozostałość magnetyczna. Q — współczynnik równy $\frac{I_n}{0,5\kappa}$, V_p — prędkość fali podłużnej

Fig. 9. Correlation between physical properties of lamprophyres of the Holy Cross Mts. ρ — volume density, P_w — relative porosity, κ — magnetic susceptibility, I_n , I_r — natural magnetic residue, Q — coefficient $\frac{I_n}{0,5\kappa}$, V_p — longitudinal wave velocity

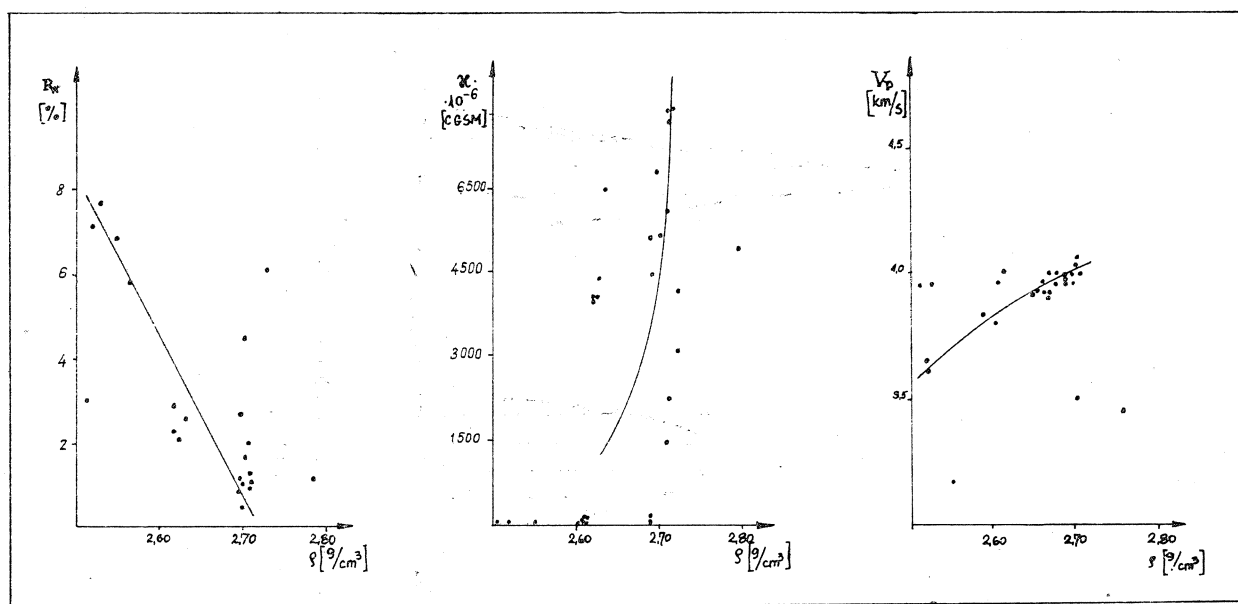


Fig. 10. Współzależność cech fizycznych lamprofirów (objaśnienia jak na fig. 9)
Fig. 10. Covariance of physical properties of lamprophyres (explanations as in Fig. 9)

dzy nimi. Sposób korelacji między niektórymi z nich wykazano na wykresach (fig. 10, 13).

Analiza typów rozkładów liczebności badanych właściwości fizycznych skał (fig. 11, 12) wykazuje, że rozkład ten nie jest normalny dla wartości

