

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. LXIII, 1

SECTIO B

2008

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny

Roman RACINOWSKI

*Znaczenie analizy minerałów ciężkich w badaniach osadów
czwartorzędowych Polski*

Significance of heavy minerals analysis in the studies of the Quaternary deposits in Poland

WPROWADZENIE

W Polsce badania minerałów ciężkich prowadzone były od początku XX wieku, ale dotyczyły skał przedczwartorzędowych. Wycinkowo analizowane były tylko osady wydumowe (Małkowski 1917) i plażowe (Morawiecki 1928, Wątocki 1928). Szczegółowiej zagadnieniem tym w odniesieniu do problematyki litologicznej zajmował się w latach 30. ubiegłego wieku J. Tokarski (1936) badający lessy podolskie. Dopiero w połowie XX wieku M. Turnau-Morawska (1952, 1954) zainicjowała badania minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych. Analizowała ona utwory preglacjalne, rzeczne, lessowe i glacialne. Opublikowała też aktualną do tej pory rozprawę dotyczącą znaczenia badań minerałów ciężkich w szeroko pojętym wnioskowaniu litologicznym (Turnau-Morawska 1955).

Bardzo duże zainteresowanie wykorzystaniem badań minerałów ciężkich we wszechstronnej charakterystyce osadów czwartorzędowych nastąpiło w latach 60. i 70. ubiegłego wieku. Wkład w tę problematykę wniosło wielu badaczy, których wyniki i wypływające z nich wnioski znajdują się w szeregu specjalistycznych publikacjach. Informacje o nich zaprezentowano w dołączonym w sposób wybiórczy spisie literatury. Pełne rezultaty analiz zgromadzone są w archiwach PIG, uczelni wyższych, placówkach PAN i instytutach resortowych (np. PIHM, IM) oraz przedsiębiorstwach geologicznych (np. Poxima). Rezultaty tych badań stanowią do tej pory ogólne wyznaczniki określające cechy osadów czwartorzędowych Polski i są podstawą wnioskowania litologicznego. Pod koniec lat 60. z inspiracji J. Rzechowskiego i A. Maliszewskiej (Maliszewska 1969) analizy minerałów ciężkich jako badania standardowe zostały wprowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny do charakterystyki litologicznej osadów czwartorzędowych Polski,

w ramach wykonywanego kartowania geologicznego kraju. Początkowo wyniki te w bardzo ograniczonej formie zamieszczane były w objaśnieniach do poszczególnych arkuszy szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000. Jednak pod koniec lat 90. ubiegłego wieku zrezygnowano z ich prezentacji w tych opracowaniach.

Na przełomie wieku XX i XXI zainteresowanie badaniami minerałów ciężkich nieco zmalało i traktowane jest tylko jako uzupełniająca charakterystyka cech litologicznych osadu. Niemniej wyniki tych badań wykorzystywane są jako pomocnicze do rozwiązywania niektórych węższych problemów, głównie do ustalenia źródła pochodzenia i kierunku transportu materiału osadotwórczego, charakterystyki dynamiki środowisk prądowych, wybranych zagadnień stratygrafii utworów plejstocenijskich czy też ustalania „stopnia zwietrzenia” osadu. Duże nagromadzenie materiału faktograficznego powoduje jednak szereg wątpliwości i krytyczną ocenę efektywności stosowania wyników analiz minerałów ciężkich do uniwersalnego wykorzystania ich w rozwiązywaniu problematyki litostratygraficznej polskich osadów czwartorzędowych. Uważa się, że w zakresie poznawczym wyniki analiz minerałów ciężkich stanowią tylko mogą materiał pomocniczy do interpretacji litogenetycznej i litodynamicznej w skali regionalnej i lokalnej (np. Czerwonka 2004, Kenig 2004, Racinowski 1993, 2000).

UWAGI METODYCZNE

Wykorzystanie wyników analiz minerałów ciężkich w rozwiązywaniu podstawowych problemów charakterystyki osadów czwartorzędowych wymaga uwzględnienia szeregu zagadnień wynikających z metodyki badań laboratoryjnych i opracowania kameralnego. Niektóre z nich przedstawiono poniżej.

Przygotowanie próbki do separacji minerałów ciężkich i sposób rozdzielania minerałów. Zasadniczo w Polsce badanie minerałów ciężkich prowadzi się na ziarnach z określonej frakcji przemytej wodą na sicie o określonej średnicy. Materiał ten nie jest poddawany działaniu odczynników chemicznych (np. HCl), które powodują eliminację niektórych składników (np. kongrecje, agregaty, glaukonit, częściowo chloryty). Jednak niekiedy zabiegi takie są wskazane ze względu na ułatwienie wykonania analiz mikroskopowych.

W zależności od średnicy analizowanego materiału naważki rozdzielanych składników są zmienne. Zwraca się uwagę, aby w leжку rozdzielczym naważki próbki nie były większe od 5–10 g. Jako cieczy separacyjnych, w których następuje rozdzielanie minerałów ciężkich, używa się bromoformu. Jednak ze względu na szkodliwe oddziaływanie na zdrowie obecnie coraz to powszechniej stosuje się rozdzielanie w wodnym roztworze poliwolframanu sodu.

Średnica badanego materiału. Zazwyczaj badana jest frakcja 0,25–0,1 mm. Jednak niekiedy dolną granicą jest średnica 0,12 lub 0,16 mm. Nie wpływa to w większym stopniu na wynik analizy i zakres wnioskowania. Dla osadów drobnoziarnistych zakres średnicy analizowanych ziarn może być

przesunięty do frakcji 0,1–0,06 mm. Rzadziej stosowane jest badanie materiału w zakresie średnic 0,06–0,01 mm. Niekiedy analizy wykonywane są we frakcji 0,25–0,06 mm czy też dla wszystkich składników o średnicy poniżej 0,1 mm (niekiedy nawet $< 0,25$ mm). Ponieważ istnieją zmiany składu minerałów ciężkich w zależności od średnicy ziarn minerałów ciężkich, porównania wyników analiz prowadzone muszą być dla analogicznego zakresu średnic.

F o r m a p o d a w a n i a w y n i k ó w. W przypadku badania minerałów ciężkich w pełnym zakresie średnic (np. $< 0,25$ mm) wyniki analizy podawane są w „procentach objętościowych”. Jednak, gdy rozpatrywana jest jedna konkretna frakcja, rezultaty prezentowane są w „procentach ilości ziarn”. Uzyskane w ten sposób wyniki przeliczane mogą być na „procenty wagowe” (np. Hałaszeski, Racinowski 1979). W badaniach osadów czwartorzędowych Polski operuje się zasadniczo „procentami ilościowymi”.

Według klasycznej metodyki podanej w podręczniku Milnera (1962), aby oznaczenia minerałów ciężkich były statystycznie wiarygodne, powinno prowadzić się obserwacje w 12–15 polach danego preparatu, a sumaryczna ilość oznaczonych składników wynosić ma 500–1000 ziaren lub więcej. W Polsce zasadniczo oznaczenia minerałów prowadzi się wzdłuż szeregu losowo dobranych linii pomiarowych, kończąc analizę, gdy określi się 200–300 ziarn minerałów przezroczystych. Ilość ta w połączeniu z liczonymi minerałami nieprzezroczystymi, konkrekcjami i innymi składnikami (muskowit, chloryty) wynosi zazwyczaj 800 do 1600 składników. Liczebność taka w zasadzie jest wystarczająca do uzasadnionego statystycznie wyniku analizy (np. Griffiths 1967, Racinowski 1972).

P r e z e n t a c j a s k ł a d u m i n e r a l n e g o. Najczęściej spektrum minerałów ciężkich podawane jest dwuczłonowo. Na wstępie minerały dzieli się na „klasy”. Są nimi następujące: 1. minerały nieprzezroczyste, 2. konkrekcje i agregaty, 3. łuszczyki (muskowit, chloryty), 4. minerały przezroczyste (bez łuszczyków). Dodatkowo wydzielana może być „klasa” glaukonitu. Bardzo często minerały nieprzezroczyste są łączone z „klasą” konkrekcji i agregatów. Bardziej szczegółowo badana jest tylko „klasa” minerałów przezroczystych, w której określane są w „grupy” mineralne. Zazwyczaj są to: amfibole, biotyt, cyrkon, dysten, epidoty (łącznie z zoizytami), granaty, pirokseny, rutyl (łącznie z innymi przezroczystymi składnikami tytanowymi), silimanit, turmaliny, inne minerały (np. andaluzyt, apatyt, monacyt, oliwiny, topaz). Do klasy minerałów przezroczystych dołączane są często chloryty i glaukonit.

U k ł a d y m i n e r a l n e. Niekiedy wskazane jest operowanie pojęciami, które w sposób jednoznaczny prezentują układ zawartości składników w „klasie” minerałów przezroczystych. Stanowi to kolejność występowania „grup mineralnych” ze względu na zmniejszanie się ich udziałów w badanej w próbce (lub zbiorze próbek). Do tego celu nadaje się zmodyfikowana metoda Kukukazu Doi pozwalająca wydzielić trzy podzbiory składników: minerały wiodące, wspomagające i uzupełniające (Racinowski 2002). *Minerały wiodące* są pierwszymi składnikami

w układzie, których suma przekracza 50%. Pojedynczo w spektrum mineralnym występują one zazwyczaj w udziale powyżej 20%. W tekście opisywać je można dużymi literami. Jeżeli jeden z nich występuje w udziale powyżej 50%, stanowi on *minerał dominujący*. Pozostałe składniki w spektrum zbliżone ilościowo do ostatniego wyrazu składnika wiodącego określa się jako *minerały wspomagające*. W tekście podawać je można w nawiasie dużymi literami. Zawartość ich w spektrum mineralnym wynosi zazwyczaj 5–20%. Pozostałe minerały, które ze względu na swoją specyfikę mogą mieć istotne znaczenie w rozważaniach litologicznych, określane są jako *minerały uzupełniające* i występują najczęściej w udziale < 5%. W tekście oznaczać je można w nawiasie małymi literami.

ZRÓŻNICOWANIE SKŁADU PRZEZROCZYSTYCH MINERAŁÓW CIĘŻKICH W ZALEŻNOŚCI OD BADANEJ ŚREDNICY

We wszystkich czwartorzędowych osadach Polski występują podobne pod względem jakościowym minerały ciężkie, jednak w zależności od badanej średnicy ich ilość jest zróżnicowana. Mimo że zmienności tej nie można w sposób jednoznaczny określić wzorami regresji, to jednak w sensie ogólnym obserwuje się pewne prawidłowości.

W glinach zwałowych (tab. 1) wraz ze zmniejszaniem się średnicy wzrasta udział cyrkonu, rutylu, częściowo epidotu. Wyraźną tendencję do obniżania zawartości wykazują amfibole i granaty. Biotyt z chlorytem w badanych frakcjach wykazują dużą zmienność.

W piaszczysto-żwirowych osadach fluwiogłajalnych (tab. 2) jest podobna tendencja zróżnicowania spektrum mineralnego jak w glinach zwałowych. Zauważa się jednak, że w miarę zmniejszania się średnicy maleje również udział biotytu i chlorytu.

Bardziej wyraźnie zróżnicowanie składu mineralnego w zależności od wielkości badanej frakcji jest w rumowisku podlegającym dyferencjacji w strefie brzegowej polskiego Bałtyku. W podbrzeżu (tab. 3) wraz ze zmniejszaniem się średnicy wzrasta zawartość cyrkonu, rutylu i epidotu, maleje udział amfiboli, biotytu i piroksenu. W strefie potoku przyboju (tab. 4) w podobnym kierunku wielkości średnic wzrasta zawartość cyrkonu i rutylu, natomiast maleje udział amfiboli, piroksenów, staurolitu. Analogiczne prawidłowości są charakterystyczne dla rumowiska plaży (tab. 5, 6) oraz wydym nadbrzeżnych (tab. 7). W sposób wyraźny stwierdza się, że tendencje zróżnicowania zawartości przezroczystych minerałów ciężkich w strefie brzegowej morza nawiązują ściśle do wyznaczonych przez wyjściowe osady plejstocenijskie. Charakterystyczne jest również, że najwyższa koncentracja granatu w całym rumowisku strefy brzegowej morza występuje we frakcji 0,25–0,1 mm.

