

Andrzej JAWORSKI*

STUDIUM PETROFIZYCZNE GÓR KACZAWSKICH (SUDETY ZACHODNIE)

SPIS TREŚCI

Streszczenie	61
Wstęp	61
Metoda badań polowych i laboratoryjnych	62
Charakterystyka petrofizyczna głównych odmian skalnych	63
Charakterystyka petrofizyczna głównych jednostek tektonicznych Gór Kaczawskich	71
Uwagi końcowe	76
Literatura	76
Regional petrophysical study of the Kaczawskie Mts (Western Sudetes) -- summary	78

Streszczenie

Podano charakterystykę gęstości, porowatości i własności magnetycznych głównych odmian petrograficznych skał budujących Góry Kaczawskie. Wykazano zróżnicowanie petrofizyczne utworów dolnego i górnego piętra tektonicznego tych gór, przeanalizowano planarny obraz zmian gęstości skał podzwartorzędowych i jego związek z wynikami badań gra-

wimetrycznych. Opracowano petrofizyczną charakterystykę jednostek tektonicznych wyższego rzędu w obrębie Gór Kaczawskich oraz struktur sąsiednich, a także jedną z najprawdopodobniejszych, zdaniem autora, wersji pionowego rozkładu bloków fizycznych o zróżnicowanych gęstościach.

WSTĘP

Góry Kaczawskie stanowią jedną z głównych jednostek geologicznych Sudetów Zachodnich, o skomplikowanej tektonice i nie w pełni jeszcze jasnej stratygrafii utworów, zwłaszcza metamorficznych. Wszechstronne rozpoznanie litostratygrafii i pozycji tektonicznej tych skał ma szczególne znaczenie dla geologii regionalnej Sudetów i Gór Kruszcowych, umożliwia bowiem korelację struktur tektonicznych, wykrytych w obrębie tych gór, oraz porównanie serii skalnych często paleontologicznie „niemych”, budujących paleozoiczne i starsze kompleksy strukturalne. Udział badań petrofizycznych w rozpoznaniu metamorfizmu kaczawskiego jest niewielki, mimo możliwości uzyskania rozlicznych informacji o stanie fizycznym ośrodka skalnego, jakie się otrzymuje w badaniach parametrycznych próbek skał wykona-

nych w warunkach laboratoryjnych oraz w quasi-naturalnych (w komorze wysokich ciśnień i temperatur), możliwości datowania skał metodą paleomagnetyczną oraz odtwarzania procesów fizycznych w historii geologicznej skał (prace modelowe). Na temat szerszego niż dotychczas wykorzystania petrofizyki do rozwiązywania wielu zagadnień z zakresu planu prac Instytutu Geologicznego autor wypowiedział się już wcześniej (Jaworski 1974a).

W niniejszej pracy przedstawiono pierwszą próbę regionalnego opracowania i geologicznej interpretacji danych parametrycznych (gęstości, porowatości i własności magnetycznych skał) profilu litostratygraficznego Gór Kaczawskich oraz petrofizyczną charakterystykę poszczególnych jednostek tektonicznych wyższego rzędu tych gór

* Ośrodek Badawczo-Doświadczalny Geofizyki Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych, ul. Stalingradzka 34, 03-301 Warszawa.

w nawiązaniu do sąsiednich struktur. Odnosne dane zestawiono w formie tabelarycznej i graficznej przydatnej do interpretacji ilościowej i jakościowej wyników powierzchniowych badań geofizycznych (grawimetrycznych i magnetycznych) oraz do planowania pomiarów prospekcyjnych w celu poszukiwania złóż rud metali i ogólnego rozpoznania geologiczno-geofizycznego omawianego regionu.

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów własności fizycznych skał wykonywanych przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych (PBG) od 1966 roku na zlecenie Instytutu Geologicznego w Warszawie, oraz wyniki badań autora dotyczących surowców węglanowych Polski (Jaworski 1978,

1980). Wyniki pomiarów parametrów fizycznych skał z poszczególnych odkrywek i wierceń są zamieszczone w kilkudziesięciu dokumentacjach z lat 1967–1981, opracowanych przez R. Blusa, A. Jaworskiego, K. Mizeracką, R. Szporko i I. Szostak oraz złożonych w archiwum PBG; ważniejsze z nich są cytowane w tekście. W obrębie Gór Kaczawskich wykonano 25 636 pomiarów gęstości objętościowej, 2280 pomiarów porowatości względnej oraz 1044 pomiary własności magnetycznych skał z odsłoneń powierzchniowych. Uwzględniono także wyniki badań petrofizycznych rdzeni pochodzących z 28 otworów wiertniczych. Lokalizację miejsc pobrania próbek i wierceń przedstawia figura 2.

METODA BADAŃ POLOWYCH I LABORATORYJNYCH

Próbki do badań laboratoryjnych pobierano z odsłoneń skalnych (wytypowanych w porozumieniu z T. Morawskim z Oddziału Dolnośląskiego IG), w których ukazywały się utwory geologiczne typowe dla poszczególnych pięter tektonicznych Gór Kaczawskich. Liczba okazów uzależniona była od wielkości wychodni i jej litologicznego zróżnicowania. Przeciętnie pobierano 120 próbek skał do badań gęstości i porowatości oraz kilkanaście okazów o większych wymiarach, zorientowanych w stosunku do północy magnetycznej, przeznaczonych do pomiarów podatności (α) i pozostałości magnetycznej (I_n). Wybierano partie skał najmniej zwietrzałe. Odkrywki lokalizowano na mapach w skali 1 : 50 000 i zaopatrywano w szkic topograficzny w skali 1 : 25 000. Z rdzeni wiertniczych pobierano próbki co 25 cm; krok pomiarów podatności magnetycznej tych skał wynosił 10 cm.

Analiza materiału pomiarowego wykazała, że pomiary gęstości skał wykonane przed rokiem 1966 (metodą parafinową i rtęciową) są nieporównywalne z późniejszymi, których jest znacznie więcej. Część wyników oznaczeń gęstości z wyżej wymienionych przyczyn pominięto. Należy podkreślić planarną nierównomierność opróbowania wychodni skał, zwłaszcza w obrębie północnego pnia Gór Kaczawskich.

Badania petrofizyczne próbek skalnych były ograniczone do pomiarów gęstości objętościowej (σ) i, w mniejszym zakresie, porowatości względnej (P_w). Własności magnetyczne scharakteryzowano wynikami pomiarów podatności (α) i naturalnej pozostałości magnetycznej (I_n).

Gęstość objętościowa jest stosunkiem masy próbki skalnej, nasyconej w 100% cieczą

o gęstości 1 g/cm³, do jej objętości wyznaczonej łącznie z objętością próżni międzyziarnowych. Parametr ten określa wzór:

$$\sigma = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \text{ [g/cm}^3\text{]},$$

gdzie: m_1 – masa szkieletu skalnego próbki wraz z porami zamkniętymi; V_1 – objętość szkieletu skalnego próbki i porów zamkniętych; m_2 – masa płynu nasycającego pory drożne próbki; V_2 – jego objętość. Pomiar wykonywano gęstościomierzem produkcji PBG o dokładności odczytu 0,01 g/cm³; błąd pomiaru wynosił 0,1% mierzonej wielkości (Basista, Dąbrowski 1981). Gęstość mierzona w ten sposób jest bardzo bliska wartości tego parametru skały w warunkach jej naturalnego występowania.

Porowatość względną skał (P_w) obliczono według wzoru:

$$P_w = \frac{m_3 - m_4}{m_3 - m_5} \cdot 100 \text{ [%]},$$

gdzie: m_3 – masa próbki nasyconej płynem o gęstości 1 g/cm³; m_4 – masa próbki wysuszonej w temp. 105°C do stałej masy; m_5 – masa próbki nasyconej i ważonej na gęstościomierzu w płynie o gęstości 1 g/cm³. Błąd pomiaru porowatości oceniono na 0,5% mierzonych wielkości.

Powyższe metody pomiaru są stosowane do próbek skał zwięzłych. Pomiary σ i P_w skał sypkich i słabo zwięzłych nie znalazły, jak dotąd, właściwego opracowania metodycznego zarówno w kraju, jak i na świecie. W latach 1965–1977 stosowano w PBG metodę pomiaru gęstości skał piaszczysto-żwirowych i mułowcowych w stanie zawilgocenia, co w pewnej mierze odpowiada gę-

stości tych utworów występujących powyżej powierzchni zwierciadła wód gruntowych. Basista i Dąbrowski (1981) wskazują, że wynik pomiaru nie może być porównywany ani z oznaczeniami gęstości objętościowej, ani też pozornej. Tok postępowania był następujący. Próbkę osadu pobraną w terenie wsypywano do naczynia o stałej objętości (10 cm^3), o drobno perforowanym dnie, następnie utrząsano w celu uzyskania gęstszego upakowania ziarn mineralnych i zwilżano przez zanurzenie pojemnika w kuwecie z wodą. Naczynie po wyjęciu osuszano bibułą i ważono na wadze technicznej. Tak oznaczona gęstość (stosunek masy do objętości w ten sposób spreparowanej próbki) ma charakter orientacyjny i nie jest jasne, czy chodzi tu o błąd in plus, czy też in minus. Zdaniem Królikowskiego (1981) wartość ta jest zaniżona, w związku z czym autor ten proponuje w cytowanej pracy wniesienie odpowiedniej poprawki na tzw. „zredukowaną” wartość gęstości. Utwory sypkie w obrębie Gór Kaczawskich były badane sporadycznie; odnośne dane liczbowe dla tych skał podał autor bez wprowadzenia, dyskusyjnej zresztą, metody redukcji wartości gęstości.

Własności magnetyczne skał scharakteryzowano na podstawie pomiarów podatności magnetycznej (κ), natężenia (In) i kierunku naturalnej pozostałości magnetycznej oraz przez wyliczenie wartości współczynnika Koenigsbergera (Q) dla każdej badanej próbki. Podatność magnetyczną mierzono kappametrem IMW-2 produkcji radzieckiej, który umożliwia wykonanie pomiaru w zakresie $(2 \cdot 10^{-6} - 1) \cdot 4 \cdot \pi \text{ SI}$. Odczyty wykonywano z dokładnością do jednej dziesiątej przyrządu, co na zakresie pierwszym odpowiada wartości $\kappa = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \text{ SI}$. Dla każdej próbki sześcienną wykonywano 6 pomiarów kappametrem; średnia arytmetyczna z nich pomnożona przez zakres skały, na której dokonywano odczytu, oraz

przez współczynnik 3,5 daje wartość κ próbki. Współczynnik 3,5 stanowi korektę wskazań przyrządu, związaną z wykonywaniem pomiarów na próbkach o małej masie (wymary kostek $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$), i został wyznaczony eksperymentalnie.