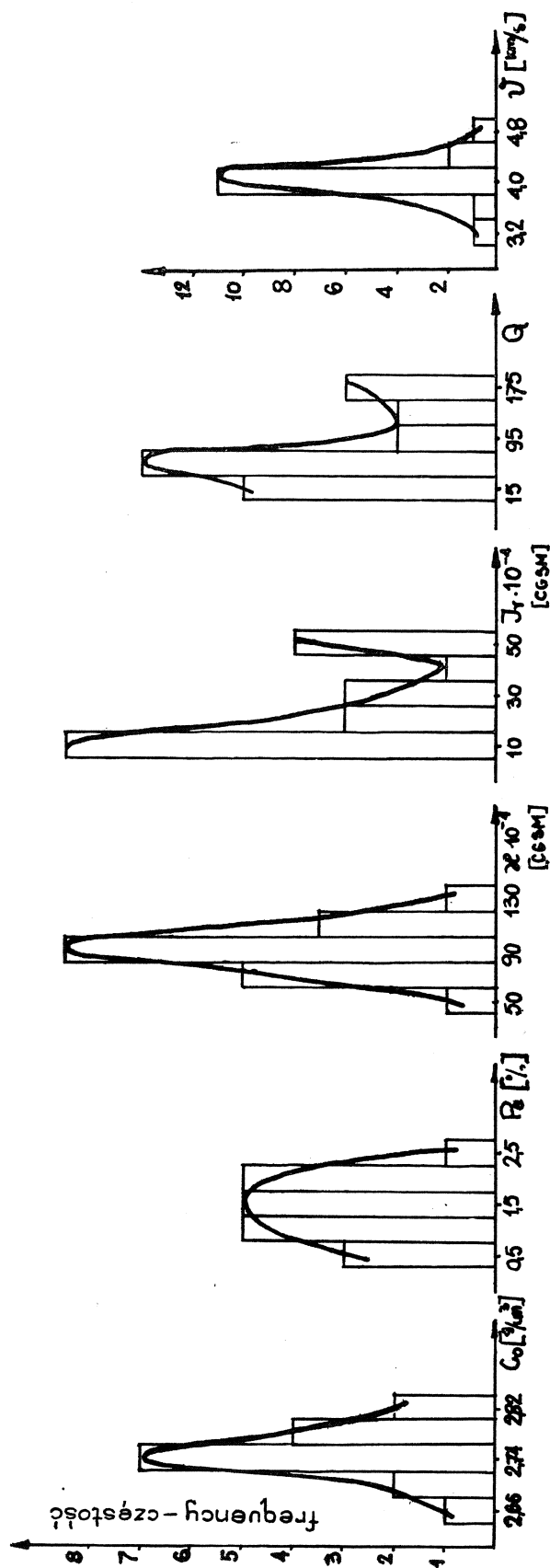


Fig. 11. Histogramy i krzywe rozkładu właściwości fizycznych lamprofirów (objaśnienia jak na fig. 9)

Fig. 11. Histograms and frequency distribution curves for physical properties of lamprophyres (explanations as in Fig. 9)