Tab. 1. Średni procentowy skład minerałów ciężkich w glinach zwałowych z wierceń dla Polski środkowej wyliczony na podstawie 300 próbek z wierceń PIG: Strupczewo, Piaski, Brzozówka, Popielżyn, Świercze, Tyszki, Dobiesz, Borowie
 Mean percentage of heavy minerals in glacial tills from drillings done by State Geological Institute on Central Poland (calculated on the basis the of 300 samples): Strupczewo, Piaski, Brzozówka, Popielżyn, Świercze, Tyszki, Dobiesz, Borowie

FRAKCJE w mm	CECHY	KLASY MINERALNE										MINERAŁY PRZEZROCZYSTE (Σ = 100%)									
		O+K	Gl	T	AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I						
0,50-0,25	X	81,2	3,2	15,6	22,0	26,0	0,5	1,2	2,6	37,6	4,8	2,2	1,1	1,7	0,3						
	S	7,3	2,5	6,0	9,0	9,2	0,6	1,3	1,4	10,2	1,6	2,3	1,6	1,3	0,4						
0,25-0,10	X	42,9	8,2	48,9	28,7	16,6	2,9	2,6	6,2	30,5	2,1	2,0	2,5	4,4	1,5						
	S	12,0	3,9	12,9	5,3	5,9	1,2	1,2	1,5	5,1	0,7	0,7	0,6	1,4	0,9						
0,10-0,06	X	46,6	2,0	51,4	12,0	26,1	12,3	1,7	7,6	23,3	2,4	9,0	1,1	3,1	1,4						
	S	7,9	1,4	7,9	2,3	3,6	1,4	0,7	0,9	3,0	0,6	2,1	0,7	1,0	0,8						
0,06-0,01	X	50,0	1,0	49,0	3,6	18,3	36,7	1,5	3,3	16,7	0,9	15,2	0,5	2,1	1,2						
	S	13,0	0,4	6,0	0,8	6,9	5,5	0,5	1,6	3,0	0,3	2,5	0,3	0,6	0,7						

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów: O – minerały nieprzezroczyste, K – конкреcje, M – łyszczyki (muskowit, chloryty), T – minerały przezroczyste, AM – amfibole, AP – apatyt, B – biotyt, CH – chloryty, C – cyrkon, D – dysten, E – epidoty i zoizyty, Gl – glaukonit, GR – granaty, M – monacyt, P – pirokseny, R – rutyl i inne minerały tytanowe, ST – staurolit, SI – sillimanit, TM – turmaliny, I – inne minerały przezroczyste. Cechy: X – wartość średnia, S – odchylenie standardowe, R – rozstęp między wartościami skrajnymi

Explanations: Notation of minerals: O – non-transparent minerals, K – concretions, M – micas (muscovite, chlorites), T – transparent minerals, AM – amphiboles, AP – apatite, B – biotite, CH – chlorites, C – zircon, D – disthene, E – epidotes and zoizites, Gl – glauconite, GR – garnets, M – monazite, P – pyroxenes, R – rutile and other titanite minerals, ST – stauroilite, SI – sillimanite, TM – tourmalines, I – other transparent minerals. Features: X – mean value, S – standard deviation, R – range between extreme values

Tab. 2. Średni procentowy skład minerałów ciężkich w piaszczysto-zwirowych osadach fluwiogłacialnych zlodowacenia północnopolskiego z obszaru Polski północno-wschodniej wyliczony na podstawie 150 próbek

Mean percentage of heavy minerals in sandy-gravel fluvioglacial deposits of Würm glaciation based on 150 samples

FRAKCJA w mm	CECHY	KLASY MINERALNE					MINERALY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)									
		O+K	Gl	T	AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I	
0,50-0,25	X	66,4	3,0	30,6	19,5	32,1	0,3	1,2	3,6	31,6	7,2	0,7	2,1	1,6	0,1	
	S	9,1	3,0	10,3	8,1	20,6	0,5	1,2	2,3	16,1	4,2	0,9	1,5	1,6	0,4	
0,25-0,10	X	50,5	2,9	46,6	17,9	27,4	3,6	2,2	5,5	29,5	4,1	4,1	1,4	3,5	0,8	
	S	9,1	3,5	9,8	5,9	17,5	2,0	1,5	3,6	12,9	2,2	2,7	1,1	2,4	0,9	
0,10-0,06	X	40,6	1,4	58,0	14,7	27,0	12,7	2,4	7,0	22,6	3,0	5,9	1,2	2,5	1,0	
	S	10,5	2,1	10,2	5,8	13,8	5,9	1,8	2,9	8,9	1,8	2,8	1,2	1,4	0,8	
0,06-0,01	X	49,8	1,5	48,7	13,6	24,0	21,7	2,1	6,0	17,7	0,7	9,9	0,6	2,2	1,5	
	S	9,9	1,6	10,1	11,8	11,8	9,1	1,3	2,2	6,4	0,7	3,2	0,6	1,2	1,1	

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1

Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 3. Średni procentowy skład minerałów ciężkich w rumowisku podbrzeża Bałtyku na Pomorzu Zachodnim wyliczony na podstawie 289 próbek (wg R. Racinowski, Prace Naukowe PS, 4, 1974)
 Mean percentage of heavy minerals in sediment material of Baltic Sea nearshore in Western Pomerania calculated on the basis of 289 samples (according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS, 4, 1974)

FRAKCJA w mm	CECHY	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
0,50-0,25	X	59,1	23,2	15,9	0,1	2,7	5,0	40,6	7,1	0,4	2,2	1,2	1,6
	S	7,35	7,73	0,25	0,88	1,74	15,47	2,98	0,49	1,10	0,65	1,34	
0,25-0,10	X	45,6	18,8	12,7	3,5	7,7	39,4	3,7	3,2	2,2	2,1	2,7	
	S	7,98	4,05	2,02	1,16	2,81	12,51	1,86	1,50	1,39	0,83	1,49	
0,10-0,06	X	39,5	16,4	4,0	2,7	9,6	38,8	3,4	5,6	1,1	1,6	1,0	
	S	7,27	5,55	2,34	1,26	2,59	8,74	1,60	2,02	0,75	1,10	4,53	

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1
 Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 4. Średni procentowy skład minerałów ciężkich w rumowisku potoku przyboju Bałtyku na Pomorzu Zachodnim wyliczony na podstawie 118 próbek (wg R. Racinowski, Prace Naukowe PS 4, 1974)
 Mean percentage of heavy minerals in sediment material of rip stream in the Baltic Sea in Western Pomerania calculated on the basis of 118 samples (according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS 4, 1974)

FRAKCJA w mm	CECHY	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
0,50-0,25	X	55,5	27,5	10,4	0,6	3,9	6,5	31,8	6,2	0,6	5,9	3,4	3,2
	S	11,9	7,84	4,42	0,49	1,76	3,33	10,90	3,31	0,84	3,76	1,57	1,46
0,25-0,10	X	37,9	16,9	9,2	6,6	3,9	6,2	38,4	3,4	5,4	3,5	3,4	3,1
	S	13,74	6,68	4,29	3,48	1,84	2,04	16,16	1,45	3,16	1,58	1,53	1,34
0,10-0,06	X	46,7	11,4	10,3	21,7	2,7	4,5	30,8	2,5	8,2	1,7	3,2	3,0
	S	5,57	3,76	5,04	7,27	1,36	2,33	15,70	2,29	2,53	1,64	1,54	1,70

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1

Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 5. Średni procentowy skład minerałów ciężkich w rumowisku plaży Bałtyku na Pomorzu Zachodnim wyliczony na podstawie 246 próbek (wg R. Racinowski, Prace Naukowe PS, 4, 1974)
 Mean percentage of heavy minerals in sediment material of beach in the Baltic Sea in Western Pomerania calculated on the basis of 246 samples (according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS 4, 1974)

FRAKCJA w mm	CECHY	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
0,50-0,25	X	61,6	22,0	13,4	0,8	3,3	5,6	41,1	6,0	1,5	2,2	1,8	2,3
	S	6,33	7,6	5,22	0,39	2,60	1,83	9,13	1,54	0,78	0,86	0,83	0,67
0,25-0,10	X	47,8	12,4	7,9	5,9	3,6	5,4	50,9	3,5	3,8	1,8	2,5	2,3
	S	5,65	6,16	4,99	1,50	1,11	1,75	15,65	1,71	1,36	0,90	0,87	0,72
0,10-0,06	X	50,8	9,6	7,2	19,1	2,8	5,5	41,9	2,3	6,7	1,3	2,0	1,6
	S	5,54	2,96	3,33	8,10	1,42	2,10	8,30	1,25	0,75	0,47	0,82	0,85

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1
 Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 6. Średni procentowy skład minerałów rumowiska plaży wzbogaconego w minerały ciężkie plaży Bałtyku na Pomorzu Zachodnim wyliczony na podstawie 191 próbek (wg R. Racinowski, Prace Naukowe PS, 4, 1974)
 Mean percentage of minerals in beach sediment material enriched with heavy minerals in the Baltic Sea beach in Western Pomerania calculated on the basis of 191 samples (according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS 4, 1974)

FRAKCJA w mm	CECHY	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
0,50-0,25	X	39,4	8,8	5,4	0,7	2,9	4,3	66,7	4,4	1,1	3,3	1,4	1,0
	S	14,14	6,51	4,09	0,64	1,21	2,72	18,97	3,43	0,87	1,65	1,13	0,64
0,25-0,10	X	36,1	3,3	1,5	4,7	2,1	3,6	75,6	1,9	3,0	2,5	0,9	0,9
	S	5,53	2,08	1,30	2,41	1,20	1,57	8,28	1,28	1,2	1,22	0,78	0,82
0,10-0,06	X	58,8	1,6	0,9	34,7	1,2	4,2	48,0	1,0	6,2	0,8	0,5	0,9
	S	6,35	1,22	0,78	14,26	1,30	1,87	15,09	1,88	2,77	1,19	0,86	0,82

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1
 Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 7 Średni procentowy skład minerałów ciężkich w rumowisku wydm nadbrzeżnych Bałtyku na Pomorzu Zachodnim wyliczony na podstawie 85 próbek (wg R. Racinowski, Prace Naukowe PS, 4, 1974)
 Mean percentage of heavy minerals in sediment material from onshore dunes in the Baltic Sea coast in Western Pomerania calculated on the basis of 85 samples (according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS 4, 1974)

FRAKCJA w mm	CECHY	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
0,50-0,25	X	65,5	23,5	14,0	0,8	4,3	7,0	33,3	7,5	1,0	2,5	2,5	3,6
	S	8,02	3,35	3,74	0,43	1,09	0,71	3,63	2,06	0,71	0,50	1,12	0,43
0,25-0,10	X	43,3	13,5	8,0	3,3	3,8	6,3	51,3	5,0	2,8	1,3	2,7	2,0
	S	6,42	4,56	4,12	1,30	1,09	0,83	9,93	1,22	1,09	0,43	0,83	0,43
0,10-0,06	X	49,3	9,5	5,3	17,8	1,8	4,8	48,3	2,0	6,0	1,0	1,0	2,5
	S	3,96	3,35	2,49	2,49	0,43	1,09	4,38	0,71	1,00	0,71	0,10	0,83

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1
 Minerals notation as given in Tab. 1

SKŁAD PRZEZROCZYSTYCH MINERAŁÓW CIĘŻKICH
W RÓŻNYCH GENETYCZNIE OSADACH CZWARTORZĘDOWYCH

UWAGI OGÓLNE

Wyniki badań minerałów ciężkich nie mogą stanowić głównego kryterium pozwalającego na jednoznaczne określenie genezy osadów czwartorzędowych. Są one jednak ważną przesłanką podbudowującą wnioskowanie oparte na makroskopowym badaniu cech strukturalno-teksturalnych osadu oraz wynikach analiz uziarnienia i składu petrograficzno-mineralnego frakcji żwirowo-piaszczystej.

Skład minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych Polski zdeterminowany jest przez charakter materiału skandynawskiego, przytransportowanego i osadzonego przez lądolody. Generalnie duża obecność amfiboli, piroksenów i biotyту, a także granatów, epidotów, odróżnia osady czwartorzędowe od utworów starszego podłoża. Jednak miejscami w Polsce NW zaznacza się podobieństwo osadów plejstocenijskich do utworów trzeciorzędowych (np. Racinowski, Sochan 1978). Na obszarze górskim i wyżynnym Polski w osadach czwartorzędowych zaznacza się wpływ materiału pochodzącego z redeponowanej zwietrzliny starych skał podłoża. Na przedpolu Karpat utwory czwartorzędowe wzbogacone są głównie w granaty i chloryty oraz częściowo w glaukonit i cyrkon. Natomiast na przedgórzu sudeckim w osadach czwartorzędowych lokalnie występują podwyższone udziały piroksenów, staurolitu, silimanitu. Na obszarze Wyżyn Środkowopolskich, w pokrywowych osadach czwartorzędowych duże znaczenie mają minerały pochodzące z miejscowych starych utworów podścielających osady czwartorzędowe. Są nimi glaukonit, cyrkon, rutil, staurolit, dysten, andaluzyt.

Stwierdza się, że w całej Polsce wszystkie osady glacialne (piaszczysto-żwirowe i gliniaste) oraz fluwioglacialne (piaszczysto-żwirowe i pyłowe) charakteryzują się podobnym jakościowo i ilościowo składem minerałów ciężkich. Wśród minerałów przezroczystych typowe są amfibole, biotyt, epidoty, granat, pirokseny.

Osady lodowcowe różnią się od młodoplejstocenijskich i holocenijskich pokryw piaszczystych budujących terasy rzeczne i pola wydmore, w których zmniejsza się udział amfiboli, biotyту i piroksenów, wzrasta natomiast zawartość granatów i epidotów. W mięszszych pokrywach piaszczystych Wyżyn Środkowopolskich (wg dawnego terminu „poziom wysokiego zasypania”) w profilu pionowym trudno jest przeprowadzić granicę między osadami holocenijskimi a leżącymi głębiej utworami formowanymi w strefie peryglacialnej starszych zlodowaceń.

Na Niżu Polskim plejstocenijskie kopalne osady rzeczne i rozlewiskowe wykazują duże podobieństwo składu minerałów ciężkich do utworów glacialnych, które są wyjściowymi dla osadów fluwialnych. W tym przypadku więcej podstaw do rozróżnienia genetycznego tych osadów wnosi analiza składników znajdujących się w piaszczystej frakcji lekkiej. Również niejednoznaczna jest możliwość wykorzystania analiz minerałów ciężkich do wnioskowania o naturze osadów jeziorzyskowych i rozlewiskowych. Jednak w niektórych przypadkach analizy te są

bardzo pomocne do wyprowadzania uwag o cechach litofacjalnych i litodynamicznych tego środowiska sedymentacyjnego.