Pomiary natężenia i kierunku naturalnej pozostałości magnetycznej wykonano magnetometrem rotacyjnym IR-3 produkcji czeskiej. Czułość przyrządu wynosi 4 pT, jednak z uwagi na wysoki poziom szumów pomiary składowych natężeń In wykonywano z dokładnością 0,02 nT. W zależności od wielkości wychyleń, dla każdej składowej In (In_x, In_y, In_z) wykonywano od 2 do 4 odczytów, z których obliczano średnią arytmetyczną. Z danych tych obliczono całkowite natężenie pozostałości magnetycznej (In) oraz wielkość inklinacji (I) i deklinacji (D) wektora In w układzie próbki według wzorów:

$$In = \sqrt{In_x^2 + In_y^2 + In_z^2},$$

$$I = \arctg \frac{In_z}{\sqrt{In_x^2 + In_y^2}},$$

$$D = \arctg \frac{In_y}{In_x}.$$

Dla próbek z rdzeni wiertniczych podawano tylko wartość inklinacji. W przypadku próbek zorientowanych (z odkrywek) obliczano wartości inklinacji i deklinacji w układzie próbki, które po uwzględnieniu azymutu i kąta upadu płaszczyzny orientacji przeliczano na układ współczesny, tj. na płaszczyznę poziomą. Do wykonania prac obliczeniowych stosowano programy dla maszyny matematycznej Odra 1204 (Mizeracka 1972, 1979). Dla każdej próbki obliczano także współczynnik Koenigsbergera $Q = In/(0,5\kappa)$. Wartości podatności magnetycznej i pozostałości magnetycznej mierzono w układzie CGS i zamieniano na układ SI przez pomnożenie wielkości κ przez $4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ oraz In przez $4 \cdot \pi \cdot 10^{-4}$.

CHARAKTERYSTYKA PETROFIZYCZNA GŁÓWNYCH ODMIAN SKALNYCH

Bogactwo odmian skalnych uczestniczących w budowie Gór Kaczawskich, różnorodność (a niekiedy dyskusyjność), ich genezy i zaawansowanie procesów metamorficznych są tak duże, że ich dokładna charakterystyka petrofizyczna jest zadaniem trudnym. Chociaż badanie ilościowego związku korelacyjnego składu mineralnego z gęstością i własnościami magnetycznymi większości skał nie jest kłopotliwe (Jaworski 1978, 1980, 1982), to odróżnienie wpływu różnorodności cech strukturalnych i teksturalnych skał oraz stopnia ich

zmetamorfizowania na wielkość parametrów fizycznych omawianych utworów nie zawsze jest możliwe. Znaczna część badanych próbek nosiła znamiona procesów wietrzeniowych, które niekiedy doprowadzały do tak intensywnej przebudowy składu mineralnego i chemizmu, do tak znacznego zatarcia pierwotnej struktury i tekstury skał, że nieuwzględnienie ich roli mogłoby doprowadzić w rozważaniach petrofizycznych do błędnych wniosków. Dlatego też przy konstrukcji mapy nie uwzględniono części wyników pomiarów odnoszą-

Charakterystyka petrofizyczna profilu litostratigraficznego Gór Kaczawskich
 Petrophysical characteristics of the Kaczawskie Mts. lithostratigraphic profile

Stratygrafia	Litologia	Gęstość prze- strzenna σ [g/cm ³] od-do śr.	Porowatość względna P_w [%] od-do śr.	Podatność magnetyczna χ [$4 \cdot \pi \cdot$ 10^{-6} SI] od-do śr.	Pozostałość magnetyczna I_n [$4 \cdot \pi \cdot$ 10^{-10} T] od-do śr.	Współczynnik Koenigsbergera $Q = \frac{I_n}{0,5 \chi}$ od-do śr.	
Czwartorzęd	piaski, gliny, ility, mulki	1,91–2,25 2,06	–	–	–	–	
Trzeciorzęd	piaski, mulki, ility	1,80–2,30 2,07	–	–	–	–	
	bazalty	2,78–3,16 2,99	0,1–11,1 1,6	385–7000 2761	296,3–23676 5820	0,11–23,75 6,67	
Kreda	iłowce, mulowce	1,83–2,63 2,33	1–39 13	–	–	–	
	piaskowce	2,1–2,60 2,35	1–20 9	–	–	–	
Trias	wapień muszowy	2,53–2,78 2,63	–	–	–	–	
	piaskowce, mulowce	2,01–2,70 2,48	1–40 6	–	–	–	
	wapienie i margle retu	1,82–2,85 2,53	1–19 4	–	–	–	
Perm	górny	2,35–2,73 2,54	2–10 7	–	–	–	
	dolny	tufy porfirowe	2,23–2,56 2,40	–	–	–	–
		tufy ryolitowe	2,24–2,57 2,44	2–16 8	–	–	–
		ignimbryty ryolitowe	2,15–2,47 2,34	2–19 13	0–7 3	12,1–55,5 24,4	3,57–16,74 8,75
		latyty	2,35–2,68 2,56	2 2,56	11–77 23	2,90–139,4 25,3	0,33–19,29 2,33
		porfiry	2,28–2,96 2,57	5	11–67 31	1,70–10,6 5,3	0,12–1,01 0,40
		melafriry	2,23–2,79 2,58	4–15 7	25–2387 648	21,9–5043,2 669,4	0,30–45,3 6,67
		zlepieńce, piaskowce, mulowce	1,82–2,78 2,55	1–29 7	0–99 28	0,21–317,64 17,39	0,29–7,22 0,84
Karbon	łupki, iłowce	2,29–2,81 2,59	2–22 7	–	–	–	
	zlepieńce, piaskowce, łupki	2,03–3,14 2,49	1–35 9	–	–	–	
Dewon	łupki lyszczykowo-kwarcowe	2,33–3,02 2,63	–	–	–	–	
	kwarcyty	2,44–3,15 2,71	–	–	–	–	

Stratygrafia	Litologia	Gęstość prze- strzenna ρ [g/cm ³] od-do śr.	Porowatość względna P_w [%] od-do śr.	Podatność magnetyczna χ [$4 \cdot \pi \cdot$ $\cdot 10^{-6}$ SI] od-do śr.	Pozostałość magnetyczna I_n [$4 \cdot \pi \cdot$ $\cdot 10^{-10}$ T] od-do śr.	Współczynnik Koenigsbergera $Q = \frac{I_n}{0,5 \chi}$ od-do śr.	
Kambry i kambro-sylur	spility	2,65–2,95 2,85	–	20–1970 555	0,30–545,6 98,3	0,07–2,89 0,54	
	keratofiry	2,50–2,75 2,61	1–22 7	–	–	–	
	łupki pirytowe	2,49–3,04 2,70	0–9 3	–	–	–	
	mułowce, łupki mułowcowe	2,50–2,76 2,61	–	–	–	–	
	łupki krzemionkowe i ilaste	1,89–2,98 2,66	1–25 13	–	–	–	
	diabazy	2,63–2,89 2,73	–	20–112 54	0–117,1 9,8	0–2,15 0,23	
	mylonity	2,63–2,65 2,64	–	0–20 8	0,69–3,47 1,25	0–0,36 0,85	
	łupki zielenicowe	2,45–3,10 2,73	–	10–40 25	0,20–73,0 1,8	0–0,73 0,18	
	fyllity	2,28–2,78 2,52	–	–	–	–	
	łupki kwarcowo-serycytowe	2,20–3,16 2,61	1–12 5	–	–	–	
	metapiaskowce	2,33–3,06 2,68	–	–	–	–	
	zielenice	2,16–3,30 2,90	0–9 3	35–60 50	0,10–6,80 2,20	0,01–0,37 0,90	
	wapień wojcieszowski	2,38–3,00 2,70	–	–	–	–	
	Ekambry	warstwy radzimowickie (łupki szarogłazowe i kwarcytowe, łupki krzemionkowe, meta-łupki)	2,14–2,80 2,64	–	–	–	–

cych się do skał zwietrzałych. O intensywności procesów hipergenicnych w obrębie tej samej odmiany petrograficznej skały informują najniższe wartości gęstości i wysokie wartości porowatości badanych skał (tab. 1, fig. 1). Procesy te powodują także obniżenie wartości parametrów magnetycznych (Jaworski 1972). Można by zatem twierdzić, że omawiane parametry skał z odkrywek na obszarze Gór Kaczawskich są zaniżone (z wyjątkiem porowatości). Jednak dokonane przez autora porównania tych parametrów dla skał pochodzących z odkrywek i z wierceń z obszaru Sudetów Zachodnich nie wykazują tak znacznych różnic, jak to stwierdzono np. w krystalniku Gemeryd na Słowacji (Jaworski 1982). Jedynie gęstości zielenców i melafirów mierzone na próbkach oszlifowanych (kostki 2 × 2 × 2 cm) mają wyższe wartości niż pomierzone dla fragmentów tych skał wypreparowanych z odkrywek: o 0,2 g/cm³ (zielenice) i o 0,12 g/cm³ (melafiry) w stosunku do

uśrednionych danych dla tych skał zamieszczonych w tabeli 1. W rdzeniach skał metamorficznych z niektórych otworów wiertniczych obserwuje się nadspodziewanie intensywne zaawansowanie procesów wietrzeniowych, niekiedy większe niż w odsłonięciach powierzchniowych (np. w otworach Kałużna, Świeradów i innych).

Zmienność wartości gęstości i własności magnetycznych poszczególnych kompleksów skalnych głównych pięter tektonicznych Gór Kaczawskich jest znaczna (tab. 1, fig. 1). Wbrew ogólnej panującej opinii o wzroście gęstości kwaśnych metamorfitów w funkcji ich wieku geologicznego – łupki radzimowickie, najstarsze skały dolnego piętra tektonicznego tych gór, charakteryzują się średnią gęstością zaledwie 2,64 g/cm³. Ma to swoje uzasadnienie w składzie mineralnym tych utworów, wykształconych jako łupki kwarcowo-serycytowe i łuszczycowo-albitowe o różnicowanej wielkości ziarn (Teisseyre 1976). Brak ferro-

magnetyków oraz ubóstwo minerałów zawierających Fe^{+2} i Fe^{+3} powoduje, że własności magnetyczne tych skał są zaledwie mierzalne ($\chi < 5 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ SI, $I_n < 1 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-10}$ T). Być może, niewielka średnia wartość gęstości tych skał ma uzasadnienie w sugerowanej przez Teisseyre'a

(1956) ich genezie. Skały te nie stanowią, jego zdaniem, utworu w sensie stratygraficznym, lecz reprezentują formację, która powstała przez tektoniczne przetasowanie elementów eokambryjskich ze skałami kambru, ordowiku i syluru.