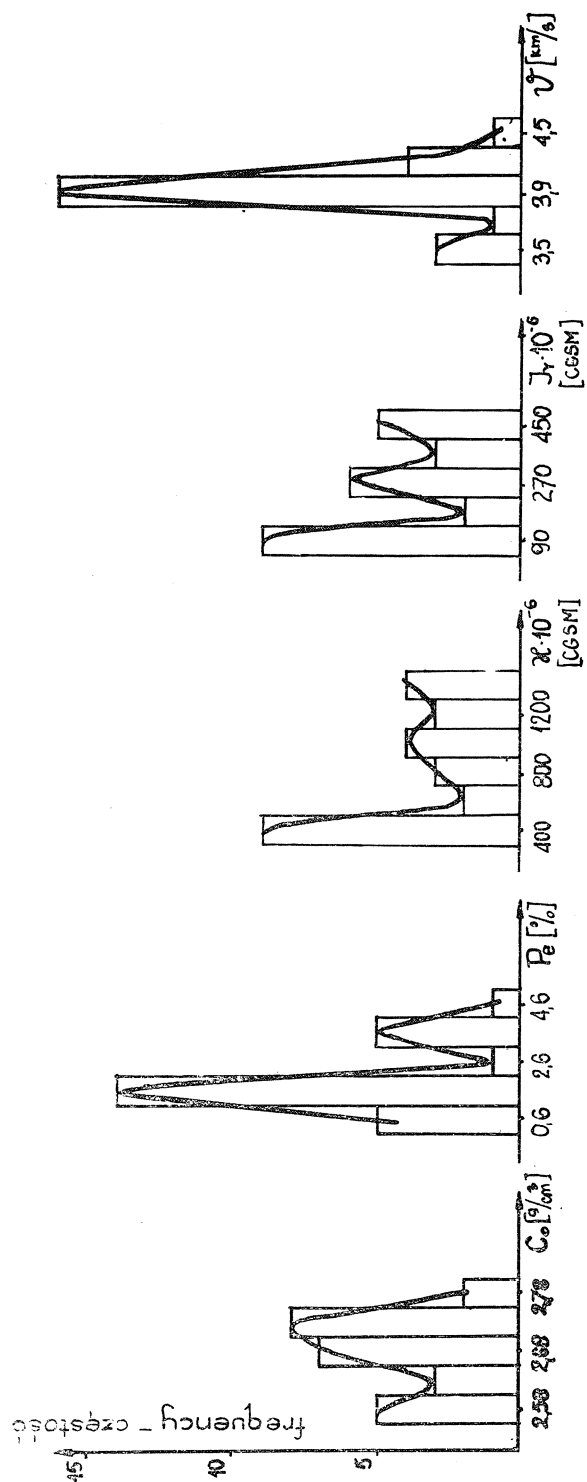


Fig. 12. Histogramy i krzywe rozkładu właściwości fizycznych diabazów (objaśnienia jak na fig. 9)

Fig. 12. Histograms and frequency distribution curves for physical properties of diabases (explanations as in Fig. 9)

κ i In . Badania metodą „momentów centralnych” wykazały, że gęstości przestrzenne i porowatości względne charakteryzuje rozkład normalny, co można wiązać z intensywnymi etapami przemian wtórnych, jakie przeszły lamprofiry w swojej historii geologicznej. Natomiast rozkłady liczebności wartości parametrów magnetycznych (κ i $In(r)$) oraz V_p znacznie odbiegają od rozkładu normalnego. Jest to zapewne wynikiem procesu wielokrotnego tworzenia się magnetytu w późniejszych procesach przemian mineralizacyjno-wietrzeniowych tych skał. Zawartość tego minerału ma jak wiadomo największy wpływ na wielkość podatności magnetycznej mierzonej w próbce skały. Z histogramu i krzywej rozkładu dla prędkości fal podłużnych w lamprofirach (fig. 11) sądzić można, że V_p reprezentuje także normalny typ rozkładu. Badania przy pomocy momentów centralnych wykazało jednak, że rozkład V_p znacznie odbiega od normalnego. Zagadnienie niezgodności wyników obu metod przedyskutowano we wcześniejszym opracowaniu autora (A. Jaworski, 1972a). Dla diabazów świętokrzyskich wykonano tylko graficzną interpretację wyników oznaczeń (fig. 13) z uwagi na niewielką ich ilość. Wyraźne geochemiczno-mi-