Ze względu na fakt, że nie we wszystkich czwartorzędowych utworach Polski występuje w dostatecznej ilości frakcja 0,25–0,1 mm (np. lessy, mułki, ility zastoiskowe), przeprowadzono poniżej porównanie osadów dla minerałów ciężkich o średnicy 0,1–0,06 mm. Istnieje wtedy możliwość całościowego ustosunkowania się do spektrum składników ciężkich występujących w różnych genetycznie osadach. Wyniki takiego porównania zestawiono w tabelach 8 i 9. Zwrócono uwagę na ogólny skład przezroczystych minerałów ciężkich, wyróżniając wśród nich układy składników wiodących, a następnie omówiono przeciętne zawartości tych minerałów w różnych genetycznie osadach.

OGÓLNY SKŁAD MINERAŁÓW CIĘŻKICH (FRAKCJA 0,1–0,06 MM)

W czwartorzędowych osadach Polski, po wyłączeniu ze spektrum minerałów ciężkich łuszczaków i glaukonitu, charakterystycznymi przezroczystymi minerałami ciężkimi są: granaty (**G**), amfibole (**A**), cyrkon (**C**), biotyt (**B**), epidoty (**E**), rutil (**R**). Pozostałe składniki nie odgrywają znaczącej roli w składzie mineralnym. Wszystkie rozpoznane minerały wiodące i wspomagające wykazują duże zróżnicowanie w jednakowych genetycznie osadach. W efekcie odchylenie standardowe od wartości średnich, a szczególnie rozstęp między skrajnymi ich udziałami w próbkach (zbiorach wyników) jest znaczny.

Dla *glin zwałowych* średni układ kolejności minerałów wiodących jest następujący $G > B > A$. Jednak stwierdza się, że przeszło 50% próbek ma dwa początkowe minerały wiodące $G > A$ lub $G > B$, rzadziej $G > B, A$. Układy takie są charakterystyczne dla całego badanego materiału, niezależnie od usytuowania regionalnego i wieku glin.

W *mułkach* następstwo minerałów wiodących ma postać $G > A > C > B$. Jednak w zależności od usytuowania regionalnego zaznaczać się może zmienne następstwo dwóch pierwszych składników wiodących. Na obszarze Niżu Polskiego zasadniczo charakterystyczny jest układ $A > G$ lub $G > B$. Natomiast na obszarze wyżynnym kraju i jego południowym zapleczu najczęściej występują układy $G > C, G > R, C > G$. Zaprezentowane prawidłowości w sposób wyraźny wskazują na bliski związek mułków niżowych z osadami akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej. Wzbogacenie w rutil i cyrkon mułków występujących na południu kraju (strefa wyżynna, przedgórska, góraska) wskazuje na poważną domieszkę materiału pochodzącego z lokalnych skał przedczwartorzędowych. Wzrost udziału granatu w mułkach znajdujących się na przedpolu Karpat sugeruje domieszanie składników pochodzących z redeponowanej zwietrzliny skał fliszu karpackiego.

W *lessach* układ minerałów wiodących ma głównie postać $G > C > R$, jako minerały wspomagające są ($E > A$). Dają się zaobserwować pewne prawidłowości regionalne. W strefie Wyżyn Środkowopolskich dominuje zasadniczo układ, w któ-

Tab. 8. Średnie udziały przezroczystych minerałów ciężkich w drobnoziarnistych osadach plejstocenckich Polski (frakcja 0,1–0,5 mm) (wg R. Racinowski, XI Seminarium Naukowe: Regionalne Problemy Ochrony Środowiska, 2003)

Mean content of transparent heavy minerals in fine grained Pleistocene deposits in Poland (fraction 0.1–0.5 mm) (according to R. Racinowski, XI Seminarium Naukowe: Regionalne Problemy Ochrony Środowiska, 2003)

OSADY	Liczba próbek	CECHY	PRZEZROCZYSTE MINERAŁY CIĘŻKIE W PROCENTACH ILOŚCIOWYCH ($\Sigma = 100\%$)														
			AM	AP	B	C	D	E	GI	GR	M	P	R	ST	SL	TM	I
I. Less	420	X	8,3	0,8	2,5	23,3	2,4	8,7	0,9	26,6	0,6	1,7	16,4	1,8	0,3	4,8	0,9
		S	4,95	1,05	2,09	11,4	1,95	6,27	1,34	12,8	1,52	1,58	5,25	1,89	0,91	3,45	1,38
		R	21,0	5,0	9,0	54,1	11,7	47,7	7,3	64,2	9,4	6,6	26,7	20,3	8,8	16,1	6,8
II. Mułki	212	X	18,5	0,7	11,6	13,2	2,5	9,7	2,5	22,1	0,0	3,8	7,8	3,2	0,0	4,2	0,2
		S	11,0	0,81	14,8	10,6	1,77	7,00	4,06	9,38	0,19	4,53	6,85	3,38	0,18	2,90	0,29
		R	35,6	3,0	85,0	64,2	8,1	25,0	27,1	65,0	1,0	21,2	26,2	16,1	1,0	12,6	1,3
III. Głina zwałowa	450	X	14,4	0,8	17,1	13,1	2,3	7,4	2,3	25,5	0,0	2,4	8,6	2,2	0,1	3,3	0,5
		S	4,73	0,92	7,68	4,92	1,36	4,73	2,47	6,18	0,00	1,49	3,50	2,20	0,30	2,08	0,91
		R	23,5	4,0	34,5	26,3	8,0	22,5	14,0	43,2	0,0	7,0	24,0	10,3	1,0	10,0	6,0

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1

Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 9. Średnie udziały przeczczystych minerałów ciężkich w osadach piaszczystych Polski (frakcja 0,1–0,05 mm) (wg R. Racinowski, XII Seminarium Naukowe: Regionalne Problemy Ochrony Środowiska, 2004)
 Mean content of transparent heavy minerals in sandy deposits in Poland (fraction 0,1–0,05 mm), (according to R. Racinowski, XII Seminarium Naukowe: Regionalne Problemy Ochrony Środowiska, 2004)

OSADY	Liczba próbek	CECHY	PRZECZCZYSTE MINERAŁY CIĘŻKIE W PROCENTACH ILOŚCIOWYCH ($\Sigma = 100\%$)														
			AM	AP	B	C	D	E	GL	GR	M	P	R	ST	SL	TM	I
IV. Piaszki piazowe	310	X	6,8	0,5	4,2	25,2	1,8	5,5	0,5	44,0	0,2	1,9	6,6	1,0	0,1	1,6	0,1
		S	5,68	0,56	3,93	15,88	1,33	2,62	0,73	13,44	0,49	1,66	2,35	1,02	0,44	1,53	0,37
		R	28,0	2,0	21,0	68,0	7,0	15,0	4,0	67,0	3,0	10,0	12,0	5,0	2,0	6,0	3,0
V. Piaszki podbrzeża	492	X	16,4	0,5	4,0	15,8	2,7	9,6	1,1	37,8	0,1	3,4	5,6	1,1	0,1	1,6	0,2
		S	5,55	0,95	2,34	5,88	1,26	2,59	4,53	8,74	0,43	1,60	2,02	0,75	0,27	1,10	0,14
		R	28,0	12,0	16,0	45,0	7,0	17,0	46,0	57,0	4,0	10,0	14,0	4,0	1,0	6,0	1,0
VI. Piaszki wydumowe	245	X	9,6	0,3	1,1	13,4	2,4	9,0	0,3	41,4	0,2	2,2	5,7	6,0	0,7	7,4	0,3
		S	8,94	0,58	2,06	7,17	1,57	6,25	0,61	11,55	0,41	1,74	3,40	3,36	1,58	4,12	0,53
		R	36,0	2,7	12,5	36,4	10,5	27,0	2,9	60,9	2,2	7,2	18,1	16,0	10,8	21,9	2,7
VII. Piaszki rzeczne teras nadzalewowych	200	X	8,0	0,2	4,1	18,4	2,6	3,1	1,6	34,5	0,7	0,7	10,3	8,1	0,2	7,5	0,0
		S	6,88	0,58	5,31	10,03	2,14	3,39	3,24	11,54	6,82	0,98	6,12	4,18	0,04	4,01	0,00
		R	23,4	3,5	35,1	43,0	12,9	17,0	18,2	30,2	68,5	4,5	28,6	18,2	0,4	10,2	0,0
VIII. Piaszki fluwioglacjalne	263	X	21,8	1,0	11,1	11,5	2,5	9,9	0,8	24,0	0,0	3,5	6,0	3,0	0,2	4,1	0,6
		S	9,98	1,07	5,72	6,60	1,61	4,70	1,69	8,58	0,22	2,67	4,40	3,83	0,44	2,85	0,90
		R	46,0	6,0	27,6	40,5	8,8	19,2	10,0	48,1	2,0	13,0	21,0	18,9	2,0	15,6	4,9

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli 1
 Minerals notation as given in Tab. 1

rym kolejność dwóch pierwszych wyrazów jest $G > C$, $C > G$, $C > R$. Lessy młodsze (wistuliańskie) tego obszaru jako kolejny minerał wiodący (lub nawet drugi) mają amfibole – A. Na przedpolu Sudetów obok zasygnalizowanego układu licznie występują spektra mineralne, w których jest układ $C > A$ i $C > E$. Natomiast na przedgórzu Karpat charakterystyczne są układy o postaci $G > C$ lub tylko z jednym minerałem wiodącym G.

W piaszczysto-żwirowych *osadach fluwioglacjalnych* w spektrum składu mineralnego dominujący jest układ $A > G$ (42% próbek), a następnie $G > A$ (22%) i $G > C$ (12%). Ponadto do minerałów wiodących lub wspomagających dochodzić mogą B, E, R. Układy takie typowe są dla obszaru całej Polski.

Piaski rzeczne teras nadzalewowych wzbogacone są w przezroczyste minerały ciężkie o wyższych ekwiwalentach hydraulicznych i większej odporności na niszczenie. Osady rzeczne położone na kontakcie z utworami glacialnymi mają podwyższoną zawartość amfiboli, biotyту, epidotu. Natomiast znajdujące w bliskim sąsiedztwie skał starszych (głównie w pasie wyżyn i ich południowym przedpolu) cechują się większą ilością cyrkonu, granatu, i staurolitu. Układ przezroczystych minerałów wiodących ma kolejność $G > C$ (46% próbek), $G > [C, R, S, E, T]$ (13%), $C > G$ (13%), rzadziej ma postać $G > A$ (12%).

Piaski wydmore wykazują podobne cechy jakościowe i ilościowe do piasków rzecznych, jednak w stosunku do nich cechują się większą monomineralnością, gdyż aż w 26% próbek dominującym minerałem jest granat (G), którego udział w spektrum wynosi $> 50\%$. Na pierwszym miejscu wśród piasków wydmorewych charakterystyczny jest układ $G > C$ (33%), a następnie $G > A$ (15%) i $G > E$ (12%). W ciągu tym tylko sporadycznie znajdują się próbki, w których na pierwszym miejscu układu znajdują się A.

Piaski podbrzeża strefy brzegowej Bałtyku mają następujący układ minerałów wiodących: $G > A$ (50% próbek), $G > C$ (40%), G (6%), $C > G$ (2%).

W *piaskach brzegu morskiego (plaży)* w układzie minerałów zazwyczaj dominującym jest tylko jeden składnik, którym najczęściej jest granat (G) z udziałem $> 50\%$ (43% próbek) lub cyrkon C- (6%). Ponadto są układy: $G > C$ (37%), $G > A$ (9%) oraz $C > G$ (5%).

ILOŚCIOWA ZMIENNOŚĆ ZAWARTOŚCI MINERAŁÓW WIODĄCYCH (FRAKCJA 0,1–0,06 MM)

A m f i b o l e. W *glinach zawałowych* niezależnie od regionu kraju i wieku, większość utworów charakteryzuje się 10–20% zawartością amfiboli. W *mulkach* są dwie grupy osadu. W pierwszej znajduje się materiał o zawartości amfibolu 0–10%. Charakterystyczny jest on dla strefy wyżynnej Polski i jej południowego zaplecza. W drugiej grupie udział tego minerału wynosi 20–35%. Jest to podzbiór typowy dla niżowej części kraju. W *lessach* maksimum próbek ma zawartość amfiboli w granicach 0–15%. Zazwyczaj lessy młodsze cechują się podwyższonymi udziałami

tego minerału. Sytuacja taka zdaje się być właściwa dla wszystkich polskich lessów wyżynnych. W utworach *fluwioglacjalnych* praktycznie wszystkie próbki zawierają 10–35% amfiboli. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych, wydmowych i plażowych* odsetek amfiboli jest zasadniczo mniejszy od 5%. Tylko sporadycznie przekracza 10%. W *piaskach podbrzeża* występuje zazwyczaj rumowisko o zawartości 10–25% tego składnika.