Ku stropowi warstwy radzimowickie przecho-

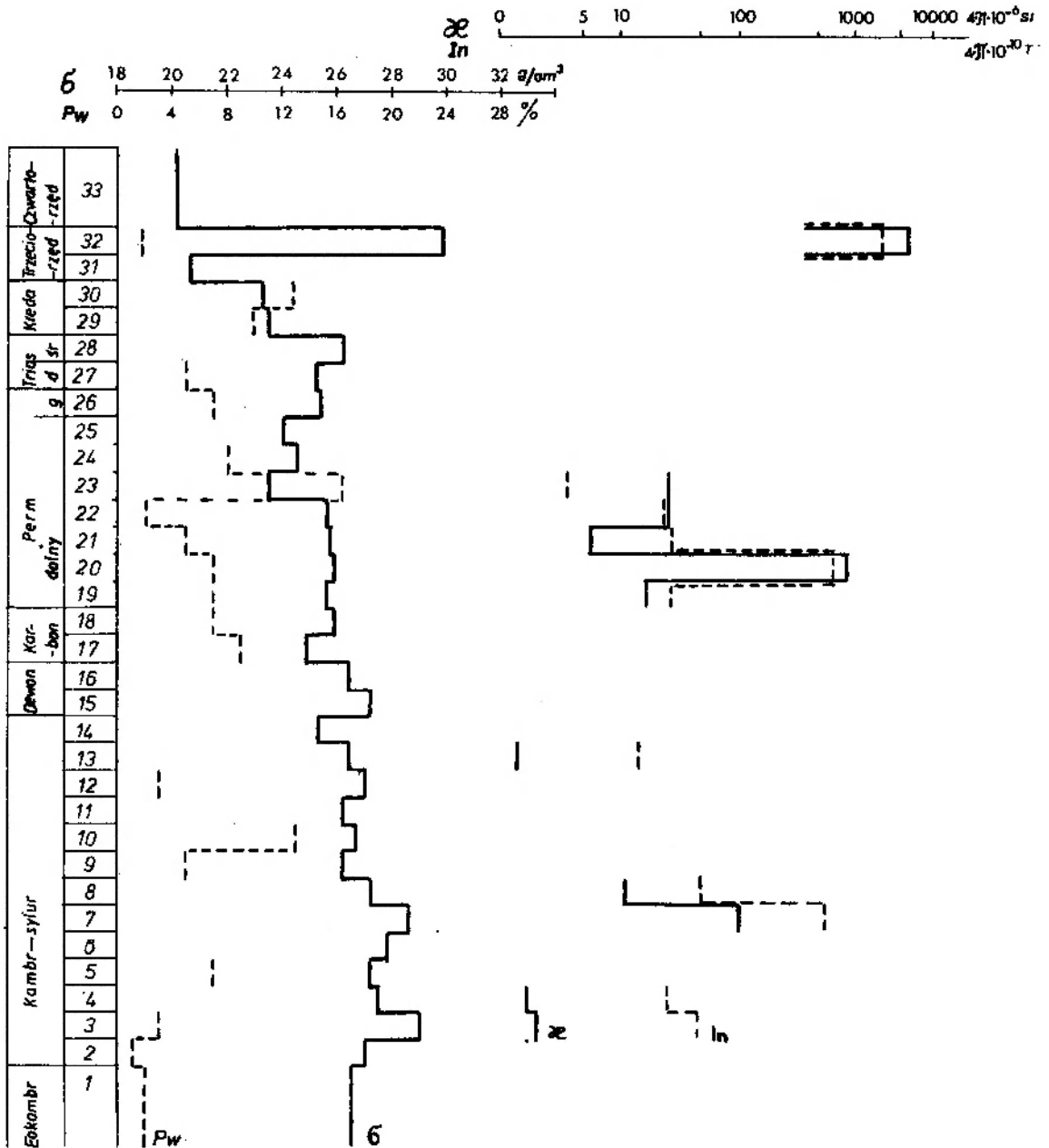


Fig. 1

Zróźnicowanie własności fizycznych profilu litostratygraficznego Gór Kaczawskich

Objaśnienia: 1 – łupki radzimowickie; 2 – wapienie wojcieszowickie; 3 – zieleńce; 4 – łupki zielenicowe; 5 – keratofiry; 6 – metapiaskowce; 7 – spility; 8 – diabazy; 9 – łupki kwarcowo-serycytowe; 10 – łupki krzemionkowo-ilaste; 11 – mulowce i łupki mulowcowe; 12 – łupki pirytosłone; 13 – mylonity; 14 – fyllity; 15 – kwarcyty; 16 – łupki lyszczakowo-kwarcowe; 17 – zlepnie i piaskowce; 18 – łupki ilaste; 19 – zlepnie, mulowce i piaskowce; 20 – melafiry (trachybazalty); 21 – porfiry (ryolity); 22 – latyty; 23 – ignimbryty ryolitowe; 24 – tufy ryolitowe; 25 – tufy porfirowe inne; 26 – wapienie; 27 – piaskowce i margle; 28 – wapienie; 29 – piaskowce; 30 – ilowce i mulowce; 31 – piaski i mulki; 32 – bazalty; 33 – piaski, mulki i ily

Petrophysical properties of the lithostratigraphic profile of Kaczawskie Mts.

Explanations: 1 – Radzimowice schists; 2 – Wojcieszów limestones; 3 – greenstones; 4 – greenschists; 5 – keratophyres; 6 – metasandstones; 7 – spilites; 8 – diabases; 9 – quartz-sericite schists; 10 – siliceous clayey slates; 11 – siltstones and silty shales; 12 – pyritic shales; 13 – mylonites; 14 – phyllites; 15 – quartzites; 16 – mica-quartz schists; 17 – conglomerates and sandstones; 18 – shales and claystones; 19 – conglomerates, siltstones and sandstones; 20 – melaphyres (trachybasalts); 21 – porphyries (rhyolites); 22 – latites; 23 – rhyolitic ignimbrites; 24 – rhyolitic tuffs; 25 – other porphyry tuffs; 26 – limestones; 27 – sandstones and marls; 28 – limestones; 29 – sandstones; 30 – claystones and siltstones; 31 – sands and silts; 32 – basalts; 33 – sands, silts and clays

Tabela 2

Właściwości fizyczne i techniczne wapieni kambryjskich (1-3) i cechszczyńskich (4-5) z obszaru Gór Kaczawskich
 Petrophysical and technical properties of the Cambrian (1-3) and Zecstein (4-5) limestones, Kaczawskie Mts.

Lp.	Lokalizacja (liczba próbek)	Właściwości magnetyczne		Właściwości elektryczne			Właściwości sprężyste				Właściwości techniczne								
		podatność χ [$4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ SI]	pozostałość I_n [$4 \cdot \pi \cdot 10^{-10}$ T]	oporność szkieletu ρ [M $\cdot\Omega \cdot$ m]	oporność skały nasyconej ρ_1 [Ω m]	stała dielektryczna F [F/m]	parametr porowatowości Pp	prędkość podłużnej Vp [m/s]	prędkość anizotropia Vp	liczba twarchości Vp	gęstość przestyczna σ [g/cm ³]	porowatość względna P_w [%]	gęstość szkieletu σ_1 [g/cm ³]	wytrzymałość na ściskanie w kg/m ² na sucho W_s na mrozie W_z	nasiałkowość N_w [g]	objętość czołowa N_o [%]	ścieralność SB [mm]		
1	Góra Polom, poziom VII (2)	4	0,03-0,06 0,045	50-150 86	385-400 392	9,7-10,6 10,2	2030-2110 2070	5150	1	14162	2,74-2,76 2,75	0,14-0,40 0,27	2,75	540	489	590	0,17	0,44	0,84
2	Góra Polom, poziom X (1)	4	0,40	51	377	13,3	1990	5050	1	14039	2,75-2,80 2,78	0,27-0,80 0,53	2,76	694	640	665	0,42	1,32	0,92
3	Rochowice Nowe (2)	4	0,27-0,34 0,30	82-138 116	175-175 175	9,7-10,4 10,0	921	4800	1	13536	2,77-2,86 2,82	0,42-0,69 0,55	2,81	754	645	600	0,29	0,58	0,86
	Średnia 1-3	4	0,25	85	315	11	1657	5000	1	13912	2,78	0,45	2,77	663	591	648	0,29	0,78	0,87
4	Płuczki Dolne P-1 (12)	4,0-6,2 5,6	0,04-0,10 0,07	13-25 17	7,4-11,8 10,0	8,2-9,4 8,8	39-62 50	2100	1,01	4830	2,17-2,39 2,30	6,15-9,11 7,63	2,70	200	144	106	7,08	14,74	2,03
5	Płuczki Dolne P-2 (2)	4,0-4,1 4	0,08-0,20 0,14	31-43 40	54	10,2-10,5 10,3	284	4250	1,35	11475	2,68-2,71 2,70	1,50-3,00 2,5	2,69	600	478	393	0,81	2,11	0,97
	Średnia 4-5	5	0,10	19	21	9	120	3100	1,18	6200	2,50	5	2,70	400	311	250	3,95	8,33	1,60

dżą w wapienie wojcieszowskie, krystaliczne, zbite, o wysokiej średniej wartości gęstości ($2,70 \text{ g/cm}^3$, dane z 1502 pomiarów), co wywołane jest zarówno stanem zachowania skał w odsłonięciach (strefa hipergenezy), jak też różną mikroszczelinowatością niektórych partii wapieni, silniej zaangażowanych tektonicznie w jądrze jednostki Bolków-Wojcieszów. Na próbkach tych skał z kamieniołomów „Góra Połom” i „Rochowice” pomierzono więcej różnych parametrów fizycznych oraz własności technicznych (tab. 2). Wapienie te są utworami diamagnetycznymi, praktycznie nieporowatymi i słabo szczelinowatymi, o wyraźnych własnościach sprężystych, o dużej twardości akustycznej, wytrzymałości na ściskanie i stosunkowo niewielkiej nasiąkliwości. Stanowią one znakomity surowiec drogowy, budowlany i chemiczny, lepszy od cechsztyńskich wapieni z Płuczek Dolnych.

Spośród zbadanych odmian skał dolnego kompleksu kaczawskiego podwyższone wartości gęstości objętościowej charakterystyczne są dla zieleńców, łupków zieleńcowych, spilitów i diabazów kambryjskich (tab. 1, fig. 1). Utwory łupkowe i mułowcowe ordowicko-sylurskie oraz mylonity są znacznie lżejsze i bardziej porowate od wyżej wspomnianych utworów. Spility należą do skał magnetycznie czynnych, chociaż zdarzają się odmiany uboższe w hematyt i te są słabiej magnetyczne. Niewielkie średnie wartości parametrów magnetycznych wykazują diabazy, zieleńce i łupki zieleńcowe, są one jednak pod tym względem zróżnicowane i tworzą kontrast fizyczny z niemagnetycznymi zupełnie łupkami serycytowo-kwarcowymi, wapieniami i z utworami mułowcowo-łupkowymi. Ich obecność wśród wyżej wymienionych skał może się zaznaczyć na mapach magnetycznych w formie dodatnich stref anomalnych o małej amplitudzie oraz stref wzrostu siły ciężkości na mapach grawimetrycznych.

Osobnego potraktowania wymagają skały opisane początkowo jako keratofiry, występujące w pasie wyniesień na pograniczu rowu Świerzawy między Wojcieszowem a Janówkiem. W świetle badań petrograficznych Pacholskiej (1975) ta 100–150-metrowej miąższości seria skalna została uznana za piaskowce arkozowe i skaleniowe, zmetamorfizowane w facji zieleńcowej, wieku kambryjskiego. Gęstość objętościowa tych skał jest zmienna ($2,44\text{--}3,06 \text{ g/cm}^3$) przy średniej arytmetycznej wartości obliczonej z 755 pomiarów wynoszącej $2,68 \text{ g/cm}^3$ i porowatości $1\text{--}22\%$. Najwyższe wartości σ charakteryzują piaskowce z odkrywki na górze Polanka koło Wojcieszowa, w których Pacholska (1975) stwierdziła piryt w ilo-

ści $1,5\%$ oraz hematyt zajmujący do $2,7\%$ objętości skały. Zróżnicowanie wartości P_w jest przejawem silnie zaawansowanych przemian hipergenicnych w badanych odsłonięciach (kaolinizacja, rozkład hematytu itp.). Własności magnetyczne tych skał nie były badane. W tabeli 1 omawiana seria skalna została wyróżniona jako meta-piaskowce.