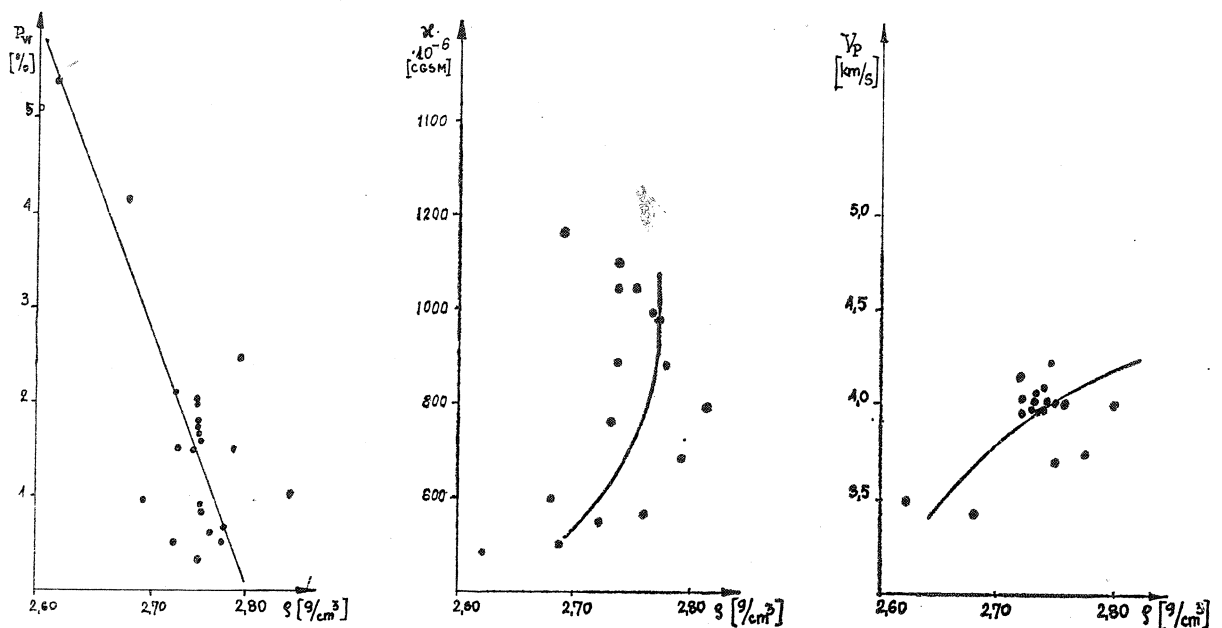


Fig. 13. Współmienność właściwości fizycznych diabazów (objaśnienia jak na fig. 9)

Fig. 13. Covariance of physical properties of diabases (explanations as in Fig. 9)

neralogiczne podobieństwo tych skał do lamprofirów oraz zbliżone ich właściwości fizyczne (dla skał świeżych) pozwalają sądzić, że omówione powyżej związki korelacyjne są także charakterystyczne dla właściwości fizycznych diabazów.

Istnieje potrzeba wykonania kompleksowych badań właściwości fizycznych omawianych magmowców w celu potwierdzenia przedstawionych wyżej zależności, które należy traktować jako rozważania wstępne.

WNIOSKI

W pracy wykazano ścisły związek wyników badań parametrów fizycznych z danymi dotyczącymi petrochemii, mineralogii i geochemii badanych skał z uwzględnieniem sposobów ich występowania w rejonie Gór Świętokrzyskich. Pozwoliło to na stwierdzenie współzależności danych parametrycznych ze składem, budową skały i procesami jej endogenicznymi i egzogenicznymi przeobrażeń. Z przedstawionych rozważań wynika, że:

1. Zawartości metali ciężkich w diabazach i lamprofirach nie wykazują większego zróżnicowania (tab. 1).

2. Strefy wietrzenia lamprofirów zaznaczają się na powierzchni terenu (w glebach) wzrostem zawartości Ni, Zn, Pb w stosunku do klarków. Wyjątek stanowią obszary występowania lamprofirów całkowicie rozłożonych.

3. Podobieństwo geochemiczne lamprofirów i diabazów potwierdza tezę I. K a r d y m o w i c z (1967) o możliwości komagmatyzmu tych skał.

4. Istnieje w magmowcach świętokrzyskich prosta korelacja liniowa pierwiastków grupy żelaza z innymi metalami (tab. 2—4).

5. Stwierdzono związki miedzi z Ni, Co, Cr w diabazach, co sugeruje duże podobieństwo geochemiczne tych pierwiastków i podobny sposób ich zaangażowania w procesach tworzenia się i przeobrażeń tych skał.

6. Zawartości badanych metali w diabazach i lamprofirach odznaczają się na ogół lognormalnym typem rozkładu, natomiast w zwietrzelinach tych skał i w glebach rozkład ten jest normalny.