B i o t y t. W *glinach zwałowych* około 50% materiału zawiera 15–25% biotyту, a łącznie trzy czwarte próbek charakteryzuje się 10–30% udziałami tego składnika. Nie można dopatrzeć się zróżnicowania zawartości biotyту w zależności od wieku glin lub regionu ich występowania. *Mułki* w większości zawierają < 15% biotyту. Jednak w mułkach znajdujących się w strefie wyżynnej i na jej południowym zapleczu zazwyczaj udział biotyту jest < 5%. Natomiast na Nizinie Polskiej zawartość jego wynosić może 10–15%. *Lessy* posiadają bardzo małą zawartość biotyту, gdyż przeszło 90% materiału ma go mniej niż 5%. W *piaskach fluwioglacjalnych* przeszło 50% osadu zawiera 10–20% biotyту, w pozostałym materiale jest go zasadniczo mniej o 10%. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych, wydmowych i plażowych* większość próbek zawiera < 5% biotyту. W *rumowisku podbrzeża* udział tego minerału wynosi 5–10%.

E p i d o t y. W *glinach zwałowych* w około 75% próbek zawartość epidotu jest < 10% (głównie 5–10%). Tylko 10% materiału zawiera > 15% epidotu. *Mułki* cechują się bardzo zmienną zawartością epidotu. Obok osadów, w których jest go > 15%, w znaczącej ilości próbek jest go mniej od 5%. W *lessach* około 90% próbek zawiera poniżej < 10% epidotu. Zazwyczaj lessy starsze zawierają mniej epidotu niż lessy młodsze. *Piaski fluwioglacjalne i podbrzeża* cechują się głównie zawartością epidotów rzędu 5–15%. *Piaski plażowe i wydmy* charakteryzują się obecnością epidotu w zakresie 0–10%. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych* przeważa materiał o zawartości epidotu 0–5%.

G r a n a t y. W przeszło 60% próbek *glin zwałowych* zawartość granatu wynosi 20–30%, a cały materiał cechuje się udziałami 15–35%. Zasadniczo trudno dopatrzeć się zróżnicowania zawartości granatu w zależności od wieku osadu i regionu, w którym występuje. W *mułkach* zawartość granatu waha się od 10–30%, z dominantą w przedziale 20–30%. Nie stwierdzono, aby zróżnicowanie udziału granatu związane było z wiekiem mułków lub miejscem ich występowania. W *lessach* jest bardzo duży rozrzut zawartości granatu. Występuje materiał z udziałami tego minerału tak poniżej 5%, jak i powyżej 65%. Przeważają osady o zawartości granatu 20–25%. Brak jest wyraźnego związku między zawartością tego składnika a wiekiem lessów. Stwierdza się jednak, że lessy przedkarpackie mają podwyższoną zawartość granatu w stosunku do lessów wyżynnych. W *piaskach fluwioglacjalnych* dominują osady o zawartości granatu 15–30%. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych* większość materiału cechuje się 30–45% udziałami granatów. W *piaskach wydmowych i piaskach plażowych* zawartość granatów wynosi zazwyczaj

30–60%. W *podbrzeżu* strefy brzegowej morza zawartość tego składnika jest rzędu 25–50%.

Cyrkon. Cyrkon w *glinach zwałowych* występuje w ilości 5–20%, przy czym najczęściej próbek ma 10–15% tego składnika. Na podstawie zawartości cyrkonu w badanym materiale nie obserwuje się odrębności regionalnych i wiekowych glin zwałowych. W *mułkach* dominują próbki z zawartością cyrkonu 5–20%. Zwraca uwagę fakt, że około 20% materiału ma zawartość cyrkonu < 5%. Jednak w pojedynczych próbkach zawartość tego minerału przekracza 35%. Niska zawartość cyrkonu wiąże się z mułkami glacialnymi typu kemowego. Natomiast w dużej ilości występuje on w osadach znajdujących się w sąsiedztwie wychodni starszego podłoża. Zawartość cyrkonu w utworach *fluwioglacjalnych* i materiale *wydmowym* koncentruje się głównie w przedziale 5–15%. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych* jest duży rozrzut zawartości cyrkonu, mieszczący się w zakresie 5–30%. W *rumowisku plażowym i podbrzeża* udział cyrkonu skupiony jest głównie w przedziale 5–25%.

Rutyl. W *glinach zwałowych* około 60% osadu zawiera 5–10% rutylu. Jest to minerał o charakterze wspomagającym, nierzutującym na cechy litologiczne. W *mułkach* rutyl występuje w ilości < 10%, jednak lokalnie w sąsiedztwie wychodni osadów przedczwartorzędowych udział jego może wynosić 20–30%. W *lessach* zawartość rutylu jest nieco większa niż w opisywanych powyżej osadach. Na obecnym etapie rozpoznania trudno dopatrzeć się związku zróżnicowanej zawartości tego minerału z wiekiem osadu i regionem, w którym występują lessy. W *osadach fluwioglacjalnych* i *piaskach wydmowych* rutyl występuje w udziale 0–10%. W *piaskach rzecznych teras nadzalewowych* zawartość tego minerału zmienia się w zakresie 0–20%. W *rumowisku plażowym i podbrzeżu* udział rutylu jest zazwyczaj rzędu 5–10%.

ZNACZENIE STRATYGRAFICZNE BADAŃ MINERAŁÓW CIĘŻKICH

ODRĘBNOŚCI MIĘDZY OSADAMI CZWARTORZĘDOWYMI A UTWORAMI STARSZYMI

W większości regionów Polski skład minerałów ciężkich pozwala na rozróżnienie osadów czwartorzędowych od utworów starszych (znajdujących się na pierwotnym i wtórnym złożu). Generalnie w osadach przedczwartorzędowych występuje mniejsza wagowa zawartość minerałów ciężkich. Podwyższenie masy tych minerałów wiąże się zazwyczaj z występowaniem w nim dużej ilości glaukonitu, kongrecji węglanowo-żelazisto-manganowych, a często też muskowitu i chlorytów. Na obszarze prawie całej Polski w spektrum minerałów ciężkich osadów mezozoicznych i trzeciorzędowych dominującymi są cyrkon, turmalin, rutyl, staurolit, dysten. Sporadycznie występują granaty i epidoty (np. Gwóźdź, Racinowski

1979, Morawski 1965a, Krysowska–Iwaszkiewicz 1974). Tylko w sposób śladowy stwierdza się amfibole, pirokseny, biotyt. Jednak na przedpolu Karpat i w Zapadlisku Przedkarpackim w utworach trzeciorzędowych, obok wymienionych powyżej, w znacznej ilości występują granaty, a częściowo amfibole, pirokseny i biotyt. Na przedpolu Sudetów obserwuje się występowanie piroksenów i silimanitu. W wielu osadach trzeciorzędowych Polski północno-zachodniej i zachodniej stwierdza się znaczące udziały amfiboli, biotyту, piroksenów, granatów, rutylu (np. Racinowski, Sochan 1978).

Na podstawie przedstawionych uwag stwierdzić można, że analizy składu minerałów ciężkich są pomocne do przeprowadzenia granicy między osadami czwartorzędowymi a starszym podłożem, jak również występujących w osadach plejstocenijskich porwaków starszego podłoża.

RÓŻNICE MIĘDZY ODMIENNYMI WIEKOWO OSADAMI CZWARTORZĘDOWYMI

Rozpoziomowanie wiekowe osadów czwartorzędowych w profilach, jak i w przekrojach na podstawie składu minerałów ciężkich jest zagadnieniem bardzo złożonym ze względu na fakt, że pewne podobieństwa lub odrębności wynikają z różnej genezy i odmienności facjalnej osadów, doprowadzania do osadów materiału z przedczwartorzędowego podłoża lub przemieszania młodszych osadów czwartorzędowych ze starszymi utworami plejstocenijskimi (np. Chlebowski, Lindner 1976, 1991; Gwóźdź, Racinowski 1979; Jahn, Turnau-Morawska 1952; Kociszewska-Musiał, Kosmowska-Ceranowicz 1969; Kosmowska-Ceranowicz 1966; Krysowska-Iwaszkiewicz 1974; Trycha-Czyż 1972). Przykład zmienności składu mineralnego w różnowiekowych osadach czwartorzędowych przedstawiono w tabelach 10, 11. Na podstawie przytoczonych tam danych nie zauważa się istotnego zróżnicowania składu minerałów ciężkich w zależności od wieku. Sytuacja taka jest właściwa również dla innych polskich stanowisk badawczych. Zwraca uwagę fakt, że osady bezpośredniej akumulacji glacialnej jak i fluwioglacialnej mają zbliżone charakterystyki. Różnią się od nich młodsze osady innej genezy.

Zazwyczaj uważa się, że do badań litostratygraficznych najbardziej nadają się typowe gliny zwałowe, które są łatwe do makroskopowej identyfikacji. Przykład zróżnicowania składu minerałów ciężkich glin zwałowych przedstawiono w tabeli 12. Zaprezentowane wyniki nie pozwalają jednak w profilu tego wiercenia (jak i innych) na jednoznaczne wydzielenie odrębnych wiekowo poziomów glacialnych (np. Iłaszeski, Racinowski 1979). Dotyczy to również zdecydowanej większości materiału pobranego z innych profili wiertniczych znajdujących się w różnych regionach Polski. (np. Czerwonka 1977, 2004; Czerwonka et al. 1994, 1998; Gronkowska, Kenig 1974; Kenig 2004; Krzyszkowski, Czerwonka 1994; Łydko, Turnau-Morawska 1967; Masłowska 1999; Morawski 1969; Racinowski,

Tab. 10. Minerality ciężkie w osadach plejstocénskich okolic Pikulice koło Przemyśla
(wg M. Łanczont, R. Racinowski, Annales UMCS sc. B. vol. 49, 1994)
Heavy minerals in Pleistocene deposits from vicinity of Pikulice near Przemyśl
(according to M. Łanczont, R. Racinowski, Annales UMCS sc. B. vol. 49, 1994)

WIEK	KOMPLEKSY GENETYCZNE	OSADY	KLASY MINERALNE										MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)					
			O	Ł	T	AM	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I			
Qp ⁴	V	Pg	61	12	27	15	9	1	4	51	1	11	–	6	2			
			64	5	31	11	12	4	15	30	1	17	4	5	1			
Qp ³	IV	Ps	45	5	50	7	6	1	3	69	1	6	2	4	1			
			59	4	37	8	6	3	6	55	6	11	1	4	–			
Qp ²⁻³	II	Ż	61	12	27	8	10	–	7	59	1	10	1	3	1			
			36	7	57	5	5	1	8	72	–	5	1	3	–			
		Ż	95	3	2	8	26	–	10	50	–	5	–	1	–			
			34	6	60	2	5	1	4	75	1	5	3	4	–			
Qp ²	I	Πp	54	16	30	10	9	2	6	49	2	9	2	9	2			

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Wiek i osady jak na tabeli 11. Kompleksy: I – kompleks osadów rozlewiskowych, II – kompleks osadów proluwialnych, IV – kompleks osadów fluwialnych, V – kompleks osadów stokowych. Symbole osadów (wg PN-86/B-02480): Ż – żwir, Ps – piasek średni, Pd – piasek drobny, Pg – piasek gliniasty, Πp – pył piaszczysty

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Age and deposits as in Tab. 4. Complexes: I – flooding deposits complex, II – profluviat deposits complex, IV – fluvial deposits complex, V – slope deposits complex. Deposits notation (according to PN-86/B-02480): Ż – gravels, Ps – medium sand, Pd – fine sand, Pg – clayey sand, Πp – sandy silt

Tab. 11. Minerale ciężkie w osadach z okolic Biłgoraja i Roztocza we frakcji 0,25–0,05 mm (wg R. Racinowski a, b, Biuletyn IG, 220, 1969)
Heavy minerals in deposits from vicinity of Biłgoraj and Roztocze within fractions 0.25–0.05 mm (according to R. Racinowski: Biuletyn IG, 220, 1969)

WIEK	GENEZA	OSAD	KLASY MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			O	L	T	AM	B	C	D	E	GI	GR	P	R	ST	TM
Q _H	fl	Ps	+	77	4	2	26	3	2	+	32	+	12	9	10	
			+	76	3	+	20	2	1	1	41	+	8	12	12	
Qp ⁴	fl	Ps	+	75	3	+	25	3	2	+	34	+	14	8	11	
			+	71	5	1	26	4	2	+	29	+	13	9	11	
Qp ³	fl	Ps	+	68	17	3	24	3	2	1	22	+	13	7	8	
			+	73	17	5	17	2	2	+	34	+	10	5	8	
Qp ²⁻³	fl	Ps	+	73	4	+	25	4	+	39	+	11	8	9		
			+	88	27	13	20	2	1	2	18	+	7	5	5	
Qp ²	flg	Ps+Ż	+	82	22	7	15	2	2	3	24	+	9	9	7	
			+	66	20	6	14	4	1	2	26	+	12	6	9	
Qpp	I	Gp+Z	+	72	21	8	16	3	2	3	26	+	9	5	7	
			+	68	5	1	22	4	+	2	37	+	12	8	9	
Tr	m	w	+	57	13	5	22	3	+	2	31	+	15	7	13	
			+	60	17	3	25	1	2	1	35	–	9	10	14	
K	m	op	+	20	51	+	23	11	+	23	5	+	14	12	12	
			+	28	34	+	60	2	–	8	4	–	16	4	6	