Utwory metamorficzne dewonu reprezentowane są przez łupki lyszczykowo-kwarcowe i krzemionkowe, o średniej gęstości $2,63 \text{ g/cm}^3$, oraz kwarcyty, dla których średnia wartość σ wynosi $2,71 \text{ g/cm}^3$. Zwraca uwagę duży rozrzut wyników oznaczeń tego parametru w obydwu badanych odmianach skalnych ($2,33\text{--}3,15 \text{ g/cm}^3$). Brak jest danych o własnościach magnetycznych omawianych utworów. Jak jednak wynika z opisów petrograficznych łupków, mułowców i piaskowców sylurskich i dewońskich jednostki Rzeszówka-Jakuszowej, obecność większych ilości serycytu, chlorytu i pirytu może wywoływać słabe własności magnetyczne tych skał (Baranowski 1975; Urbanek *et al.* 1975).

Serie osadowe karbonu wykazują znacznie mniejsze od utworów dewońskich (a także starszych) wartości σ i często bardzo dużą porowatość, maksymalnie do 35% (tab. 1). Takie zróżnicowanie tych parametrów charakterystyczne jest zwłaszcza dla zlepieńców, o zmiennym składzie otoczków złożonych ze skał magmowych, metamorficznych i osadowych, o zmiennych wartościach omawianych własności fizycznych. Serie zlepieńców i łupków tego wieku są mało odporne na wietrzenie, stąd zły stan zachowania skał w odsłonięciach, powodujący trudności z pobraniem odpowiednich próbek do badań parametrycznych. Sądząc z przedstawionych danych (tab. 1, fig. 1), średnia wartość gęstości i porowatości omawianych skał jest bliższa odpowiednim danym dla utworów permo-mezozoiku niż dla wcześniej omówionych serii skalnych. Na granicy dewonu z karbonem dolnym następuje nagły spadek gęstości skał (średnio z $2,67$ do $2,53 \text{ g/cm}^3$) oraz wzrost ich porowatości (nierzadko do 35%).

Utwory permu, choć bardzo zróżnicowane litologicznie, mają zbliżone i mało zmienne wartości σ wynoszące $2,55\text{--}2,58 \text{ g/cm}^3$. Lżejsze są występujące lokalnie tufy porfirowe i ryolitowe ($2,40\text{--}2,44 \text{ g/cm}^3$) oraz ignimbryty ryolitowe ($2,34 \text{ g/cm}^3$), o największej porowatości (do 19%) spośród wszystkich skał permskich (tab. 1, fig. 1). Wapienie cechsztyńskie z rejonu Płuczek Dolnych wykazują, podobnie jak wojcieszowskie, bardzo słabe własności magnetyczne, znacznie bar-

dziej jednak zróżnicowane i mniejsze od tamtych skał węglanowych wartości gęstości, parametrów sprężystości, wytrzymałości na ściskanie; są także bardziej nasiąkliwe i wykazują większą ścieralność (tab. 2). Wiąże się to z ogólnie znacznie większą porowatością serii węglanowej cechsztynu niż kambru dolnego i brakiem przejawów metamorfizmu w utworach permskich. Są to skały o wyraźnie zaznaczonej anizotropii prędkości fali podłużnej ($k = 1,01-1,35$), którą wywoływać mogą cechy teksturalne tych wapieni, jak np. rytmiczność wytrącania materiału o różnej frakcji ziarna lub przewarstwienia substancji ilastej. Ale także mikroszczelinowatość, zwłaszcza rozwinięta w uprzywilejowanym kierunku, może powodować znaczny wzrost wartości wskaźnika anizotropii prędkości (tab. 2). Osady permu dolnego, głównie zlepieńce i piaskowce, nie różnią się uśrednionymi wartościami σ i P_w od utworów magmowych oraz mają własności magnetyczne zbliżone do latytów (tab. 1). W przypadku melafirów własności te są silnie zróżnicowane (tab. 1, fig. 1), a wyniki pomiarów 96 próbek tych skał z kamieniołomów w Świerkach, Głuszycy i w Grzędach Górnych ujawniły obecność hematytu o temperaturze Curie 670°C , który wywołuje małą podatność i pozostałość magnetyczną melafiru przy dużej stabilności pozostałości magnetycznej (Mizeracka 1981). Oprócz hematytu występują także magnetyczne wodorotlenki żelaza, o niskich temperaturach Curie i małej sile koercji, których zmienna zawartość w skale może powodować znaczne zróżnicowanie wartości κ oraz In . Większość omawianych skał wykazuje na ogół wartość współczynnika $Q \geq 1$, ale nie uzyskano dużej zbieżności kierunków namagnesowania badanych melafirów. Jak podkreśla cytowana autorka, zróżnicowanie tych kierunków w skałach pochodzących z 3 wymienionych odsłoneń, zwłaszcza w odniesieniu do szerokości geograficznej, może być spowodowane tektonicznym przemieszczeniem skał. Zdaniem autora trudno jednak wykluczyć wpływ procesów wietrzeniowych, doprowadzających do rozkładu minerałów zasobniejszych w żelazo, a także powstania wtórnej, chemicznej pozostałości magnetycznej, o zmiennym kierunku, której nie udało się usunąć całkowicie w wyniku rozmagnesowania skał zmiennym polem magnetycznym.

Ignimbryty ryolitowe są skałami bardzo porowatymi, o mniejszej od wyżej omówionych skał wylewnych gęstości i magnetycznie mało zróżnicowanymi, podobnie jak latyty, które są jednak od nich cięższe ($2,56\text{ g/cm}^3$) i odróżniają

się małą porowatością ($2^0/0$). Wyniki badań stabilności magnetycznej tych skał wykazały (podobnie jak w przypadku melafirów) niewielką zbieżność kierunków pozostałości magnetycznej, na ogół mieszczącą się jednak w przedziale zmienności wyznaczonym dla melafirów z odsłoneń w Grzędach Górnych, różnym natomiast od kierunków wyznaczonych dla tych skał z odsłoneń w Świerkach (Mizeracka 1981).

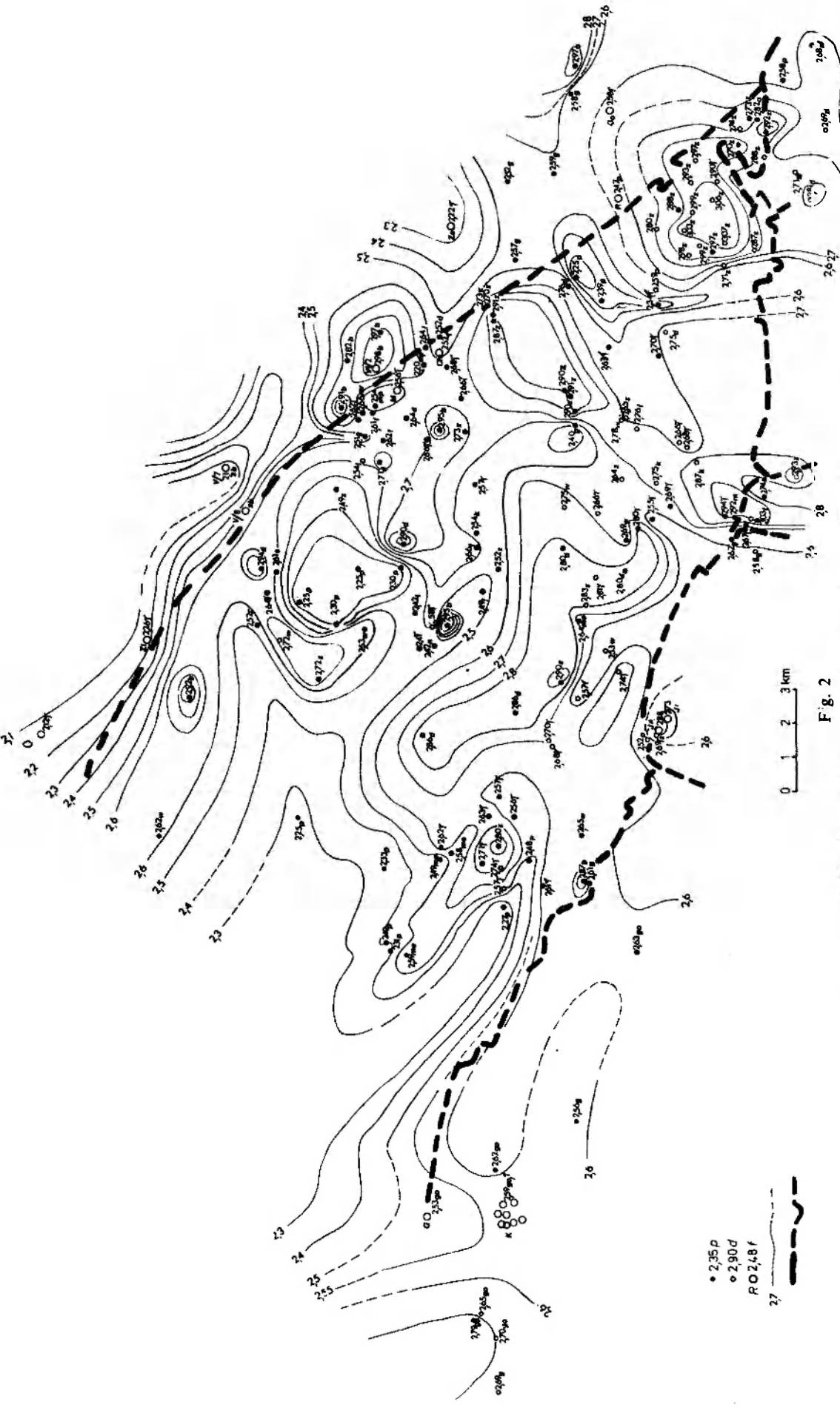
Porfiry charakteryzują się gęstością i porowatością zbliżoną do wartości oznaczonych dla melafirów (tab. 1), różnią się od tych ostatnich niewielkimi własnościami magnetycznymi oraz wartością współczynnika $Q < 1$, co świadczy o niestabilnej wartości pozostałości magnetycznej. Kierunki In są mało zbieżne, jednak zastosowane rozmagnesowanie próbek metodą termiczną rokuje nadzieje na uzyskanie węższej strefy zbieżności, porównywalnej z wynikami badań wykonanych dla innych skał wylewnych.

Utwory pstrego piaskowca są o blisko $0,1\text{ g/cm}^3$ lżejsze i bardziej porowate od osadów triasu środkowego. Zwraca uwagę bardzo duże zróżnicowanie gęstości ($1,82-2,85\text{ g/cm}^3$) i porowatości ($1-9^0/0$) serii węglanowo-ilastej retu. Średnie wartości tych parametrów dla triasu są zbliżone do odnośnych danych dla permu-karbonu (tab. 1, fig. 1).

Osady kredy Gór Kaczawskich są ośrodkiem fizycznym odmiennym od wcześniej omówionych i charakteryzują się niewielką wartością gęstości (średnia $2,34\text{ g/cm}^3$), dużym jej zróżnicowaniem ($1,83-2,63\text{ g/cm}^3$), a także zmienną porowatością ($1-39^0/0$).