7. Badania petrofizyczne bazytów świętokrzyskich potwierdziły sugerowaną przez geologów wielostadialność genezy tych skał.

8. Istnieje konieczność kontynuacji kompleksowych badań właściwości fizycznych lamprofirów i diabazów Gór Świętokrzyskich w celu uzyskania dostatecznej ilości danych do wyjaśnienia procesów powstawania tych skał oraz umiejscowienia tych procesów w czasie (badania paleomagnetyczne).

9. Stwierdzono istnienie prostej dodatniej korelacji liniowej między współczynnikiem Q i naturalną pozostałością magnetyczną I_n oraz statystycznie wykazano brak tej zależności między α , I_n oraz V_p . Badania statystyczne wykazały, że między q i P_w istnieje prosta, ujemna korelacja liniowa.

*Zakład Petrofizyki i Modelowania Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych,
03-301 Warszawa, ul. Stalingradzka 34.*

WYKAZ LITERATURY REFERENCES

Barth R. F. W. (1962), Theoretical petrology. New York.

Blus R. (1967), Dokumentacja ciężarów objętościowych i porowatości skał. Arch. PPG, Warszawa.

- Blus R., Szostak I. (1969), Dokumentacja pomiarów ciężarów objętościowych i porowatości skał. *Arch. PPG*, Warszawa.
- Jaworski A., Fortuńska H. (1964), Możliwości zastosowania badań geochemicznych na przykładzie dyslokacji Łomna w Górach Świętokrzyskich. *Tech. Poszuk.* nr 10 pp. 15—18, Warszawa.
- Jaworski A. (1970), Przyczynek do znajomości geochemii strefy wietrzenia krakowskich skał magmowych. *Prz. geol.* 19, nr 1, pp. 12—20, Warszawa.
- Jaworski A. (1972a), Interpretacja statystyczna w zastosowaniu do badań geochemicznych. *Kwart. geol.* 16, nr 2, pp. 383—404, Warszawa.
- Jaworski A. (1972b), Zastosowanie kompleksowych metod geofizycznych do poszukiwań i rozpoznawania masywów skał ultrazasadowych i zasadowych w Sudetach. *Tech. Poszuk.* nr 39, pp. 13—24, Warszawa.
- Jaworski A. (1972c), Metale ciężkie w glebach Gór Świętokrzyskich. *Kwart. geol.* 16, nr 4, pp. 965—977, Warszawa.
- Jaworski A. (1973), Petrofizyczne własności intruzji magmowych Gór Świętokrzyskich. *Petrofizyka Skał. Materiały Sesji Naukowej.* pp. 115—126, Kraków.
- Jaworski A. (1973a), Geochemia pierwiastków grupy żelaza w strefie wietrzenia skał zasadowych i ultrazasadowych południowo-zachodniej i południowej Polski. *Biul. Inst. Geol.* 269, pp. 115—224, Warszawa.
- Kardymowicz I. (1957), Z petrografii diabazów Gór Świętokrzyskich. *Kwart. geol.* 1, nr 1, pp. 139—154, Warszawa.
- Kardymowicz I. (1967), Intruzje mniejsze Gór Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.* 197, pp. 329—410, Warszawa.
- Lenartowicz L. (1968), Poszukiwania geochemiczne metodą hydrochemiczną i potoków rozszania na obszarze Gór Świętokrzyskich. *Arch. Inst. Geol.*, Warszawa.
- Michalek Z., Zabiński W. (1957), Wyniki wstępnych badań geochemicznych w magmowych skałach krakowskich. *Biul. Inst. Geol.* nr 115, pp. 149—164, Warszawa.
- Mizeracka K. (1967), Sprawozdanie techniczne z pomiarów parametrów magnetycznych otworów wiertniczych rej. kielecczyzny. *Arch. PPG*, Warszawa.
- Mizeracka K. (1972), Opracowanie metodyki i techniki badań stabilności naturalnej pozostałości magnetycznej próbek skał. *Pr. Post. Tech. Arch. PPG*, Warszawa.
- Narębski W. (1966), Geochemia pierwiastków grupy żelaza w amfibolitach formacji Heckla Hoek ziemi Wedel-Jarlsberga (Spitsbergen zachodni). *Arch. Miner.* 26 1/2, pp. 167—214, Kraków.
- Pawłowski St. (1947), Anomalie magnetyczne w okolicy wsi Św. Katarzyna-Psary. *Biul. PIG*, 35, pp. 1—29, Warszawa.
- Rubinowski Z. (1967), Geologiczno-strukturalne warunki występowania skał magmowych w Górach Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.* nr 197, pp. 413—450, Warszawa.
- Szczepanowski W. (1963), Badania geochemiczne wulkanitów Gór Świętokrzyskich. Cz. I — Lamprofiry. *Kwart. geol.* 6, nr 3, pp. 313—329, Warszawa.
- Szczepanowski W. (1963), Badania geochemiczne wulkanitów Gór Świętokrzyskich. Cz. II — Diabazy. *Kwart. geol.* 7, nr 1, pp. 53—62, Warszawa.
- Tarnowska M. (1969), Nowe podczwartorzędowe wychodnie lamprofirów w Górach Świętokrzyskich. *Kwart. geol.* 13, nr 4, pp. 754—775, Warszawa.
- Vinogradov A. P.—Виноградов А. П. (1957)—Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. *Изд. АН СССР*, Москва.
- Vinogradov A. P.—Виноградов А. П. (1962)—Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород. *Геохимия* Но 7, стр. 551—571, Москва.
- Rodionov D. A. — Родионов Д. А. (1964) — Функции распределения содержания элементов и минералов в изверженных горных породах. *Изд. Наука*, Москва.