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Wiek: K – kreda górna, Tr – trzeciorzęd (miocen), Qpp – preglacjal, Qp² – zlodowacenie południowopolskie, Qp²⁻³ – interglacjal mazowiecki, Qp³ – zlodowacenie środkowopolskie, Qp⁴ – zlodowacenie północnopolskie, Q_H – holocen. Genez: m – morska, l – jeziorzyskowa, gl – glacialna, flg – fluwioglacjalna, fl – fluwialna, w – eoliczna (wydmowa). Osady: op – opoki, w – wapienie, I – il, G – gлина, Gp+Ż – gлина piaszczysta z domieszką żwiru (gлина zwalowa), Пp – pył piaszczysty, Pd – piasek drobny, Ps – piasek średni, Ps+Ż – piasek średni z domieszką żwiru, Po – pospółka. Symbole osadów klastycznych wg PN-86/B-02480

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Age: K – upper Cretaceous, Tr – Tertiary (Miocene), Qpp – preglacial period, Qp² – Mindel glaciation, Qp²⁻³ – “Mazowiecki” interglacial, Qp³ – Riss glaciation, Qp⁴ – Würm glaciation, Q_H – Holocene. Origin: m – marine, l – lacustrine, gl – glacial, flg – fluvioglacjal, fl – fluvial, w – eolic (dune). Deposits: op – gaizes, w – limestones, I – clay, G – loam, Gp+Ż – sandy loam with gravel (glacial till), Пp – sandy silt, Pd – fine sand, Ps – medium sand, Ps+Ż – medium sand with gravel, Po – aggregate. Symbols of clastic deposits according to PN-86/B-02480

Tab. 12. Procentowy skład mineralny glin zwałowych z profilu Tyszkki wyliczony z wagowej zawartości minerałów ciężkich we frakcji 0,5–0,06 mm (wg W. Hałaszeski, R. Racinowski b, Prace Naukowe PS, 97 1979)
 Mineral percentage of glacial tills from Tyszkki profile, calculated from weight content of heavy minerals within fraction 0.50–0.06 mm (according to W. Hałaszeski, R. Racinowski; Prace Naukowe PS, 97 1979)

Wiek	Ilość próbek	O+K	MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)										
			AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I
h	2	41	24	21	6	1	7	26	3	4	3	3	2
g	5	44	24	23	6	2	6	26	3	3	1	2	4
e	2	46	25	26	8	1	5	23	2	4	1	3	2
d	5	55	20	20	8	2	5	30	3	4	2	3	3
b	6	61	28	21	4	2	7	22	3	4	1	5	3
a	5	83	17	23	6	4	6	28	3	5	2	4	2

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Stratygrafia wg. J. Rzechowskiego (1969): a – zlodowacenie najstarsze, b–d – zlodowacenie południowopolskie (b – stadią najstarszy, d – stadią najmłodszy); e–h – zlodowacenie środkowopolskie (e – stadią najstarszy, g – mazowiecko-podlaski, h – kujawsko-północnomazowiecki)

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Stratigraphy according to J. Rzechowski (1969): a – the oldest glaciation, b–d – Mindel glaciation (b – the oldest substage, d – the youngest substage), e–h – Riss glaciation (e – the oldest substage, g – Mazowiecko-Podlaski substage, h – kujawsko-północnomazowiecki substage)

Rzechowski 1969; Racinowski, Sochan 1978, 1981; Rzechowski 1977; A. W. Stankowski 1966).

Podobna sytuacja dotyczy również stratyfikacji lessów na podstawie składu minerałów ciężkich (tab. 13a,b). Zwraca uwagę fakt, że często w sąsiadujących ze sobą stanowiskach mogą występować znaczne różnice spektrum minerałów ciężkich. Niemniej obserwuje się, że lessy najmłodsze cechują się podwyższoną zawartością amfiboli i epidotów (np. Buraczyński et al. 1978; Chlebowski, Lindner 1976, 1991; Maruszczak, Wilgat 1978; Racinowski 1976; Trycha-Czyż 1972).

Na podstawie dotychczasowych wyników badań nie można stwierdzić, aby wyniki analiz minerałów ciężkich pozwalały w sposób jednoznaczny zróżnicować różnowiekowe osady tak w skali kraju, jak i regionu. Niemniej w wielu przypadkach rezultaty analiz minerałów ciężkich wraz z innymi badaniami mineralno-petrograficznymi pomocne są do wyprowadzania ogólnych wniosków litostratygraficznych oraz formułowania szerszych uwag paleogeograficznych. Jednak badania minerałów ciężkich stanowić mogą tylko podbudowę wszechstronnych badań litologicznych, które rozpatrywane powinny być oddzielnie dla odrębnych „provincji” czy też „rejonów” (np. Czerwonka 1977, 2004; Kenig 2004; Rzechowski 1977).

Mając na względzie retrospektywny przegląd całości materiałów faktograficznych, J. Rutkowski proponuje wydzielenie w Polsce trzech zasadniczych prowincji.

Prowincja pierwsza stanowi obszar północny pokryty zwartą pokrywą osadów lodowcowych i wodnolodowcowych pochodzenia skandynawskiego, który jest najlepiej poznany i jego też dotyczy większość prac i rozważań ogólnych dotyczących minerałów ciężkich.

Druga prowincja obejmuje strefę występowania skał przedczwartorzędowych, która pokryta była w przeszłości przez lądolody skandynawskie. Minerale ciężkie mogą tu pochodzić zarówno z lądolodów, jak i z podłoża przedczwartorzędowego. Stan rozpoznania tej prowincji jest zdecydowanie słabszy.

Trzecią prowincję stanowią obszary niepokryte przez lądolody skandynawskie (Karpaty, Sudety), gdzie minerale ciężkie pochodzą wyłącznie z podłoża, a stan ich rozpoznania w osadach czwartorzędowych ma bardzo lokalny charakter.

USTALANIE ŹRÓDŁA MATERIAŁU I PROCESÓW HIPERGENICZNYCH

W bardzo wielu przypadkach skład minerałów ciężkich jest bardzo pomocny do ustalania źródła materiału, z którego formowały się osady czwartorzędowe (np. Buraczyński et al. 1978; Chlebowski, Lindner 1976, 1991, Chlebowski et al. 2002; Gwoźdź, Racinowski 1979; Jahn, Turnau-Morawska 1952; Kociszewska-Musiał, Kosmowska-Ceranowicz 1969; Kosmowska-Ceranowicz 1966; Krysowska-Iwaszkiewicz, Łanczont 1992; Łanczont, Wilgat 1994; Morawski 1965b,c; Racinowski

Tab. 13a. Minerale ciężkie we frakcji 0,25–0,16 mm w głównych kompleksach osadów w profilu Baborów (wg J. Jersak, R. Racinowski 1984)
Heavy minerals within fraction 0.25–0.16 mm in main complexes of deposits in Baborów profile (according to R. Racinowski, 1984)

Kompleksy osadów wg J. Jersaka	Liczba analiz	KLASY MINERALNE						MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)									
		O	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I		
10. Less młodszy II b brunatny	7	42,2	34,0	23,8	25,8	6,1	5,5	4,7	7,2	22,0	3,4	4,8	10,0	7,8	2,7		
9. Less młodszy II a siwy	2	42,5	26,6	30,9	23,3	9,2	4,5	5,7	5,2	17,4	6,3	4,3	15,9	6,8	1,4		
6. Stokowy osad pylasto-piaszczysty ze żwirami	5	53,3	12,2	34,5	19,7	8,8	5,2	5,1	7,8	10,5	7,0	4,4	21,2	8,0	2,3		
4/5. Stokowy osad pylasto-piaszczysty ze żwirami. Poziom przemywania gleby kopalnej (A ₃)	3	41,2	24,3	34,5	18,8	8,1	2,9	5,5	7,3	15,6	7,0	4,6	20,0	8,7	1,5		
3. Stokowy osad gliniasto-piaszczysty z glaznikami. Ogłębony poziom iluwialny gleby kopalnej (B _{fg}).	2	35,9	46,7	17,4	23,5	9,3	6,3	2,1	6,5	16,3	5,4	4,3	19,1	5,6	1,6		

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1
Minerals notation as given in Tab. 1

Tab. 13b. Minerale ciężkie we frakcji 0,16–0,06 mm w głównych kompleksach osadów w profilu Baborów (wg R. Racinowski 1984)
Heavy minerals within fraction 0,16–0,06 mm in main complexes of deposits in Baborów profile (according to R. Racinowski, 1984)

Kompleksy osadów wg J. Jersaka	Liczba analiz	KLASY MINERALNE					MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)									
		O	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I	
10. Less młodszy IIb brunatny	7	32,2	32,7	35,1	24,9	10,6	18,5	2,6	8,0	12,4	3,6	9,2	3,3	4,1	2,8	
9. Less młodszy IIa siwy	2	30,2	33,6	36,2	18,8	8,6	22,8	3,3	9,6	9,0	2,1	14,1	3,6	5,6	2,5	
6. Stokowy osad pylasto-piaszczysty ze żwirami	5	40,7	29,4	29,9	15,6	6,5	27,5	3,3	10,4	6,1	3,2	16,1	4,3	4,2	2,8	
4/5. Stokowy osad pylasto-piaszczysty ze żwirami. Poziom przemywania gleby kopalnej (A ₃)	3	30,0	48,2	21,8	13,8	7,0	27,4	4,0	10,0	9,8	2,3	11,7	5,5	5,4	3,1	
3. Stokowy osad gliniasto-piaszczysty ze żwirami. Ogłębony poziom iluwialny gleby kopalnej (Btg)	2	27,6	34,8	37,6	24,5	15,2	15,6	2,9	6,8	10,0	3,2	8,8	4,6	4,7	3,7	

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1
Minerals notation as given in Tab. 1

2002; Trembaczowski 1948; Trycha-Czyż 1972). W przypadku *osadów glacialnych* wzbogacenie w niektóre minerały typowe dla starszego podłoża pozwala wnioskować o lokalnym kierunku transportu. Dotyczy to doprowadzania do osadów czwartorzędowych glaukonitu, chlorytów, a nawet cyrkonu, rutyłu, turmalinów, staurolitu, a niekiedy nawet granatów.

W *utworach nieglacialnych* spektrum minerałów ciężkich w sposób wyraźny wskazywać może na źródłowy materiał, z którego został uformowany osad. Na przykład niekiedy wnioskować można o glacialnym charakterze rozwiewanych osadów, z których formowały się lessy młodsze. Na rozwiewanie zwietrzliny skał starszych wskazuje obecność w lessach glaukonitu przy współdziałaniu minerałów odpornych na niszczenie (np. Chlebowski, Lindner 1976, 1991; Chlebowski et al. 2002).

Na przedpolu Sudetów o kierunku transportu rzecznego i eolicznego wnioskować można na podstawie wzbogacenia osadów czwartorzędowych w materiał z krystalicznych skał sudeckich (np. piroksen, staurolit, silimanit).

Minerały ciężkie w *osadach ilasto-mułkowych* na przedpolu Karpat wskazują na współdziałanie w składzie minerałów ciężkich materiału pochodzącego z lokalnych utworów trzeciorzędowych skał fliszu karpackiego oraz osadów glacialnych (tab. 10).

Bardzo problematyczne jest wyciąganie wniosków o poziomach wietrzeńcowo-glebowych na podstawie składu minerałów ciężkich (np. Buraczyński et al. 1978; Fros, Racinowski 1987; Konecka-Betley, Majsterkiewicz 1973; Morawski 1978; Morawski et al. 1971; Trycha-Czyż 1972; Uziak, Pomian 1976). Dotyczy to tak gleb współczesnych, jak i kopalnych (tab. 14, 15). Tylko lokalnie dopatrywać się można zwietrzienia poszczególnych minerałów. Są to badania czasochłonne, a obserwacje czynione są incydentalnie. Analizy takie prowadzi się szczególnie wtedy, gdy z opisu profilu zakłada się, że znajdować się tam może poziom wietrzeńcowy. Tylko sporadycznie, na podstawie analizy minerałów ciężkich w profilach osadów czwartorzędowych mogą być wyznaczane w sposób jednoznaczny poziomy wietrzeńcowe. Wydaje się, że w takich przypadkach wśród składników ciężkich szczegółowo powinna być rozpatrywana „klasa” minerałów nieprzezroczystych oraz kongregacji.

USTALENIE ZRÓŻNICOWANIA LITOFACJALNEGO I DYNAMIKI ŚRODOWISKA SEDYMENTACYJNEGO

W badaniach litologicznych utworów czwartorzędowych czynione są próby wykorzystania analiz minerałów ciężkich do rozważań litofacjalnych i litodynamicznych. Jednak w praktyce są to tylko analizy wspomagające wcześniejsze wnioski oparte na podstawie cech strukturalno-teksturalnych oraz badaniach makroskopowych, które uzupełnione są analizą uziarnienia osadów.