Sypkie i słabo spoisłe skały trzeciorzędowe i czwartorzędowe, występujące fragmentarycznie na badanym obszarze, wykazują średnią gęstość $2,07\text{ g/cm}^3$ i bardzo zmienną porowatość w granicach $1-70^0/0$. Należy jednak pamiętać o zastrzeżeniach co do metod tych pomiarów wymienionych w rozdziale poprzednim.

Własności magnetyczne bazaltów z Gór Kaczawskich i najbliższego ich otoczenia (Męcinka, rejon wierceń V/II i inne – tab. 1, fig. 1) natomiast wskazują, że są to skały magnetycznie czynne, o wysokich i zróżnicowanych wartościach podatności ($385-7000 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}\text{ SI}$) oraz pozostałości magnetycznej i współczynnika Q , który w większości przypadków jest znacznie większy od jedności. Zmienna jest także gęstość ($2,78-3,16\text{ g/cm}^3$) i porowatość ($0,1-11,1^0/0$) tych skał, przy czym wyższe wartości tego ostatniego parametru są związane głównie z obecnością wakuol, często pozbawionych treści skalnej. Jak wykazały badania paleomagnetyczne Mizerackiej (1981) oraz



Mapa gęstości objętościowej utworów przedzwartorzędowych Gór Kaczawskich

F. g. 2



• 2,35 p
 ○ 2,90 d
 ROZ, 48 f
 27

Objaśnienia: / - lokalizacja odsłonięcia (rodana wartość gęstości w g cm⁻³ oraz symbol litologii w spągu); 4 - izo-
 line gęstości pewnie (linia ciągła) i prawdopodobnie (linia przerywana); 5 - gęstość (liczone do fig. 3). Pomimo części odsłonięć w obszarze, opróbowany szereg żył. Otwory wtórnicze: G - Kalużna 3, 5;
 2B: K - Kalużna 3, 5 i 7 do 12; JI, JII - Jeżów Sudecki I i 2; R - Rozoka; G - Górzka; Z - Zębów; Ch - Chelmiec; M - Męcinka; ZI - Zagrodno; O - Okmiany; S - Szyblice; a - amfibolit; u - ułamek;
 c - cymfilit; d - diabaz; f - fylit; g - granit; go - granito-mylonit; k - kwarc; m - mylonit; me - melezit; mp - metapiaskowiec; mr - kwarceń; p - piaskowiec; r - ruf; u - wapień; z - zieleniec; zh - zwierzchna
 łazikowa; z' - zlepieniec; zt - tuf zieleniowy

Explanations: / - outcrop location (density value in g cm⁻³ and lithological symbol at borehole base); 4 - density iso-line
 (solid line) and probable (dash-dotted line); 5 - density (see also explanation to fig. 3). In areas of detailed sampling some of the outcrops not shown. Boreholes: G - Kalużna 3, 5,
 an 17 to 1; JI, JII - Jeżów Sudecki I and 2; R - Rozoka; G - Górzka; Z - Zębów; Ch - Chelmiec; M - Męcinka; ZI - Zagrodno; O - Okmiany. Lithological abbreviations: a - amfibolit; b - basalt; c - cymfilit; d - diabaz; f -
 phyllite; g - granite; go - granit; gn - gneiss; k - kwarc; m - mylonit; me - melonit; mp - metapelite; mr - metarhyolite; p - porphyry; r - ruf; u - wapień; z - zieleniec; zh - zwierzchna
 łazikowa; z' - zlepieniec; zt - tuf; zt' - tuf zieleniowy

Volume density map for the pre-Quaternary rocks of Kaczawskie Mts.

Explanations: / - outcrop location (density value in g cm⁻³ and lithological symbol at borehole base); 4 - density iso-line
 (solid line) and probable (dash-dotted line); 5 - density (see also explanation to fig. 3). In areas of detailed sampling some of the outcrops not shown. Boreholes: G - Kalużna 3, 5,
 an 17 to 1; JI, JII - Jeżów Sudecki I and 2; R - Rozoka; G - Górzka; Z - Zębów; Ch - Chelmiec; M - Męcinka; ZI - Zagrodno; O - Okmiany. Lithological abbreviations: a - amfibolit; b - basalt; c - cymfilit; d - diabaz; f -
 phyllite; g - granite; go - granit; gn - gneiss; k - kwarc; m - mylonit; me - melonit; mp - metapelite; mr - metarhyolite; p - porphyry; r - ruf; u - wapień; z - zieleniec; zh - zwierzchna
 łazikowa; z' - zlepieniec; zt - tuf; zt' - tuf zieleniowy

autora (Jaworski 1974b), nośnikiem namagnesowania tych skał jest tytanomagnetyt i magnetyt. Bazalty kaczawskie powstały w okresie oligocen-miocen, w trzech etapach, i dają się korelować z bazaltoidami z Winnej, z Góry Św. Anny i z Graczy.

Osobnego omówienia wymagają bazalty i ich zwietrzliny stwierdzone na znacznym obszarze między Złotoryją, Jaworem i Legnicą (otwory wiertnicze nr V/2-VII/4, fig. 2). Wyjątkowo intensywny proces wietrzenia tych skał, który w skrajnym przypadku doprowadził do powstania kilkadziesiątmetrowej miąższości zwietrzliny (interesującego surowca dla przemysłu ceramicznego), spowodował nigdzie nie notowaną w bazaltach sudeckich zmienność ich własności magnetycznych ($\chi < 1000 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ SI, $I_n = (480-5930) \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-10}$ T), gęstości (1,88-3,09 g/cm³) oraz porowatości (1-53%). Zwietrzlina bazaltowa wykazuje podatność magnetyczną (100-1000) $\cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-6}$ SI, ale z reguły wyższą od bazaltów wartość pozostałości magnetycznej (Mizeracka 1981). Nośnikiem namagnesowania omawianych bazaltów i zwietrzelin o nienaruszonej strukturze jest

najczęściej tytanomagnetyt, rzadziej magnetyt i maghemit, w zwietrzelinach najbardziej przeobrażonych pojawia się getyt.

Z powyższego przeglądu własności fizycznych głównych odmian skał budujących obszar Gór Kaczawskich wynika, że oprócz zmienności składu mineralnego wpływ na wielkości omawianych parametrów ma stopień metamorfizmu tych skał, zwłaszcza jednak stan ich zachowania w strefie hipergenezy. Zjawisko to uwidocznia się na mapie gęstości utworów przedczwartorzędowych (fig. 2). Na ogół utwory należące do „formacji” pochodzenia osadowego wykazują mniejsze gęstości i własności magnetyczne niż skały należące do „formacji” wulkanogenicznej dolnego piętra tektonicznego tych gór. Zróznicowanie gęstości w obrębie jednej odmiany skalnej jest jednak najczęściej przejawem nierównomierności rozwoju procesów wietrzeniowych. Obszerniejsze dane na temat wpływu czynników hipergenicnych na przeobrażenie głównych minerałów sudeckich skał zasadowych i ultrazasadowych oraz zmian ich własności fizycznych i geochemicznych zamieszczono w pracy Jaworskiego (1972).

CHARAKTERYSTYKA PETROFIZYCZNA GŁÓWNYCH JEDNOSTEK TEKTONICZNYCH GÓR KACZAWSKICH

Rozpatrując zmienność własności fizycznych utworów poszczególnych pięter tektonicznych Gór Kaczawskich w kierunku pionowym (fig. 1) łatwo dostrzec, że utwory budujące zarówno dolne (eokambr-karbon dolny), jak i górne (karbon górny-miocen) piętra są fizycznie niejednorodne, a granica między nimi nie pokrywa się z granicą petrofizyczną, gdyż średnia gęstość skał karbonu dolnego jest bliższa wartości tego parametru dla utworów permo-mezozoicznych niż starszych. Jak już wcześniej wspomniano, gęstość łupków radzimowickich i metamorfitów „formacji” pochodzenia osadowego jest zbliżona ($\sim 2,65$ g/cm³) i niższa od σ „formacji” kambro-sylurskiej pochodzenia wulkanicznego (2,77 g/cm³). Skały osadowe, piroklastyczne i magmowe permo-karbonu oraz sedymenty triasu tworzą w obrębie górnego kompleksu tektonicznego kaczawidów stosunkowo jednolity ośrodek fizyczny o średniej gęstości 2,53 g/cm³. Wyżej leżące osady kredy wyróżniają się w obrębie tego kompleksu tektonicznego niewielką średnią wartością gęstości – 2,34 g/cm³. Najwyższą wartość tego parametru stwierdzono w bazaltach (2,99 g/cm³). Ten skomplikowany w pionie obraz rozkładu mas skalnych o różnej gęstości utrudnia interpretację geologicz-

ną map grawimetrycznych, szczególnie w SE części Gór Kaczawskich, o najintensywniejszym zaangażowaniu tektonicznym metamorfitów i magmowców dolnego piętra tektonicznego.

Planarny obraz zmian gęstości objętościowej na obszarze Gór Kaczawskich wykazuje w ogólnych zarysach związek z budową tych gór, co przejawia się zarówno w zachowaniu głównych kierunków strukturalnych, jak i w zarejestrowaniu stref gęstości związanych z poszczególnymi jednostkami tektonicznymi wyższego rzędu, a także niektórych granic z sąsiednimi jednostkami tektonicznymi (fig. 2). Obszar północnego i południowego pnia Gór Kaczawskich wyróżnia się na ogół spośród jednostek otaczających znacznie wyższymi wartościami gęstości. Maleją one w stronę depresji północnosudeckiej oraz rowów Świerzawy i Wlenia, a więc w kierunku spadku częstotliwości występowania zieleńców, wapieni wojciszowskich i łupków zieleńcowych, jak można wnioskować z pracy Górczycy-Skały (1977). Strefy o najwyższych wartościach gęstości pokrywają się z zasięgiem wychodni zieleńców i łupków zieleńcowych jednostki Dobromierza i Cieszowa, które najprawdopodobniej wykraczają w kierunku NE poza uskoki przedsudeckie. Utwory dolnego kom-

Petrofizyczno-geofizyczna charakterystyka jednostek tektonicznych Gór Kaczawskich
 Petrophysical-geophysical characteristics of the geological-tectonic units of Kaczawskie Mts.

