

## Niektóre problemy interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych

Roman Racinowski\*

*Na podstawie dotychczasowych wyników badań minerałów ciężkich w osadach czwartorzędowych Polski, stwierdza się, że tylko w sposób ograniczony wykorzystane mogą być do celów litiogenetycznych i litostratygraficznych. W niektórych regionach kraju analizy minerałów ciężkich pozwalają ustalić źródła lokalnego materiału osadotwórczego. Większe zastosowanie analizy minerałów ciężkich mają do charakterystyki litodynamicznej środowisk prądowych. Konieczna jest standaryzacja metodyki badawczej oraz zasad interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich. Na podstawie dotychczasowych wyników badań minerałów ciężkich w osadach czwartorzędowych Polski, stwierdza się, że tylko w sposób ograniczony wykorzystane mogą być do celów litiogenetycznych i litostratygraficznych. W niektórych regionach kraju analizy minerałów ciężkich pozwalają ustalić źródła lokalnego materiału osadotwórczego. Większe zastosowanie analizy minerałów ciężkich mają do charakterystyki litodynamicznej środowisk prądowych. Konieczna jest standaryzacja metodyki badawczej oraz zasad interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich.*

**Słowa kluczowe:** minerały ciężkie, litogeneza, litodynamika, osady czwartorzędowe Polski

Roman Racinowski — Some aspects of interpretation of heavy mineral analyses results in research of Quaternary deposits. *Prz. Geol.*, 48: 354–359.

*Summary. It is stated, on the basis of hitherto existing investigation results of heavy minerals in Quaternary sediments of Poland that they can be used for lithogenetic and lithostratigraphic purposes in a limited way only. In some regions of the country, analyses of heavy minerals allow to define sources of local sediment-forming material. Analyses of heavy minerals are more often used for lithodynamical characteristic of current-type environments. Standardisation of investigation methodology and rules for interpreting results of heavy minerals analyses is necessary.*

**Key words:** heavy minerals, lithogenetic, lithodynamic Quaternary deposit of Poland

Badania minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych w Polsce są prowadzone na masową skalę od przeszło 40 lat. Mimo nagromadzenia już olbrzymiego materiału faktograficznego i bogatej literatury tematycznej — metodyka, celowość oraz efektywność tych badań są traktowane czasem niejednoznacznie (Racinowski, 1992, 1995). Niektóre z tych zagadnień zasygnalizowano w poniższym opracowaniu, traktując je jako wprowadzenie do szerszej dyskusji problemowej.

Przedstawione uwagi odnoszą się do badań minerałów ciężkich wydzielonych w cieczach ciężkich, których preparaty ziarnowe są badane w sposób standardowy, przy zastosowaniu mikroskopu polaryzacyjnego. Skoncentrowano się tu na wybranych problemach metodycznych oraz możliwości wykorzystania wyników badań minerałów ciężkich do celów litiogenetycznych i litodynamicznych. W opracowaniu pominięto zagadnienie wykorzystania minerałów ciężkich w zagadnieniach litostratygraficznych.

### Uwagi metodyczne

Chcąc wyprowadzać jakiegokolwiek wnioski na podstawie badań minerałów ciężkich jest konieczne zwrócenie uwagi na niektóre zagadnienia metodyczne.

**Średnica badanych ziarn.** Ze względu na kłopotliwość separacji minerałów ciężkich z próbki całego osadu oraz pracochłonność prowadzenia analiz planimetrycznych rezygnuje się z takich badań. W to miejsce są prowadzone analizy ilości ziarn dla określonych frakcji. Wyniki takie pokrywają się z wynikami analiz planimetrycznych i w sposób znaczący skracają czas wykonywanych badań. Skład minerałów ciężkich w poważnym stopniu jest uza-

leżniony od średnicy badanej frakcji (tab. 1, 2). Dlatego też konieczne jest analizowanie i porównywanie wyników tylko w analogicznych przedziałach średnic. Dla osadów czwartorzędowych postulat ten jest trudny do spełnienia, gdy bada się równocześnie skład minerałów ciężkich utworów żwirowych, piaszczystych, pylastych i gliniastych, a nawet ilastych. W takich przypadkach zalecana do badań minerałów ciężkich frakcja 0,25–0,1 mm musi być wspomagana badaniami frakcji drobniejszych — głównie ziarn o średnicy 0,1–0,06 (0,05) mm, a niekiedy nawet 0,06–0,01 mm. Należy wtedy pamiętać, że wyniki dla odrębnych wielkościowo frakcji nie mogą być między sobą ilościowo porównywane. Co najwyżej wyprowadzane mogą być wnioski jakościowe.

**Przygotowanie próbki do badań.** Wstępne przygotowanie próbki do badań jest związane z jej przemywaniem na sicie lub w przypadku frakcji drobnych separowaniem jej na drodze sedymentacyjnej. Działania odczynnikiemami chemicznymi na frakcje, z których wydzielone mają być minerały ciężkie powoduje całkowitą lub częściową eliminację z niej minerałów węglanowych, glaukonitu oraz kongrecji węglanowych i żelazistych. W preparacie oczyszczonym chemicznie następuje wyraźna zmiana proporcji między minerałami nieprzezroczystymi a przezroczystymi. Tymczasem wydaje się, że w wielu przypadkach obecność kongrecji może być pomocna we wnioskowaniu dotyczącym procesów hipergenicznych.