SUMMARY

Abstract. Statistical examination of heavy metal distribution in diabases has shown significant linear correlation between the following pairs of elements: Ni-Co, Ni-Cr, Cu-Pb. Multiply correlation exists in associations: Ni-Co-Cr and Cu-Ni-Co. In lamprophyres significant correlation was found between Cu-Pb, and in the associations Cu-Zn-Pb and Ni-Co-Cr.

Diabases and lamprophyres occur within so called Paleozoic core of the Góry Świętokrzyskie Mts. in the form of dykes, sills and volcanic necks as well as irregular intrusive bodies. The former rocks are cutting Cambrian and Silurian deposits, whilst lamprophyres — Cambrian and Emsian ones. Lamprophyres are widespread at the SW margin of the Kielce—Łagów synclinorium, whereas the outcrops of diabases are situated more southwards. In the region Wieleki—Sieraków the zone of occurrence of diabases crosses that of lamprophyres, whereby the latter displays NW—SE strike (Fig. 1).

Another region of occurrence of diabases (with no lamprophyres) is nearly meridional Psary—Wzorki—Św. Katarzyna zone in the Łysogóry Mts. region. All the intrusions found occur in the zone of hypergenesis.

Four petrographic varieties of diabases were distinguished: normal (olivine-free), spilitic, adularized and greenstone-like one (Kardymowicz 1967). No matter of difference in mineral composition these rocks display similar chemistry (Fig. 2). The iron group element contents in diabases from various localities are very similar too. All these and other geochemical data (Table 1) clearly indicate comagmatism of the rocks in question.

Increased concentrations of zinc, lead and copper in diabases suggests the presence of polymetallic mineralization connected with these rocks. The content of elements of the iron group (except cobalt) is lower than clarks for basaltic rocks (Table 1). Considerable increase of nickel content is characteristic of weathering zones of these intrusions.