Jednostki tektoniczne		Charakterystyka litologiczna skał dolnego piętra Gór Kaczawskich	Średnia wartość gęstości objęto- ściowej w g/cm ³	Średnia wartość porowa- tości względ- nej w %	Charak- ter ano- malii grawi- metrycz- nej
„Pień” południowy	1. jednostka Cieszowa	zieleńce (kambr), fyllity i kwarcyty (ordowik)	2,77	0-9	+
	2. jednostka Dobromierza	zieleńce (kambr)	2,77	2	++
	3. jednostka Bolkowa	łupki radzimowickie (eokambr), wapienie i zieleńce (kambr), fyllity (ordowik), lidyty i łupki graptolitowe (sylur)	2,77	4	++
	4. jednostka Świerzawy	wapienie, zieleńce i keratofiry (kambr), fyllity (ordowik) i łupki krzemionkowe (sylur)	2,65		0
	5. jednostka Wlenia	łupki radzimowickie (eokambr), wapienie, zieleńce (kambr), paleobazalty (kambr?), fyllity, łupki łuszczkowo-kwarcowe, kwarcyty (ordowik), łupki kwarcytowe, fyllity, łupki krzemionkowe, lidyty (sylur), paleoporfiry, keratofiry, diabazy	2,65	1-12	0
	6. jednostka Pilichowiec		2,65	0-25	-
Strefa granicza	7. rów Świerzawy	wypełniony utworami karbonu, permu, triasu oraz kredy górnej	2,53	2-40	0
			2,34	1-39	0
„Pień” północny	8. jednostka Rzeszówka-Jakuszowej	zieleńce (kambr) – płat Jakuszowej	2,77	2	++
	9. jednostka Chelmca	łupki sercytowe, łupki grafitowe i krzemionkowe, łupki chlorytowe, diabazy (ordowik-dewon) – płat Rzeszówka	2,63	9	0
		łupki kwarcowo-sercytowe, chlorytowe, diabazy (ordowik), kwarcyty, łupki krzemionkowe i diabazy (sylur)	2,65	2-15	0
		10. jednostka Złotoryi-Luboradzka	łupki sercytowe, chlorytowe (ordowik), kwarcyty, łupki krzemionkowe i diabazy (sylur)	2,65	2-15

Objaśnienia: + – anomalia grawimetryczna dodatnia (słaba); ++ – anomalia grawimetryczna dodatnia (silna); 0 – strefa nieanomalna; -- anomalia grawimetryczna ujemna (słaba).

Jednostki: 1-4 oraz litologia i stratygrafia utworów z pracy Teisseyre'a (1956); 5,6 – z pracy Gierwielca (1956) i Gorczy-Skały (1977); 7-10 – z pracy Baranowskiego (1975).

pleksu tektonicznego północnego pnia kaczawidów są lżejsze od tychże utworów z pnia południowego, dzięki przewadze w budowie tych ostatnich skał kambryjskich o wysokich wartościach σ (tab. 3, fig. 3). Rów Świerzawy, nieckę świebodzińską i śródsudecką wypełniają lżejsze utwory kredy (2,34 g/cm³) i karbonu (2,53 g/cm³), natomiast strefa Niemczy wyróżnia się obecnością skał o σ wyższych od utworów budujących jednostki sąsiadujące. Granitoidy karkonoskie charakteryzują się średnią wartością $\sigma = 2,61$ g/cm³, nieco mniejszą niż badane utwory bloku izerskiego ($\sigma = 2,65$ g/cm³). Kontakt tego ostatniego z jednostką tektoniczną Pławnej nie zaznacza się

wyraźnie na mapie gęstości z uwagi na zbliżoną średnią wartość σ utworów obydwu jednostek. Granica tektoniczna Gór Kaczawskich, którą od NE wyznacza brzeżny uskoki sudecki, przebiega na ogół na mapie gęstości wzdłuż strefy ostrej zmiany gradientu gęstości (fig. 2, 3). Wyniki wykonanych badań petrofizycznych wskazują, że jednostki tektoniczne tych gór, złożone głównie z zieleńców, łupków zieleńcowych, wapieni krystalicznych oraz diabazów kambry i częściowo syluru (tzw. formacja wulkanogeniczna metamorfiku kaczawskiego), tworzą w sensie regionalnym obszary o podwyższonej wartości gęstości objętościowej (średnio 2,77 g/cm³), podczas gdy jed-

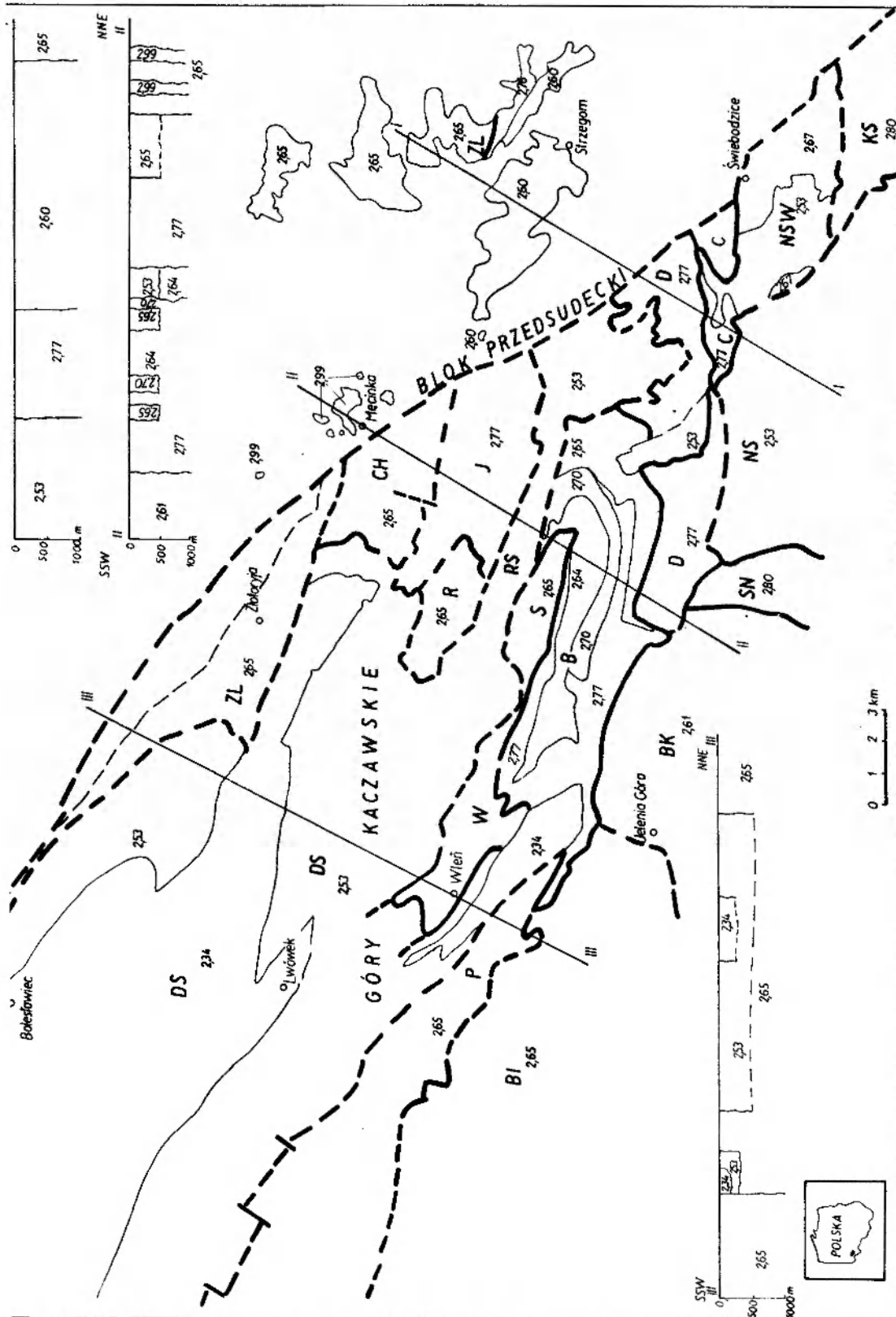


Fig. 3
Charakterystyka petrograficzna głównych jednostek tektonicznych Gór Kaczawskich i tektonicznych Gór Łączawskich. Jednostki tektoniczne podano za Haydukiewiczem (1977)

Objaśnienia: Liczby oznaczają średnią gęstość głównych odmian petrograficznych (tak danej jednostki w g/cm³). I, II, III – linie i rzekojów fizycznych. BI – blok iżerski; 2.65 – lupki bazyzyczne i granitogęsy; BK – blok tarkoński; 2.61 – granitoid; SV – strefa Niemca; 2.80 – amfibolity, mylonity sjenity, gnejsy; NS – niecka świebodzińska; 2.53 – piaskowce i łupki karbońskie; NSW – niecka świebodzińska; 2.53 – piaskowce karbońskie i kwarcyty dewonu; KS – kraświcka; 2.80 – gnejsy; C – Cieszków; 2.77 – metakonglomerat i osadowe; D – jednostka Dobromierz; B – jednostka Bolowa; 2.64 – łupki adzimowickie; 2.70 – wapienie walcie; W – jednostka Wleń; S – jednostka Świerzawa; R – płaty Rzeszowska; J – płaty Łakuszyce; CH – jednostka Chelmeć; ZL – jednostka Złoty-Lubuski; liczbom na mapie odpowiada litologia utworów fizyko-geograficznych. DS – depozyta północnosudecka; 2.34 – utwory karcoszyckie; RS – ród Świerzawy; 2.5 – utwory karbońskie; 2.5 – utwory karbońskie; 2.76 – odpowiadają granitoidom i hornfelsom masywa Strzegomia

Petrophysica characteristics of the main tectonic units of the Kaczawskie and Łączawskie Mountains, given according to Haydukiewicz (1977)
 Explanation: Numbers are mean volumetric densities of main rock varieties of the individual units (value in g/cm³). I, II, III – lines of physical cross-sections. BI – Iżera Block; 2.65 – mica schists and granite gneisses; BK – Karkonosze Block; 2.61 – granitoid rocks; SV – Niemca Zone; 2.80 – amphibolites, mylonites, gneisses; NS – Intra Sudetic Trough; 2.53 – sandstones and shales (Carboniferous); NSW – Świebodzińska Depressions (lowest Carboniferous); 2.67 – conglomerates and quartzites (Devonian); C – Cieszków unit; 2.77 – metakonglomerates and sedimentary rocks; D – Dobromierz unit; 2.64 – Bolewo unit; 2.64 – Rudziszowice schists; 2.70 – wapienie walcie; W – Wleń unit; S – Świerzawa unit; R – Rzeszów unit (for technical sheet); J – Łakuszyce unit; CH – Chelmeć unit; ZL – Złoty-Lubuski unit. (Numbers in the lithology are above); DS – Permo-Carboniferous sediments; RS – Świerzawa graben; 2.53 – uppermost Carboniferous deposits; Densities of 2.60 and 2.76 correspond to the granitoid rocks and hornfelses of Strzegomia Massif, respectively

nostki złożone z metamorfity pochodzenia osadowego wykazują niższą wartość gęstości (średnio $2,65 \text{ g/cm}^3$). Przedstawienie modelu pionowego rozkładu gęstości w Górach Kaczawskich jest utrudnione z uwagi na dyskusyjność koncepcji tektonicznych lansowanych przez różnych autorów. Podsumowanie tych poglądów znajdzie czytelnik w pracach Teisseyre'a (1956, 1976), Baranowskiego (1975), Gorczyca-Skały (1977), Haydukiewicza (1977) i innych. Sporządzone przez autora przekroje fizyczne przez Góry Kaczawskie mają charakter subiektywny, obrazują jednak jeden z możliwych wariantów rozmieszczenia w pionie bloków o różnej wartości gęstości objętościowej, mających odbicie w obrazie grawimetrycznym tych gór (tab. 3, fig. 3, 4). Z porównania obydwu map nasuwa się wniosek, że wyż grawimetryczny wschodniej części kaczawidów jest wywołany obecnością w tym rejonie nasuniętych na siebie utworów cięższych dolnego kompleksu kaczawskiego jednostki Dobromierza i Bolkowa. Rozległa strefa występowania utworów magmowych i osadowych permu dolnego na E od Bolkowa (fig. 2–4), o średniej gęstości $2,53 \text{ g/cm}^3$, ma zapewne małą miąższość w stosunku do niżej leżących utworów kambro-sylurskich, skoro jej obecność nie powoduje istotnych zmian w obrazie regionalnym anomalii siły ciężkości (dodatnia), w przeciwieństwie do obszaru rowu Wlenia wypełnionego utworami kredy, który na wspomnianej mapie rysuje się w formie wygięcia izolinii siły ciężkości w kierunku wschodnim, zgodnie z tektonicznie uformowanym kształtem tej struktury (fig. 4). W obrębie południowego pnia Gór Kaczawskich jednostki tektoniczne o średniej gęstości $\leq 2,65 \text{ g/cm}^3$ pokrywają się z obszarami niżu grawimetrycznego, natomiast cięższe skały jednostek Dobromierza, Cieszowa i Jakuszowej występują w strefie wyżu grawimetrycznego, wyraźnie przedłużającego się ku E, co sugeruje obecność utworów tych struktur także na obszarze bloku przedsudeckiego. Najprawdopodobniej lżejsze masy skalne jednostki Złotoryi–Luboradza są nasunięte lub tworzą serię autochtoniczną spoczywającą na formacji zieleńcowej, gdyż obszar ten tworzy strefę wyżu grawimetrycznego. Zaskakujący jest obraz grawimetryczny rejonu Jawora, znanego z występowania bazaltów i ich zwietrzelin, zaznaczający się na omawianej mapie jako rejon deficytu siły ciężkości. Nastąpiło tu zapewne zjawisko kompensacji mas dające się wytłumaczyć obecnością lekkich