W przypadku glin lodowcowych trudno jest na podstawie badań minerałów ciężkich jednoznacznie wydzielać odmiany litofacjalne tych osadów. Niekiedy jednak dysponując na większym obszarze wynikami takich badań, można wnioskować

Tab. 14. Minerale ciężkie w poziomach gleby kopalnej typu Tomaszów w lessie profilu Odonów, we frakcji 0,16–0,06 mm (wg R. Racinowski, Z. Śniezko, UŚ Geologia, 14, 1997)
Heavy minerals in levels of fossil soils of Tomaszów type in loess of Odonów profile, within fraction 0.16–0.06 mm (according to R. Racinowski, Z. Śniezko, UŚ Geologia, 14, 1997)

Symbole warstw wg J. Jersaka	Poziom glebowy	KLASY MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)											
		NT+K	Ł	T	AM	B	C	D	E	GL	GR	P	R	ST	TM	I
10	Ag	24,9	35,0	40,1	9,8	4,2	16,0	4,9	14,6	0,4	26,0	2,3	12,6	3,8	7,0	2,8
9	C	30,1	33,7	36,2	8,2	8,2	11,0	4,3	12,7	–	22,8	3,8	10,7	3,3	12,7	2,3
8	A	21,5	38,0	40,5	5,2	3,2	8,7	5,2	13,8	–	22,0	1,7	16,6	11,4	10,5	1,7
7	Eet	37,0	16,3	46,7	5,9	4,4	13,1	5,2	18,0	0,2	25,1	1,8	12,4	4,5	8,4	1,0
4/6	Btg	36,1	26,6	37,3	8,9	6,3	10,0	6,9	19,4	0,6	22,6	2,0	12,3	3,0	6,9	1,1

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Symbole warstw: 4/6 – materiał gliniasty, 7 – materiał pylasty, 8 – materiał pylasty, 9 – less bezwęglanowy, bezstrukturalny, 10 – less bezwęglanowy, czarnoziem, wtórnie oglejony. Poziom: Ag – poziom mineralno-próchniczny oglejony, C – poziom skały macierzystej, A – poziom mineralno-próchniczny, Eet – poziom przemiywania, Btg – poziom iluwialny gleby płowej oglejony

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Strata notation: 4/6 – loamy material, 7 – silty material, 8 – silty material, 9 – non-carbonate, non-structural loess, 10 – non-carbonate loess, black-earth, secondary gleyed. Level: Ag – mineral and humus level, gleyed, C – level of parent rock, A – mineral and humus level, Eet – washing through level, Btg – iluvial level of silty soil, gleyed

Tab. 15. Minerale ciężkie w różnych genetycznie poziomach profilu glebowego osadów grzbietowo-stokowych w rejonie Jarosowca na Jurze Krakowsko-Częstochowskiej we frakcji 0,25–0,1 mm (wg R. Fros, R. Racinowski: Geografia. Studia et dissertationes, 10, 1987)

Heavy minerals in genetically different horizons of soil profile of ridge-slope deposits in the region of Jarosowiec in Jura Krakowsko-Częstochowska, within fraction 0.25–0.10 mm (according to R. Fros, R. Racinowski: Geografia. Studia et dissertationes, 10, 1987)

Gleba	Poziom glebowy	KLASY MINERALNE										MINERALY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)									
		O	K	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I					
Pararędzina brunatna	A	34,5	3,1	2,3	60,1	1,9	0,3	13,1	1,3	8,1	56,5	1,2	4,8	6,3	5,5	1,0					
	(B)	37,1	11,1	3,8	48,0	2,3	0,4	14,4	1,8	8,5	51,9	1,5	4,4	8,3	5,8	0,7					
Gleba brunatna	A	36,1	4,6	2,1	57,2	2,8	0,3	9,0	1,4	6,8	54,9	2,8	3,5	10,0	7,5	1,0					
	B	34,9	5,1	3,8	56,2	1,7	0,5	13,1	1,7	7,5	55,0	1,9	3,9	7,8	6,1	0,8					
	C	38,9	4,8	2,9	53,4	2,5	0,3	18,4	2,2	7,8	47,8	2,2	4,4	7,4	6,2	0,8					
Bielica żelazista	A	33,7	5,0	2,6	58,7	2,8	0,1	11,8	2,1	8,1	49,5	3,4	5,0	7,8	7,8	1,6					
	BC	35,9	7,9	2,4	53,8	1,8	1,1	10,0	1,3	9,3	54,1	2,1	4,6	7,8	6,6	1,3					

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Poziomy glebowe: A – poziom mineralno-próchniczny, B – poziom iluwialny, C – poziom skały macierzystej

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Soil levels: A – mineral and humus level, B – iluvial level, C – level of parent rock

wać, że niektóre kompleksy formowały się przy znacznym oddziaływaniu środowiska wód wolno płynących lub stojących, o czym świadczy wzbogacenie spektrum mineralnego w minerały o pokroju blaszkowatym.

Zdecydowanie większą efektywność wykazuje interpretacja wyników analiz minerałów ciężkich przy szeroko pojętej analizie litofacjalnej środowisk prądowych (np. Chlebowski 1964; Chlebowski, Lindner 1976, 1991; Chlebowski et al. 2002; Grabowska 1961; Kotliński 1985; Iłaszkeski et al. 1979b; Jary, Krzyszkowski 1994; Jęczmyk 1979; Kociszewska-Musiał et al. 1972; Łanczont, Racinowski 1994; Łoziński, Masicka 1962, Maruszczak, Morawski 1976, Maruszczak, Wilgat 1978, Morawski, Trembaczowski 1971; Mycielska-Dowgiałło 1978; Nowak 1963; Racinowski 1974; Racinowski et al. 1993; Rzechowski 1961; Tokarski 1936; Trembaczowski 1948; Trycha-Czyż 1972; Turnau-Morawska 1952; Urbaniak-Biernacka 1975, 1976; Uścińowicz 1985; Wajda 1970, 1976).

W przypadku *osadów wodnolodowcowych* (tab. 16) jest to analiza wspomagająca wnioskowanie oparte na analizach uziarnienia. Dotyczy to szczególnie zmian dynamiki środowiska przy akumulacji osadów kemowych (np. Iłaszkeski et al. 1979a), a niekiedy i sandrowych. Bardziej dobitnie zróżnicowanie litofacjalne odnosić można do *środowiska rzecznoego* (np. Kociszewska-Musiał et al. 1969, Łanczont, Racinowski 1994; Mycielska-Dowgiałło 1978; Rzechowski 1961, 1969). Mimo podobnego uziarnienia rumowisko nurtu różni się od materiału odsypowego lub znajdującego się na łachach czy też utworów facji zalewowej (tab. 17). Zróżnicowanie dynamiki masowego przemieszczania rumowiska w strumieniu powietrza na *polach wydmowych* (np. Morawski 1965; Urbaniak-Biernacka 1975, 1976) w małym stopniu znajduje odzwierciedlenie w spektrum minerałów ciężkich, jednak wyraźnie różni się od wyjściowych rozwiewanych osadów (tab. 18). Stwierdza się też, że zasadniczo w całych miąższych profilach piasków eolicznych skład minerałów ciężkich wykazuje małe zróżnicowanie.

Największe zastosowanie badanie minerałów ciężkich znajduje przy określaniu zróżnicowania cech litodynamicznych strefy przybrzeżnej Bałtyku (np. Kotliński 1985; Nowak 1963; Racinowski 1974; Uścińowicz 1985). W polskiej *strefie brzegowej morza* (tab. 18) obserwuje się, że na *brzegu (plaży)* jest największa koncentracja wagowa minerałów ciężkich z jednoczesnym wzbogaceniem w składniki o wysokich ekwiwalentach hydraulicznych. W strefie *potoku przyboju* zawartość minerałów ciężkich w zasadzie jest relatywnie niska i nie ma selekcji minerałów pod względem gęstości i formy. W *płytkim podbrzeżu* (0,5–7 m p.p.m.) przy małej ilości minerałów ciężkich w rumowisku występuje pewien wzrost udziału składników o niskich ekwiwalentach hydraulicznych. W *głębszym podbrzeżu* (7–15 m p.p.m.) rumowisko cechuje się stosunkowo małą wagową zawartością minerałów ciężkich. Spektrum mineralne wzbogacone jest w składniki blaszkowate (muskowit, chlo-ryty), glaukonit, agregaty węglanowe i żelaziste. Miejscami na tym tle, w strefie brzegowej morza występują rozległe powierzchnie rumowiska wagowo wzbogaconego w minerały ciężkie, wśród których typowe są wysokie udziały granatu.

Tab. 16. Minerale ciężkie osadów kemu i pokrywy piasków eolicznych z Warnowa we frakcji 0,25–0,12 mm (wg W. Iłaszeski, J. Majka, R. Racinowski, Biuletyn IG 317, 1979)
Heavy minerals of deposits from kame and eolic sands cover from Warnów, within fraction 0,25–0,12 mm (according to W. Iłaszeski, J. Majka, R. Racinowski, Biuletyn IG 317, 1979)

Kompleks osadów	Rodzaj osadu	SKŁADNIKI MINERALNE										MINERALY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)						
		O	Ł	NT	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	I			
IV	Ps	45	4	51	19	15	2	1	13	33	9	–	1	4	3			
	Ps	40	1	59	16	13	1	2	14	36	7	1	2	5	3			
	Ps	38	3	59	24	16	1	2	15	21	6	2	2	6	5			
III (w) (d)	Ż	38	2	60	22	15	1	1	8	27	17	1	2	1	5			
	Po	33	3	64	28	18	1	1	9	21	15	1	1	3	2			
	Ps	36	1	63	29	12	2	2	12	22	12	1	2	3	3			
	Pd	40	2	58	29	12	1	2	8	24	16	3	2	1	2			
	Пp	39	2	59	36	18	1	2	13	13	14	1	–	2	–			
	Gr	44	1	55	20	9	1	3	19	28	13	3	–	1	3			
IIa	Pd	29	1	70	32	16	1	1	13	14	11	1	2	4	5			
	Pπ	49	2	49	30	18	2	3	13	18	11	1	–	–	4			
	П	49	4	47	26	14	2	3	15	27	9	–	–	4	–			
I	Gr	41	1	58	26	10	–	1	10	27	16	1	1	3	5			

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Kompleksy osadów: I – podścielający kompleks glin zwalowych; IIa – dolny kompleks kemuowy; IIb – górny kompleks kemuowy; III – kompleks piasków przewianych (w – pole wydymowe, d – pole deflacyjne); IV – kompleks namułów organicznych. Symbole osadów klastycznych wg PN-86/B-02480. Ż – żwir, Po – pospółka, Ps – piasek średni, Pd – piasek drobny, Pπ – piasek pylasty, Пp – pył piaszczysty, П – pyl, Gr – glina pylasta

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Complexes of deposits: I – underlying complex of glacial tills, IIa – lower kame complex, IIb – upper kame complex, III – complex of windswept sands (w – dune field, d – deflation field), IV – complex of organic muds. Symbols of clastic deposits according to PN-86/B-02480. Ż – gravel, Gr – silty loam, П – silt, Pd – fine sand, Ps – medium sand, Pπ – silty sand, Пp – sandy silt, Po – aggregate

Tab. 17. Minerály ciężkie osadów doliny Sanu w Przemysłu we frakcji 0,1–0,06 mm (wg R. Racinowski Biuletyn IG, 297, 1976)
Heavy minerals of San valley deposits from Przemysł, within fraction 0.10–0.06 mm (according to R. Racinowski, Biuletyn IG, 297, 1976)

FACJE	KLASY MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)							
	O	Ł	T	AM	B	C	D	GR	R	ST	TM
FK	18	3	79	–	–	5	–	84	1	6	3
FPn	60	7	33	4	8	10	2	34	18	12	12
Fpw	65	10	25	4	19	21	–	26	9	9	12

Objaśnienia. Oznaczenia minerałów jak na tabeli 1. Facje: FK – facja korytowa, FPn – facja powodziowa niższa, Fpw – facja powodziowa wyższa

Explanations: Minerals notation as given in Tab. 1. Facies: FK – channel facies, FPn – lower overbank facies, Fpw – higher overbank facies

Charakterystyczne jest, że pola wzbogacone w minerały ciężkie mogą przez dziesięciolecia utrzymywać się w tych samych rejonach, na plaży i w podbrzeżu. Przyjmuje się, że są to obszary o szczególnie intensywnej abrazji brzegu i podbrzeża.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę, że badania minerałów ciężkich w polskiej strefie brzegowej morza i w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku prowadzone były pod kątem możliwości eksploatacji minerałów ciężkich jako surowców mineralnych (np. Kotliński, Masłowska 1984; Sochan 1973; Wajda 1980). Zawartość minerałów użytkowych jest stosunkowo niewielka i ograniczona do cienkiej warstwy o miąższości zazwyczaj mniejszej od 1 m. Jednak w miejscach ich koncentracji szacuje się, że w 1 tonie osadu występować może 20–40 kg ilmenitu, 10–40 kg granatu oraz łącznie 1–4 kg cyrkonu, rutyłu, monacytu. Eksploatacja takich złóż jest nieopłacalna i w bardzo poważny sposób naruszać może naturalne środowisko przyrodnicze Bałtyku.