Statistical examination of heavy metal distributions in diabases was carried out using Odra 1204 computer by means of calculation scheme proposed by Narębski (1966) and Jaworski (1972a). Significant linear correlation was found to exist between the following pairs of elements in diabases: Ni—Co, Ni—Cr, Zn—Pb, Cu—Pb (Tab. 2, 3, Fig. 2). The probability level of correlation 83—95% is characteristic of covariance of Cr and Co as well as among Ni, Co and Cr. Examinations of multiply correlation (R) indicate strong association of Ni, Co and Cr ($R_{Ni, Co, Cr} = 0.66$) and of Cu, Ni and Co ($R_{Cu, Ni, Co} = 0.5$) in diabases under consideration. Highly significant correlation of Cu with Co and Cr in diabases and soils overlying basic rocks of the Cracow region (Jaworski 1970, 1973) indicate strong geochemical relationship between copper and elements of the iron group.

Except copper, all the trace metals occurring in diabases display log-normal frequency distributions (Fig. 3, Table 2), whereas in their weathering zones (soils) the latter are close to normality.

The results of petrophysical investigations of diabases are given in table 5. Considerable variability of values of magnetic susceptibility for these rocks ($0-14\,000 \cdot 10^{-6}$ CGSM) as well as of natural magnetic residue ($0-12\,000 \cdot 10^{-6}$ CGSM) is probably connected with variable content of ferromagnetic and other Fe^{2+} -bearing minerals, being the result of both hypogene and hydrothermal processes.

Three zones were distinguished in a diabase dike from the bore hole Pragowiec 1a on the basis of complex geophysical study. Marginal zones (the top and the bottom one) distinctly differ in magnetic and acoustic properties from the central one (Fig. 5). Similar differences are observed regarding volume density and relative porosity of the rocks in question. In the present author's opinion this is due to the two-stage (pulsation) origin of this intrusion. Average volume density of diabase (2.7 G/cm^3) is characteristic of rocks subjected to weathering processes. This suggestion is confirmed by the results of acoustic investigations (Table 5, Fig. 5).

Lamprophyres are represented by two petrographic varieties: biotite-pyroxene and biotite-carbonate ones. Because of small petrographic differences and similar trace element contents, they are supposed to be comagmatic (Table 1, 4). Variability of chemical composition of lamprophyres and of their physical properties is supposed to be connected with more advanced weathering processes when compared with diabases (Table 6, Fig. 7, 8).

Trace element contents in lamprophyres are considerably variable, whereby Ba, Zn and Pb display abnormally high concentrations. Their distributions are characterized by high standard deviations and variation coefficients (Table 4), complicating statistical interpretations. The only significant correlation was found to exist between copper and lead (Fig. 2) as well as in the association Ca—Zn—Pb (Table 3) and Ni—Co—Cr one but in the latter case the probability level is 68%. Trace element frequency distributions in lamprophyres are lognormal in type (Table 4, Fig. 4) whilst in weathering zones of these rocks and in soils — approach normality (Jaworski 1973a, 1973).

The results of investigation of physical properties of lamprophyres are listed in Table 6. Variability of these parameters is strictly connected with weathering of these rocks, causing considerable changes of their chemical composition (Fig. 7, 8). Similar conclusion follows from magnetic and acoustic properties and from determination of volume densities and relative porosities (Fig. 6).

Statistical testing of covariance of physical properties of igneous rocks in question has proved the existence of positive linear correlation between Q coefficient and natural magnetic residue I_n . This relationship re-

sults, obviously, from the equation $Q = \frac{In}{0.5\kappa}$ (Fig. 9). Negative linear correlation indicates covariance of volume densities and relative porosities (Fig. 9, 10 and 13). Correlations between other physical properties of diabases and lamprophyres are diagrammatically presented in fig. 10 nad 12.

Distribution pattern of values of magnetic susceptibility, natural magnetic residue and velocity of longitudinal waves in the basites under consideration is not normal (Fig. 11, 12).

Examination by means of central moments has shown that frequency distribution of volume density and relative porosity in diabases and lamprophyres are normal in type.

translated by W. Narębski

Geophysical Prospecting Company.

*Mailing address: Zakład Petrofizyki i Modelowania PPG,
03-301 Warszawa, 34 Stalingradzka str.*