(często $< 2,0 \text{ g/cm}^3$), o kilkudziesięciometrowej miąższości zwietrzelin bazaltowych ponad utworami górnego piętra tektonicznego kompleksu kaczawskiego ($2,65 \text{ g/cm}^3$).

W sensie regionalnym, na mapie grawimetrycznej Gór Kaczawskich obserwuje się spadek wartości siły ciężkości z ESE ku WNW, w którym to kierunku utwory dolnego piętra tektonicznego tych gór zanurzają się pod lżejsze osady depresji północnosudeckiej. W tym też kierunku maleje udział zieleńców, łupków zieleńcowych i wapieni kambryjskich w budowie metamorfiku kaczawskiego (Gorczyca-Skała 1977). Podobnie jak na mapie gęstości objętościowej (fig. 2), także w obrazie grawimetrycznym granice z sąsiednimi jednostkami nie są w niektórych obszarach ostre i jednoznacznie zarysowane (fig. 4). Są to strefy sąsiadujących z sobą kompleksów skalnych o zbliżonych wartościach gęstości objętościowej (np. jednostka Pławnej z blokiem izerskim). Zdaniem autora, pogląd Oberca (1972) o tektogenetycznym podobieństwie jednostek strukturalnych wyższego rzędu północnego i południowego pnia Gór Kaczawskich zyskał w świetle przedstawionych tu badań dodatkowy argument petrofizyczny przemawiający na korzyść tej koncepcji (fig. 3, tab. 3). Przedstawione wyniki badań gęstości i porowatości skał, odnoszące się do granitoidów i metamorfity sudeckich (blok karkonoski, masyw Strzegomia – fig. 2, 3) potwierdzają wcześniejsze wnioski autora o niższych gęstościach granitoidów pochodzenia magmowego w stosunku do metamorfity (Jaworski 1977, 1982). Sugestie Kłapcińskiego *et al.* (1975) o możliwości lokalizowania masywów granitoidowych na obszarze bloku przedsudeckiego na podstawie dodatnich anomalii grawimetrycznych, rzekomo związanych z tymi właśnie skałami, są wątpliwe. W żadnym z 20 omawianych przez autorów wierceń nie wykonano pomiarów gęstości skał. Jedyne dane dla granitoidów z wiercenia Gościeszowice ($\sigma = 2,58 \text{ g/cm}^3$), przy gęstości $\sim 2,65 \text{ g/cm}^3$ dla metamorfity, także nie uzasadniają powyższej sugestii. Należy się raczej liczyć z sytuacją odwrotną: obszary granitoidowe występujące wśród metamorfity na mapie grawimetrycznej mogą się zaznaczyć jako strefy niewielkiego deficytu siły ciężkości. Zdaniem autora, wielkość kontrastu gęstości między obydwoimi rodzajami skał jest zbyt mała, aby mogła wywoływać powstanie anomalii grawimetrycznej.

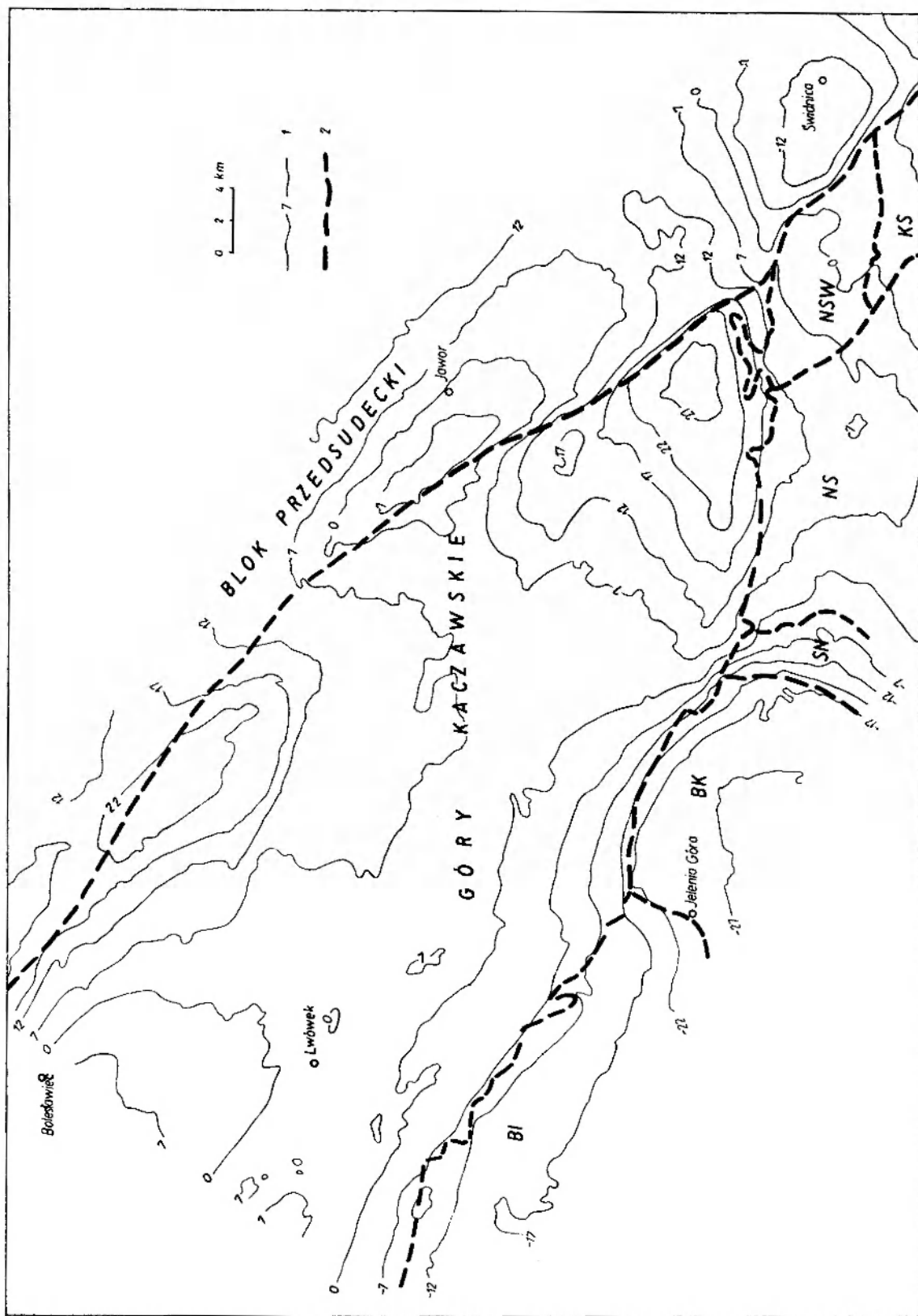


Fig. 4

Mapa anomalii siły ciężkości na obszarze Gór Kaczawskich w redukcji Bouquera (uproszczona układ lokalny; Okrus Margul 1975)

Objaśnienia: 1 - zolnie; 2 - granice jednostek tektonicznych (zob. objaśnienia do fig. 3)

Map of gravity anomalies with Bouguer's correction for the region of Kaczawskie Mts (simplified, in local system; Okrus, Margul 1975)

Explanations: 1 - zolnie; 2 - boundaries of geological-tectonic units (for explanation see fig. 3)

UWAGI KOŃCOWE

W pracy przedstawiono pierwszą próbę regionalnej interpretacji geologicznej wyników badań petrofizycznych wykonanych na obszarze Gór Kaczawskich. Materiał pomiarowy zestawiony w ujęciu stratygraficznym i litologicznym stanowi gotowe dane parametryczne do interpretacji ilościowej wyników powierzchniowych badań geofizycznych wykonanych metodą grawimetryczną i magnetyczną (tab. 1, fig. 1). Dane te mogą być także wykorzystane do projektowania prac, dokonywania charakterystyki własności kolektorских skał jako stref migracji i magazynowania węglowodorów oraz wody, a także ich metaloności. Autor sądzi, że omawiane własności petrofizyczne utworów budujących poszczególne jednostki tektoniczne Gór Kaczawskich, w powiązaniu z coraz częściej stosowanymi badaniami mezostrukturalnymi, polegającymi na pomiarach spękań skalnych, mogą dać znacznie dokładniejszy obraz stanu fizycznego ośrodka skalnego. Godne uwagi jest wykonywanie, oprócz badań własności magnetycznych, gęstości i porowatości, także badań przebiegu fali ultradźwiękowej w skałach, dostarczających informacji o ich mikroszczelinowości i rejestrujących zmiany strukturalno-teksturalne skały, powstałe w wyniku procesów tektonicznych i hipergenicnych. Pomiaru stałej dielektrycznej i elektrycznej oporności właściwej skał są bardzo dobrym kryterium oceny m. in. stopnia mineralizacji, zwłaszcza siarczkami i tlenkami metali ciężkich. Pomiaru naturalnej promieniotwórczości gamma, wykonane zarówno w terenie jak i na próbkach skalnych, informują szybko o możliwościach koncentracji minerałów promieniotwórczych. Sądząc z wyników badań

wykonanych w Karpatach, zastosowanie prospekcji merkurometrycznej i geotermicznej powinno ułatwić kartowanie dyslokacji tektonicznych nawet w strefach znajdujących się pod kilkumetrowej grubości nadkładem zwietrzelin i dostarczyć równocześnie informacji o przejawach mineralizacji rtecją (Jaworski 1979).

Autor sądzi, że analiza póluszczogółowych i szczegogółowych zdjęć grawimetrycznych, magnetycznych oraz sejsmicznych, wykonana z wykorzystaniem wyżej wspomnianych pomiarów petrofizycznych i badań mezostrukturalnych, powinna umożliwić wyjaśnienie szczegogółów budowy tektonicznej Gór Kaczawskich, ich mineralizacji, własności zbiornikowych, hydrogeologicznych oraz ułatwić wstepną techniczno-użytkową ocenę skał.