**Liczba i zakres badania minerałów ciężkich.** Nie budząca dyskusji jest liczba badanych składników w preparacie, która optymalnie powinna wynosić ok. 300 ziarn minerałów przezroczystych. Problem natomiast stanowi zakres szczegółowości badań. Z reguły minerały nieprzezroczyste, kongrecje i inne występujące w sposób masowy (np. łyszczki) są wydzielane w odrębne grupy. Główna uwaga natomiast jest skoncentrowana na określeniu składu przezroczystych minerałów ciężkich. Ze względu

\*Katedra Geotechniki, Politechnika Szczecińska, Al. Piastów 50, 70-310 Szczecin

**Tab. 1. Średni skład minerałów ciężkich w glinach zwałowych z wierceń na obszarze Polski środkowej\* obliczony na podstawie 300 próbek**

FRAKCJE w mm	CECHY	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE (Σ = 100%)										
		NT+K	Gl	T	AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	O
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

\*Wiercenia PIG: Strupczewo, Piaski, Brzozówka, Popielżyn, Świercze, Tyszki, Dobiesz, Borowie. Objasnienia. Oznaczenia minerałów: N — minerały nieprzezroczyste, K — kongrecje, Ł — lyszczyki (chloryty, muskowit), T — minerały przezroczyste, AM — amfibole, B — biotyt, CH — chloryty, C — cyrkon, D — dysten, E — epidoty i zoizyty, Gl — glaukonit, GR — granaty, P — pirokseny, R — rutyl i inne minerały tytanowe, ST — staurolit, TM — turmaliny, O — inne minerały przezroczyste. Cechy: X — wartość średnia, S — odchylenie standardowe

**Tab. 2. Średni skład minerałów ciężkich w piaszczysto-żwirowych osadach fluwioglacjalnych zlodowacenia północnopolskiego z obszaru Polski północno-wschodniej obliczony na podstawie 150 próbek**

FRAKCJA w mm	CECHY	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE (Σ = 100%)										
		N+K	Gl	T	AM	B+CH	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	O
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

Objasnienia oznaczeń jak w tab. 1

**Tab. 3. Skład minerałów ciężkich w przypowierzchniowych osadach na wysoczyznach w Szczecinie, we frakcji 0,25-0,12 mm (wg Racinowski & Sochan, 1978)**

WIEK	OSADY	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE (Σ = 100%)										
		NT	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	O
Qp <sup>4</sup>	lg	49,0	8,7	42,3	21,6	28,9	1,2	2,4	10,8	21,9	6,0	1,2	1,2	2,4	2,4
	fg	46,0	2,7	51,3	20,0	13,6	3,2	4,2	11,6	33,0	5,3	1,1	4,2	3,2	0,6
	gz	53,1	6,1	40,8	21,8	21,8	1,1	2,3	12,6	24,4	6,9	2,3	2,3	3,4	1,1
Tr	m	58,2	3,7	38,1	14,2	15,4	4,4	7,7	14,2	23,9	6,6	6,6	2,2	4,4	0,4

Oznaczenia minerałów jak w tab.1. Wiek: Qp<sup>4</sup> — zlodowacenie północnopolskie, Tr — trzeciorząd (oligocen) na wtórnym złożu. Osady: m — morskie piaski szczecińskie i ily septariowe, gz — glina zwałowa, fg — fluwioglacjalne piaski ze żwirami, lg — limnoglacjalne mułki

na masowy i standardowy charakter wykonywanych analiz wśród przezroczystych minerałów ciężkich wydzielane są tylko grupy mineralne. Przypadkowy charakter formy i orientacji ziarn w preparacie mikroskopowym powoduje, że dokładne oznaczenia rodzaju indywidualnego minerału jest trudne do wykonania i obarczone może być znacznymi błędami. Często uważa się, że badania takie są mało efektywne w stosunku do poświęconego im czasu.

Błąd wyników analizy minerałów ciężkich jest dość znaczny. Szacowanie błędów można opierać na formule:

$$\delta = 2 \cdot \sqrt{\frac{x(100-x)}{100}}$$

gdzie:

x — procentowa zawartość danego minerału.

Wielkość ta stanowi jednostronną granicę w jakiej może następować wiarygodne różnicowanie konkretnej zawartości danego minerału w danej próbce. Zakres błędu jest bardzo ważną przesłanką, którą należy uwzględnić w trakcie analiz porównawczych oraz wnioskowaniu litogenetycznym, litostratygraficznym, litodynamicznym i paleopedologicznym.

Na razie nie można w sposób zdecydowany ustosunkować się do znaczenia szczegółowych badań niektórych cech wybranych minerałów ciężkich, (np. granatów, cyrkonów, turmalinów, amfiboli, piroksenów), które traktować można by jako „wiodące cechy wskaźnikowe”. Ocena taka obejmuje na przykład fizjografię, elongację, pleochroizm, anomalie optyczne itp. poszczególnych ziarn mineralnych.