UWAGI KOŃCOWE

Polskie doświadczenia badawcze ostatniego półwiecza w zakresie rozpoznania charakteru minerałów ciężkich występujących w osadach czwartorzędowych Polski pozwalają na stwierdzenie ich tylko ogólnej przydatności w zakresie charakterystyki litogenetycznej i litodynamicznej środowisk sedymentacyjnych. Natomiast w stopniu ograniczonym wykorzystane mogą być do celów litostratygraficznych. Niemniej wyniki tych badań są pomocne do szczegółowej charakterystyki litologicznej odmiennych genetycznie i wiekowo kompleksów osadów czwartorzędowych. W trakcie takich porównań konieczne jest jednak uwzględnianie zróż-

Tab. 18. Minerale ciężkie w rumowisku strefy brzegowej Mierzei Dziwnowskiej (frakcja 0,25–0,12 mm)
(wg R. Racinowski Prace Naukowe PS 418, 1990, Biuletyn PIG 373, 1996)
Heavy minerals in sediment material of coastal zone in Mierzeja Dziwnowska (fraction 0.25–0.12 mm)
(according to R. Racinowski, Prace Naukowe PS 418, 1990, Biuletyn PIG 373, 1996)

Rzędne (metry p.p.m.)	Cechy	SKŁADNIKI MINERALNE								MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ($\Sigma = 100\%$)							
		O	K	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM		
PLAŻA	X	28,4	15,8	12,1	43,7	25,9	5,3	3,8	2,7	9,8	38,8	5,4	2,2	2,7	3,4		
	S	10,5	9,1	10,8	10,9	7,9	2,6	1,8	1,1	3,2	13,6	2,0	1,3	1,3	1,2		
	X	23,3	15,0	34,2	27,5	20,6	6,0	5,9	2,9	14,2	29,8	7,5	6,4	3,4	3,3		
	S	9,4	7,5	21,3	11,2	7,7	3,1	2,9	1,7	4,9	12,0	3,2	2,7	1,7	1,6		
PODBRZEŻE	X	20,5	14,2	41,6	23,7	22,9	6,9	5,4	2,8	15,2	26,5	6,5	6,2	3,3	4,3		
	S	9,3	8,6	22,4	11,7	8,6	4,5	2,3	1,3	4,4	11,9	2,9	3,0	2,1	2,1		
4,0–6,0	X	17,8	17,5	43,0	21,7	29,4	8,1	5,0	2,2	16,6	19,5	7,7	5,4	2,6	3,5		
	S	10,5	11,5	25	13,1	11,1	5,7	1,6	1,6	4,9	9,6	2,9	3,8	1,3	1,3		

Objaśnienia oznaczeń jak na tabeli I

Minerals notation as given in Tab. I

nicowania uziarnienia osadów, które wpływa na zmienność składu minerałów ciężkich.

Wykorzystując wyniki analiz minerałów ciężkich do charakterystyki osadów czwartorzędowych, należy mieć na względzie, że są one obarczone znacznymi błędami o charakterze obiektywnym i subiektywnym. Dla pojedynczych próbek zakres ich zbliżony jest do teoretycznego błędu właściwego dla rozkładu normalnego, który orientacyjnie określić można wg zmodyfikowanego wzoru Griffithsa

$$\sigma = 2\sqrt{\frac{x(100-x)}{100}}; \text{ gdzie: } x - \text{ procentowa zawartość danego minerału. Wyliczona}$$

wartość stanowi jednostronną granicę możliwego zróżnicowania udziału minerału w próbce.

Znaczne wygładzenie błędu następuje, gdy operuje się nie pojedynczymi rezultatami, ale ich zbiorami charakteryzującymi pewne kompleksy osadów (na przykład o podobnej genezie, o podobnym wieku, podobnej dynamice środowiska).

Poważne uproszczenie i zobiektywowanie wyników badań następuje, gdy wnioskowanie litogenetyczne, litostratygraficzne, litodynamiczne opiera się na specjalnie wyliczonych wskaźnikach mineralnych. Jednak interpretacja ich musi być stosowana z dużą dozą krytycyzmu. Do częściej używanych wskaźników należą relacje między minerałami o różnej odporności na niszczenie. Jako minerały odporne na niszczenie przyjmuje się cyrkon, rutil, dysten, staurolit, turmalin. Minerałami średnio odpornymi są epidoty, granaty, silimanit. Minerały nieodporne na niszczenie to amfibole, pirokseny, biotyt. Wykorzystywane są one głównie do określenia „stopnia zwietrzenia” osadów, wyznaczania poziomów gleb kopalnych, stratyfikacji osadów lessowych. W celu określenia dynamiki środowiska sedymentacyjnego ustala się stosunek minerałów ciężkich o różnych ekwiwalentach hydraulicznych, np. o gęstości $> 3,4 \text{ g/cm}^3$ do minerałów o gęstości $< 3,4 \text{ g/cm}^3$, lub zastępczo relację granatów do amfiboli. Wykorzystywany jest też stosunek łyśczyków (muskowit, chloryty) do pozostałych składników lub amfiboli i piroksenów do biotyту i chlorytu, które informują o „stopniu” spokojnej depozycji materiału klastycznego w środowiskach prądowych (wodnym i eolicznym).

Ze względu na fakt, że wyniki analiz minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych są tylko pomocnicze w rozwiązywaniu szeregu zagadnień litologicznych, czynione były próby prowadzenia badań specjalistycznych poszerzających możliwości wnioskowania. I tak starano się ustalić takie składniki, które spełniałyby rolę minerałów wskaźnikowych dla osadów jednego wieku lub genezy. Jak do tej pory próby te okazały się nieefektywne. Problematyczna też okazała się możliwość wykorzystania szczegółowego oznaczania minerałów znajdujących się w obrębie poszczególnych grup mineralnych (np. wśród amfiboli, piroksenów, cyrkonów, granatów, turmalinów). Dla niektórych charakterystycznych minerałów ciężkich prowadzone były też obserwacje dotyczące ich formy krystalicznej, anomalii optycznych, charakteru wrostków, cech rekrytalizacyjnych, stopnia zniszczenia

mechanicznego i chemicznego. Jak na razie, ze względu na małą efektywność tych badań i ich dużą czasochłonność zrezygnowano z ich szerszego wykonywania (tzw. „analizy fizjografii minerałów”).

Należy liczyć się z tym, że szybki postęp technik badawczych spowoduje wypracowanie nowych metod analitycznych oraz większe zobiektywizowanie badań minerałów ciężkich tak w zakresie ich identyfikacji, jak i być może bardziej uniwersalnego wykorzystania ich do wnioskowania o naturze osadów czwartorzędowych.

LITERATURA

- Buraczyński J., Rzechowski J., Wojtanowicz J., 1978: Studium sedimentologiczne i stratygraficzne lessów w Ratyczowie na Grzędzie Sokolskiej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 300, 235–302. Warszawa.
- Chlebowski R., 1964: Minerale ciężkie piasków plażowych i wydmowych Wyspy Wolin. *Biuletyn Geol. Uniw. Warszawskiego*, 4, 128–142. Warszawa.
- Chlebowski R., Lindner L., 1976: Próba zastosowania minerałów ciężkich w problematyce badawczej lessów na przykładzie lessów młodszych zachodniej części regionu świętokrzyskiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 297, 293–305. Warszawa.
- Chlebowski R., Lindner L., 1991: Źródła materiału i warunki akumulacji lessów młodszych Wyżyny Małopolskiej. *Biuletyn Geol. Uniw. Warszawskiego*, 32, 15–50. Warszawa.
- Chlebowski R., Gozik P. F., Lindner L., 2002: Graficzna prezentacja składu minerałów ciężkich lessów na wybranych przykładach z obszaru Polski i Ukrainy. *Przegląd Geol.*, 50, 6, 526–531. Warszawa.
- Czerwonka J. A., 1977: Zastosowanie średnich odległości taksonomicznych (ATD) do interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich utworów czwartorzędowych. *Kwart. Geol.*, 21, 4, 819–827. Warszawa.
- Czerwonka J. A., 2004: Śląska i wielkopolska prowincja litostratygraficzna glin zwałowych. *Przegląd Geol.*, 52, 5, 421–429. Warszawa.
- Czerwonka J. A., Dobosz T., Haissing J., Krzyszkowski D., Wilanowski S., 1998: Stratygrafia i petrografia glin lodowcowych w międzyrzeczu Odry i Warty, Polska południowo-zachodnia. *Biuletyn PIG 385*, 73–104. Warszawa.
- Dobrzyński S., Racinowski R., 1995: Zróżnicowanie składu minerałów ciężkich w vistuliańskich osadach glacyfluwialnych Pomorza Zachodniego. *Geologia i geomorfologia Pobrzeża i Południowego Bałtyku*, 2, 77–83. Słupsk.
- Fros R., Racinowski R., 1987: Porównanie utworów grzbietowo-stokowych z osadami dolinnymi rejonu Jaroszwca koło Olkusza na podstawie badań uziarnienia i analizy minerałów ciężkich. *Geographia. Studia et dissertationes* 10, 18–34. Katowice.
- Grabowska B., 1961: Analiza minerałów ciężkich na tle stratygrafii lessów okolic Ćmielowa. *Biuletyn Geol. Uniw. Warszawskiego*, 1, 50–67. Warszawa.
- Griffiths J. G., 1967: *Scientific Method in Analysis of Sediments*. McGraw-Hill, Book Company. New York.
- Gronkowska B., Kenig K., 1974: Profil glin zwałowych w Szwajcarii koło Suwałk. *Zeszyty Nauk. Uniw. A. Mickiewicza. Geografia*, 10, 137–147. Poznań.
- Gwóźdź R., Racinowski R., 1979: Analiza porównawcza minerałów ciężkich z drobnopiękistych utworów czwartorzędowych i górnokredowych Wyżyny Lubelskiej, *Kwart. Geol.*, 12,2, 388–402. Warszawa.
- Iłaszek W., Majka J., Racinowski R., 1979: Charakterystyka litologiczna kemu warownowskiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 317, 95–19. Warszawa.
- Iłaszek W., Racinowski R., 1979: Efektywność stratyfikacji glin zwałowych na podstawie badań minerałów ciężkich. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* 97, 44–68. Szczecin.

- Jahn A., Turnau-Morawska M., 1952: Preglacja i najstarsze twory plejstocenyckie Wyżyny Lubelskiej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 65, 268–311. Warszawa.
- Jary Z., Krzyszkowski D., 1994.: *Stratigraphy, properties and origin of loess in Trzebnica brickyard, Southwestern Poland*. Acta Univ. Wratislaviensis 1702, 63–83. Wrocław.
- Jersiak J. Racinowski R., 1984: Baborów. Odslonięcie w cegielni. Złodowacenie środkowopolskie na Wyżynach Południowopolskich i terenach przyległych. Uniwersytet Śląski WNoZ, 135–190, Katowice.
- Jęczmyk M., 1979: Minerale ciężkie w aluwjach potoków na obszarze metamorfiku Izerskiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 65, 75–153. Warszawa.
- Kenig K., 2004: Zróznicowanie petrograficzne i mineralne równowiekowych glin morenowych z wybranych obszarów Niżu Polskiego. *Przełąd Geol.* 52,4, 325–330. Warszawa.
- Kociszewska-Musiał G., Kosmowska-Ceranowicz B., 1969: Charakterystyka osadów okolicy Przełławia na południe od Szczecina. *Prace Muzeum Ziemi*, 16, 135–160. Warszawa.
- Kociszewska-Musiał G., Kosmowska-Ceranowicz B., Musiał T., 1972: Charakterystyka sedimentologiczna współczesnych aluwów Sanu. *Prace Muzeum Ziemi*, 19, 135–158. Warszawa.
- Konecka-Betley K., Majsterkowicz T., 1973: Geneza gleb wytworzonych z pokrywowych utworów pyłowych Polski środkowej. *Rocz. Glebozn.*, 24, 2, 133–158. Warszawa.
- Kosmowska-Ceranowicz B., 1966: Osady preglacjalne dorzecza środkowej Wisły. *Prace Muzeum Ziemi*, 9, 223–286. Warszawa.
- Kotliński R., 1985: Osady dna Ławicy Słupskiej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 352, 5–56. Warszawa.
- Kotliński R., Masłowska M., 1984: Perspektywy występowania podmorskich złóż surowców okrucowych w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku. Instytut Geologiczny. Oddział Geologii Morza. CVII Sesja Naukowa Geologia Bałtyku Południowego i regionu szczecińskiego, 106–127. Sopot.
- Krysowska-Iwaszkiewicz M., 1974: Studium mineralno-petrograficzne kenozoicznych osadów lądowych Wyżyny Krakowskiej. *Prace Miner.*, 35, 1–69. Kraków-Warszawa.
- Krysowska-Iwaszkiewicz M., Łanczont M., 1992: Zróznicowanie składu minerałów ciężkich w osadach plejstocenyckich w Prałkowicach koło Przemyśla (Karpaty Przemyskie) *Przełąd Geol.*, 9, 551–555. Warszawa.
- Krzyszkowski D., Czerwonka J. A., 1994: Korelacja litostratygraficzna osadów czwartorzędowych z obszaru na południe od Szczecina. *Acta Univ. Wratislaviensis*, 1702, 37–61. Wrocław.
- Łanczont M., Racinowski R., 1994: Z badań nad osadami żwirowo-piaszczystymi okolic Pikulic koło Przemyśla. *Annales UMCS, sc. B.*, 49, 101–122. Lublin.
- Łanczont M., Wilgat M., 1994: Zróznicowanie lessów karpaccich w okolicy Przemyśla w świetle badań minerałów ciężkich. *Annales UMCS, sc. B.*, 26, 81–99. Lublin.
- Łoziński J., Masicka H., 1962: Badania minerałów ciężkich w piaskach plażowych Zatoki Gdańskiej. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 32, 4, 579–599. Kraków.
- Łydka K., Turnau-Morawska M., 1967: Minerale ciężkie w osadach trzeciorzędowych plejstocenyckich Marantowie koło Konina. *Prace Inst. Geol.*, 48, 137–146. Warszawa.
- Maliszewska A., 1969: Rola minerałów ciężkich w geologii i paleogeografii, *Przełąd Geol.*, 11, 556–558. Warszawa.
- Małkowski S., 1917: O wydmach piaszczystych okolic Warszawy. *Prace Tow. Nauk. Warsz. Wydz. 3*, 23, 1–23. Warszawa.
- Maruszczak H., Morawski J., 1976: Zróznicowanie składu minerałów ciężkich w podstawowych jednostkach litologiczno-stratygraficznych lessów polskich. *Biuletyn Inst. Geol.* 297, 63–76. Warszawa.
- Maruszczak H., Wilgat M., 1978: Zróznicowanie stratygraficzne i paralelizacja profili lessowych Nielewici i Odonowa w świetle badań minerałów ciężkich. *Folia Soc. Scient. Lublin, Geogr.* 2, 20, 89–95. Lublin.