Panuje opinia o nader ograniczonej stosowności datowania skał czy zdarzeń geologicznych metodą paleomagnetyczną. Z danych wzmiankowanych w tej pracy, a także innych (Jaworski 1982; Mizeracka 1979, 1981), wynika, że niektóre odmiany omawianych skał mogą być przedmiotem takich badań. Autor ma tu na uwadze niektóre odmiany zieleńców, spilitów, keratofirów, diabazów, metapsamitów kambryjskich występujących wzdłuż południowego uskoku granicznego rowu Świerzawy, a także kontynuację badań serii skał wylewnych permskich i trzeciorzędowych.

Kontynuacji wymagają także badania petrofizyczne rdzeni z wierceń, usytuowanych na obszarze bloku przedsudeckiego, w celu opracowania modelu fizycznego tej jednostki geologicznej oraz uzyskania danych do interpretacji ilościowej i jakościowej wyników powierzchniowych pomiarów geofizycznych.

LITERATURA

- BARANOWSKI Z., 1975: Zmetamorfizowane osady fliszowe północnej części Gór Kaczawskich (jednostka Rzeszówek-Jakuszowa). Metamorphosed flysch deposits in the northern Kaczawa Mts (Rzeszówek-Jakuszowa unit). *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 1, s. 119-151.
- BASISTA S., DĄBROWSKI A. 1981: Metodyka laboratoryjnych badań gęstości i porowatości skał w rozpoznaniu geologicznym Polski. Methods of laboratory studies on density and porosity of rocks for the needs of geological exploration in Poland. *Prz. Geol.*, nr 6, s. 297-301.
- GIERWIELANIEC J., 1956: Budowa geologiczna północnej okolicy Lubomierza. Geological structure of the area to the North of Lubomierz. *Inst. Geol. Biul.*, 106, Z badań geol. na Dolnym Śląsku, t. 3, Warszawa.
- GORCZYCA-SKAŁA J., 1977: Budowa geologiczna rowu Wlenia. Geologic structure of the Wleń Graben. *Geol. Sudetica*, vol. 12, nr 1, s. 71-100.
- HAYDUKIEWICZ A., 1977: Litostratygrafia i rozwój strukturalny kompleksu kaczawskiego w jednostce Rzeszówka i w zachodniej części jednostki Jakuszowej. Litostratigraphy and structural development of the Kaczawa complex in the Rzeszówek unit and western part of the Jakuszowa unit (the Góry Kaczawskie). *Geol. Sudetica*, vol. 12, nr 1, s. 7-68.
- JAWORSKI A., 1972: Zastosowanie kompleksowych metod geofizycznych do poszukiwań i rozpoznawania masywów skał ultrazasadowych i zasadowych w Sudetach. Complex geophysical methods in prospecting ultrabasic and basic rocks massifs in Sudetes. *Tech. Poszuk.*, z. 3, s. 13-24.
- 1974a: Petrofizyka — nowy kierunek badań w resorcie Centralnego Urzędu Geologii. Petrophysics — a new

- research discipline in the Central Geological Office research program. *Prz. Geol.*, nr. 8, s. 357–365.
- 1974b: Właściwości fizyczne bazaltów z Góry Świętej Anny. Physical properties of basalts from Mt Święta Anna. *Prz. Geol.*, nr 10, s. 492–496.
 - 1977: Krystalinik Tatr oraz skały podłoża krystalicznego Polski południowej w świetle badań petrofizycznych. The Tatra crystalline massif and crystalline basement rocks from the southern Poland in the light of petrophysical studies. *Kwart. Geol.*, t. 21, nr 2, s. 219–238.
 - 1978: Dokumentacja wyników badań petrofizycznych wapieni Polski (czwartorzęd–prekambr). Arch. PBG, Warszawa.
 - 1979: Rtęć, arsen i pierwiastki grupy żelaza w utworach fliszowych kredy górnej i paleogenu łuski Bystrego koło Baligródu. Mercury, arsenic and iron group elements in the Upper Cretaceous and Paleogene flysch deposits near Baligród (Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, vol. 49, z. 3/4, s. 379–394.
 - 1980: Interpretacja statystyczna wyników kompleksowych badań chemizmu, własności fizycznych i technicznych wapieni dla racjonalnego wykorzystania krajowej bazy surowcowej. Arch. PBG, Warszawa.
 - 1982: Studium petrofizyczno-geochemiczne krystaliniku wybranych gór trzonowych (Tatry, Niskie Tatry, Małe Karpaty, Gemerydy) oraz utworów podłoża krystalicznego przedgórze Karpat. Petrophysical-geochemical studies of the crystalline rocks of the core mountains (Tatry, Niskie Tatry, Małe Karpaty, Gemerydy) and the basement of the fore-deep of Carpathians. *Arch. Miner.* (w druku).
- JERZMAŃSKI J., 1965: Budowa geologiczna północno-wschodniej części Gór Kaczawskich i ich wschodniego przedłużenia. Geology of the north-eastern part of the Kaczawa Mts and of their eastern extent. *Inst. Geol. Biul.*, 185.
- KŁAPCIŃSKI J., JUROSZEK Cz., SACHANBIŃSKI M., 1975: Nowe dane o geologii fundamentu krystalicznego z obszaru przedsudeckiego. New data on geology of the Foresudetic crystalline basement. *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 2, s. 7–49.
- KRÓLIKOWSKI C., 1981: O metodyce badania gęstości utworów kenozoicznych. On methodology of studies on density of Cainozoic rocks. *Prz. Geol.*, nr 3, s. 133–138.
- MIZERACKA K., 1972: Opracowanie metodyki i techniki badań stabilności naturalnej pozostałości magnetycznej próbek skał. Arch. PBG, Warszawa.
- 1979: Dokumentacja badań właściwości fizycznych skał z rejonu monokliny przedsudeckiej i wału północnosudeckiego. Arch. PBG, Warszawa.
 - 1981: Dokumentacja badań właściwości fizycznych skał z odsłoneń skalnych z obszaru Sudetów. Arch. PBG, Warszawa.
- OBERC J., 1972: Budowa geologiczna Polski, t. 4, Tektonika, cz. 2, Sudety i obszary przyległe. Wyd. Geol., Warszawa.
- OKULUS H., MARGUL H., 1975: Dokumentacja półszczytowych badań grawimetryczno-magnetycznych, temat Sudety 1973–1974. Arch. PBG, Warszawa.
- PACHOLSKA A., 1975: Petrografia zmetamorfizowanych piaskowców jednostki Świerzawy w Górach Kaczawskich. Petrography of metasandstones of the Świerzawa unit in the Kaczawa Mts. *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 1, s. 105–116.
- TEISSEYRE H., 1956: Depresja Świebodzic jako jednostka geologiczna. Świebodzice depression as geological unit. *Inst. Geol., Biul.*, 106.
- 1976: Spękania skalne w południowo-wschodniej części Gór Kaczawskich i w północnej części depresji Świebodzic. Joints in the south-eastern part of the Kaczawa Mts and in the northern part of the Świebodzice Depression (Sudetes). *Geol. Sudetica*, vol. 11, nr 1, s. 9–52.
- URBANEK Z., BARANOWSKI Z., HAYDUKIEWICZ A., 1975: Geologiczne konsekwencje występowania dewońskich konodontów w metamorfiku północnej części Gór Kaczawskich. Geologic consequences of the occurrence of the Devonian conodonts in metamorphic rocks of the northern part of Kaczawa Mts. *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 1, s. 155–169.

Andrzej JAWORSKI*

REGIONAL PETROPHYSICAL STUDY OF THE KACZAWSKIE MTS. (WESTERN SUDETES)

ABSTRACT: Selected petrophysical characteristics (density, porosity, and magnetic properties) of the main rock varieties of the Kaczawskie Mts. are given and discussed. On this ground, the lower geological-structural stage of this unit of the Sudetes is distinguished from its upper stage. Planar picture of pre-Quaternary rock-density distribution is analysed and its relationship with gravi-

metric data discussed. Petrophysical characteristics of higher-order structural units are presented both for the Kaczawskie Mts. and the adjacent areas. A model of most probable vertical distribution of main physical blocks, as distinguished on the basis of different and variable rock-densities, is given for the entire region.

Summary

This paper presents the results of a geophysical study concerned with petrophysical properties of the main rock complexes of Góry Kaczawskie (Mts.), Western Sudetes. The petrophysical parameters measured included: volumetric density (σ), relative porosity (P_H), magnetic susceptibility (κ) and residue magnetization (I_n).

The two main geological-structural complexes, or stages, of the Kaczawskie Mts., namely the Eocambrian-Lower Carboniferous complex and the Upper Carboniferous-Miocene complex, appear to display a considerable variability of their petrophysical properties (tab. 1 and fig. 1). This variability is thought to reflect the primary variation in the rock mineral composition and textural/structural features, and also, to some degree, in the rock susceptibility to weathering processes. For a given rock type, the lowest volumetric density values characteristically correspond to those occurrences that were subjected to hypergenic processes (tab. 1).

Within the older rock complex of the region, the highest mean densities correspond to metavolcanic and related rocks (greenstones, greenschists, spilites, and diabases; $2.77 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ mean density) and to the Cambrian Wojcieszów Limestones ($2.70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Metasedimentary rocks, in contrast, have lower volumetric densities ($2.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ on average). From this standpoint, the relatively low density ($2.64 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) of the Eocambrian Radzimowice schists seems to support the view of Teisseyre (1956, 1976) who suggested that these particular rock series originated through "tectonic shuffling" of the magmatic rocks and Cambro-Silurian metamorphic rocks.

The petrophysical upper boundary of this entire rock complex does not agree itself with the geological upper boundary of the complex, that is with the top of the Lower

Carboniferous sequence. This is primarily because the Lower Carboniferous (Culm) conglomerates appear to have low mean density ($2.53 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), itself characteristic to the overlying Permo-Mesozoic succession (tab. 1).

As stated above, the younger rock complex of the Kaczawskie Mts. is typified by low volumetric densities (tab. 1). Markedly low mean densities ($2.34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) are characteristic of the light and porous Upper Cretaceous sediments. The Tertiary and Quaternary deposits have even much lower, but generally uniform mean density (about $2.07 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$); it is only the Tertiary basalts that display highest volumetric density ($2.99 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) and most intense magnetic properties among all the rocks studied in the region (tab. 1 and fig. 1).

When viewed in plan, the regional distribution pattern of the volumetric density values within the area of Kaczawskie Mts. reveals fairly close relationship with the main tectonic-structural trends and features of this region (tab. 1-3, figs. 2 and 3). As a whole, the regional unit of Kaczawskie Mts. is characterized by volumetric density values that are markedly higher than those displayed by the surrounding geological-structural units.

The occurrence and above-said regional pattern of petrophysically uniform zones and blocks, themselves characterized by contrasting volumetric densities, result in corresponding gravity anomalies of various amplitude (fig. 4). The values of petrophysical characteristics of the individual geological-structural units of the Kaczawskie Mts. (tab. 3, figs. 2 and 3), all allow for a more precise and reliable interpretation of the gravimetric data (fig. 4) than it appeared possible up to now.

Translated by W. Nemeč

* Geophysical Research and Experimental Centre, National Concern of Geophysical Research, Warsaw, Poland; for detailed address see Polish text.