- Masłowska M., 1999: Charakterystyka litologiczna glin zwałowych rejonu północno-zachodniej Polski. *Przegląd Geol.*, 47, 10, 920–926. Warszawa.
- Milner G.B., 1962: *Sedimentary Petrography*. 4th ed. Th. Murby Co., London.
- Morawiecki A., 1928: Piasek granatowo-ilmenitowy z Helu. *Sprawozdania Tow. Nauk. Warszawskiego*, 21, 129–130. Warszawa.
- Morawski J., 1961: Charakterystyka mineralno-petrograficzna oraz morfometria piasków i żwirów z wybrzeża wyspy Wolin. *Annales UMCS, sc. B*, 16, 1–36. Lublin.
- Morawski J., 1965a: Osady piaszczyste Wyżyny Lubelskiej. Studium sedymentologiczne. Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej, 1–158. Lublin.
- Morawski J., 1965b: Charakterystyka cyrkonów wydm Kotliny Chodelskiej. *Annales UMCS, sc. B*, 20, 1–25. Lublin.
- Morawski J., 1965c: Spostrzeżenia nad odpornością i typami granatów w piaskach różnych środowisk sedymentacyjnych. *Annales UMCS, sc. B*, 20, 28–54. Lublin.
- Morawski J., 1969: Próba charakterystyki i porównania piasków fluwioglacjalnych zlodowacenia bałtyckiego i środkowopolskiego z obszaru Polski wschodniej. *Folia Soc. Scient., sc. D*, 9, 29–35. Lublin.
- Morawski J., 1978: Charakterystyka minerałów ciężkich lessów Płaskowyżu Nałęczowskiego. *Annales UMCS, sc. B*, 30–31, 81–95. Lublin.
- Morawski J., Pomian J., Uziak S., 1971: Rozmieszczenie ważniejszych minerałów ciężkich w glebach wytworzonych z utworów pyłowych. *Folia Soc. Scient., sc. D*, 11, 129–132. Lublin.
- Morawski J., Trembaczowski J., 1971: Charakterystyka mineralogiczna lessów profilu „Kwaskowa Góra” w Kazimierzu nad Wisłą. *Annales UMCS, sc. B*, 26, 1–25. Lublin.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1978: Rozwój rzeźby fluwialnej północnej części kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedymentologicznych. Uniwersytet Warszawski, *Rozprawy* 120, 1–167. Warszawa.
- Nowak B., 1963: Hydrodynamiczne zróżnicowanie składu minerałów ciężkich w osadach dennych strefy przybrzeżnej południowego Bałtyku na odcinku j. Bukowo – j. Łebsko. *Materiały do monografii polskiego brzegu morskiego*, 5, 89–119. Gdańsk.
- Racinowski R., 1969a: Sedymentacja osadów czwartorzędowych w okolicach Biłgoraja. *Biuletyn Inst. Geol.*, 220, 275–288. Warszawa.
- Racinowski R., 1969b: Badania granulometryczne i mineralno-petrograficzne glin zwałowych Polski wschodniej. *Biuletyn Inst. Geol.*, 220, 289–323. Warszawa.
- Racinowski R., 1972: Próba porównania lessów lubelskich i przemyskich na podstawie składu minerałów ciężkich. *Przew. Symp. Kraj., Litografia i Stratygrafia lessów w Polsce*, p. 46–49, Lublin.
- Racinowski R., 1974: Dynamika środowiska sedymentacyjnego strefy brzegowej Pomorza Zachodniego w świetle badań minerałów ciężkich i uziarnienia osadów. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*, 4, 1–156. Szczecin.
- Racinowski R., 1976: Uwagi o składzie minerałów ciężkich lessów lubelskich i przemyskich. *Biuletyn Inst. Geol.*, 297, 227–247. Warszawa.
- Racinowski R., 1990: Próba wykorzystania badań minerałów ciężkich do uszczegółowienia charakterystyki litodynamicznej płytkiego podbrzeża w rejonie Dziwnowa. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*, 481, 5–21, Szczecin.
- Racinowski R., 1993: A retrospective look at significance of heavy minerals studies for Poland's Quaternary problems. *Annales UMCS, sc. B.*, 48, 239–251. Lublin.
- Racinowski R., 1996: Minerale ciężkie w osadach brzegu i rumowisku płytkiego podbrzeża wschodniej części Mierzei Dziwnowskiej. *Biul. PIG*, 373, 147–151, Warszawa.
- Racinowski R., 2000: Niektóre problemy interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych. *Przegląd Geol.*, 48, 4, 354–359. Warszawa.
- Racinowski R., 2002: Badania minerałów ciężkich osadów pyłowych Naddniestrza halickiego. *Studia Geologia Polonica*, 119, 219–236. Kraków.

- Rac in o w s k i R., 2003: Litostatyczna analiza składu przezroczytych minerałów ciężkich w drobnoziarnistych osadach plejstoceńskich Polski. XI Seminarium Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry, 89–98, Szczecin.
- Rac in o w s k i R., 2003: Litostatyczna analiza składu przezroczytych minerałów ciężkich w niektórych piaszczystych osadach czwartorzędowych. XII Seminarium Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry, 89–96, Szczecin.
- Rac in o w s k i R., Dobrzyński S., Se ul C., 1993: Uziarnienie i skład mineralny osadów spoiwych między Rowami a Orzechowem. Geologia i Geomorfologia Pobrzeża Południowego Bałtyku 1, 155–110. Słupsk.
- Rac in o w s k i R., Rzechowski J., 1969: Minerale ciężkie w glinach zwałowych Polski środkowej. Kwartalnik Geol., 13, 2, 479–490. Warszawa.
- Rac in o w s k i R., Sochan A. 1978: Młodoplejstoceńskie osady ze Szczecina w świetle porównawczych badań litologicznych. Biuletyn Inst. Geol., 300, 199–234. Warszawa.
- Rac in o w s k i R., Sochan A., 1981: Próba charakterystyki litostratygraficznej osadów plejstoceńskich północnej części Pobrzeża Szczecińskiego. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 128, 1–110. Szczecin.
- Rac in o w s k i R., Śmieszko Z., 1997: Statystyczna analiza składu minerałów ciężkich z profilu w Odonowie II. Geologia, 14, Prace Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 1644, 120–138, Katowice.
- Rzechowski J., 1961: Młodozwartorzędowe osady Bugu w okolicy Dubienki. Annales UMCS, sc. B, 37–62. Lublin.
- Rzechowski J., 1969: Facje młodoczwartorzędowych aluwiów dorzecza środkowego Bugu. Kwart. Geol., 13, 193–202. Warszawa.
- Rzechowski J., 1977: Main lithotypes of tills in the Central Polish area. Biuletyn Inst. Geol., 305, 31–43. Warszawa.
- Rzechowski J., 1982: Dependence of till lithology on properties of local Quaternary bedrock in Central Poland. Biuletyn Inst. Geol., 343, 111–134. Warszawa.
- Sochan A., 1973: Perspektywy występowania złóż minerałów ciężkich w piaskach plażowych polskiego wybrzeża Bałtyku. Kwart. Geol., 17, 3. Warszawa.
- Stankowska A., Stankowski W., 1966: Próba rozpoznania glin zwałowych Polski zachodniej w świetle analiz mineralogicznych i chemicznych. Badania Fizjograficzne nad Polską Zach., s. A, 17, 109–139. Poznań.
- Tokarski J., 1936: Physiographie der podolischen loesses und des problem seiner stratigraphie. Mem. Acad. Sic. Letter. S.A, 4, 1–61. Kraków.
- Trembaczowski J., 1948: Próba wyjaśnienia pochodzenia piasków plaży i wydym w Puławach. Annales UMCS, sc. B, 3, 33–66. Lublin.
- Trycha-Czyż T., 1972: Stratygrafia i geneza utworów pyłowych Wysoczyzny Głubczyckiej na podstawie badań petrograficznych. Instytut Geograficzny Uniw. Wrocławskiego. Maszynopis pracy doktorskiej. Wrocław.
- Turnau-Morawska M., 1952: Utwory rzeczne doliny Bugu między Terespołem a Wyszkowem. Biuletyn Inst. Geol., 68, 121–138. Warszawa.
- Turnau-Morawska M., 1954: Petrografia skał osadowych. Wyd. Geol. Warszawa.
- Turnau-Morawska M., 1955: Znaczenie analiz minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. Acta Geologica Polonica, 5, 3, 363–388. Warszawa.
- Urbaniak-Biernacka U. 1975: Wydmy okolic Świętoustcia na wyspie Wolin. Acta Univ. N. Copernici, Geografia, 11, 57–85. Toruń.
- Urbaniak-Biernacka U. 1976: Badania wydym środkowej Polski z wykorzystaniem metod statystycznych. Politechnika Warszawska, Prace Nukowe, Geodezja, 17, 1–204. Warszawa.
- Uściniowicz S., 1985: Litodynamika podwodnego skłonu brzegowego na odcinku Mrzeżyno-Rowy. Przegl. Geol., 12, 683–688. Warszawa.

- Uziak S., Pomian J., 1976: Wstępne badania utworów lessowych Wyżyny Lubelskiej i gleb z nich wytworzonych. *Annales UMCS*, sc. E, 22, 91–105. Lublin.
- Wątocki W., 1928: Der Granatsand von Hel am Baltischen Meer. *Bull., Ac. Pol. Sc, sc. A., 9*, Kraków.
- Wajda W., 1970: Minerale ciężkie piasków dennych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 40,1, 131–149. Kraków.
- Wajda W., 1976: Współzależność między składem granulometrycznym a składem mineralnym dennych osadów piaszczystych południowego Bałtyku. *Biuletyn Inst. Geol.*, 285, p. 129–152. Warszawa.
- Wajda W., 1980: Osady piaszczyste Południowego Bałtyku w aspekcie badań przydatnych gospodarczo koncentracji minerałów ciężkich. *Peribalticum 1. Problemy badawcze obszaru bałtyckiego*. *Ossolineum*, 59–78.

SUMMARY

In most regions of Poland the composition of heavy minerals assemblage permits to distinguish the Quaternary deposits from the older ones. The pre-Quaternary deposits are characterized by high content of glauconite, carbonate-ferruginous-manganese concretions, muscovite and chlorites. In their transparent heavy minerals spectrum the following minerals predominate: zircon, tourmaline, rutile, staurolite, disthene. However, the Tertiary deposits in the Carpathians and their foreland contain a significant amount of garnet, and sometimes also amphiboles, pyroxenes and biotite. Pyroxenes and sillimanite are found in the Sudetes foreland. In many Tertiary deposits of the northwestern and western Poland there are rather high contents of amphiboles, biotite, pyroxenes, garnets, rutile.

In all Quaternary deposits in Poland the qualitative composition of heavy minerals assemblage is similar but the contents of particular minerals are different depending on the examined grain fraction. In tills (Table 1) and glaciofluvial deposits (Table 2), with the decreasing grain diameter the contents of zircon, rutile, and partly epidote increase, and those of amphiboles and garnets decrease. In rubble of coastal zone in the Polish Baltic Sea, with the decreasing grain diameter the contents of zircon, rutile and epidote increase, and those of amphibole, biotite and pyroxenes decrease (Tables 3–7).

In Poland, glacial, glaciofluvial and glaciolacustrine deposits are characterized by quantitatively similar composition of heavy minerals assemblage. Amphiboles, biotite, epidotes, garnets and pyroxenes are typical transparent minerals (Tables 8 and 9). Young Pleistocene and Holocene sands of river terraces and dune fields in the upland zone of Poland differ from glacial deposits in low contents of amphiboles, biotite and pyroxenes, and higher contents of garnets and epidotes (Tables 8 and 9). Fossil river and lacustrine deposits of Polish Lowlands have very similar assemblage of heavy minerals to that found in glacial deposits.

Both glacial and glaciofluvial deposits have similar composition of heavy minerals assemblage irrespective of their age (Tables 10, 11 and 12). This principle concerns also loesses (Table 13a, b) but the younger ones are characterized by higher contents of amphiboles and epidotes.

The composition of heavy minerals assemblage is useful for determining the source of material forming the Quaternary deposits. In the case of glacial deposits, the enrichment in glauconite, chlorites, and even zircon, rutile, tourmaline, staurolite indicates that material from local older substratum was supplied to the Quaternary deposits. Heavy minerals spectrum of non-glacial deposits can directly indicate the source material that formed a deposit. Conversely, it is difficult to draw the conclusions about fossil and modern weathering-soil horizons in loesses from the composition of heavy minerals assemblage (Tables 14 and 15). The results of heavy minerals analysis are useful for lithodynamic and lithofacial interpretation of flowing water environments, e.g. river (Table 16), glaciofluvial (Table 17) and sea coastal (Table 18).