Jak do tej pory w spektrum minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych nie udało się wytypować składników, które traktowane mogą być jako „minerały

Tab. 4. Minerale ciężkie w osadach z okolic Biłgoraja i Roztocza we frakcji 0,25-0,05 mm (wg Racinowski, 1969)

WIEK	GENEZA	OSAD	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE (Σ = 100%)										
			NT	Ł	T	AM	B	C	D	E	GI	GR	P	R	ST	TM
Q <sub>H</sub>	fl	Ps	23	+	77	4	2	26	3	2	+	32	+	12	9	10
Qp <sup>1</sup>	w	Ps	24	-	76	3	+	20	2	1	1	41	+	8	12	12
	fl	Ps	25	+	75	3	+	25	3	2	+	34	+	14	8	11
Qp <sup>3</sup>	fl	Pd	24	5	71	5	1	26	4	2	+	29	+	13	9	11
		Ps	28	4	68	17	3	24	3	2	1	22	+	13	7	8
		Ps+Ż	27	-	73	17	5	17	2	2	+	34	+	10	5	8
Qp <sup>2-3</sup>	fl	Ps	27	+	73	4	+	25	4	+	+	39	+	11	8	9
		Po	12	+	88	27	13	20	2	1	2	18	+	7	5	5
Qp <sup>2</sup>	flg	Ps+Ż	16	2	82	22	7	15	2	2	3	24	+	9	9	7
	lg	Źp	22	12	66	20	6	14	4	1	2	26	+	12	6	9
	gl	Gp+Ż	22	4	72	21	8	16	3	2	3	26	+	9	5	7
Qpp	l	Pd	28	4	70	5	1	22	4	+	2	37	+	12	8	9
	l	G	30	57	13	5	2	22	3	+	2	31	+	15	7	13
Tr	m	I	23	60	17	3	+	25	1	2	1	35	-	9	10	14
	w		29	20	51	+	-	23	11	+	23	5	+	14	12	12
K	m	op	38	28	34	+	-	60	2	-	8	4	-	16	4	6

Oznaczenia minerałów jak w tab. 1. Wiek: kreda górna, Tr — trzeciorzęd (miocen), Qpp — preglacja, Qp<sup>2</sup> — zlodowacenie południowopolskie, Qp<sup>2-3</sup> — interglacja mazowiecka, Qp<sup>3</sup> — zlodowacenie środkowopolskie, Qp<sup>4</sup> — zlodowacenie północnopolskie, Q<sub>H</sub> — holocen. Geneza: m — morska, l — jeziorzyskowa, gl — glacialna, flg — fluwioglacjalna, fl — fluwialna, w — eoliczna (wydmowa). Osady: op — opoki, w — wapienie, I — ił, G — glina, Gp+Ż — glina piaszczysta z domieszka żwiru (glina zwałowa), Ap — pył piaszczysty, Pd — piasek drobny, Ps — piasek średni, Ps+Ż — piasek średni z domieszka żwiru, Po — pospółka. Symbole osadów klastycznych wg PN-86/B-02480

przewodnie” do celów litostratygraficznych lub litogenetycznych.

**Sposób prezentowania wyników.** Dla danej frakcji wyniki wyrażane są procentach ilości ziarn. Wartości te są bardzo ściśle skorelowane z wynikami analizy planimetrycznej. Wyrażana niekiedy zawartość składników w procentach masy osadu w zasadzie jest bardzo zbliżona z wynikami analizy opartej na ilości ziarn we frakcji.

W wielu przypadkach bardzo pomocne jest operowanie wskaźnikami mineralnymi. Dotyczy to problematyki litodynamicznej, gdy do określenia zróżnicowania dynamiki środowiska bierze się pod uwagę relacje zachodzące między grupami mineralnymi o różnej gęstości. Są stosowane też wskaźniki wyliczane na podstawie zawartości minerałów o różnej odporności na niszczenie fizyczne i chemiczne, które są ważnymi wskaźnikami w rozważaniach litogenetycznych. Zwrócić należy jednak uwagę, że minerały odporne na niszczenie cechują się zazwyczaj większą gęstością, niż składniki podatne na niszczenie. Zagadnienie to zostało pominięte w opracowaniu.

#### Litogenetyczne wykorzystanie analiz minerałów ciężkich

Już na wstępie należy stwierdzić, że wyniki badań minerałów ciężkich nie mogą stanowić głównego kryterium pozwalającego na jednoznaczne określenie genezy osadów czwartorzędowych. Są one jednak ważną przesłanką podbudowującą wnioski oparte na makroskopowym badaniu cech strukturalno-teksturalnych osadu oraz wynikach analiz uziarnienia czy składu petrograficzno-mineralnego.

Skład minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych z obszaru Polski w dużej mierze jest zdeterminowany przez charakter materiału północnego, przytransportowanego i osadzonego przez łądogłody. Ogólnie duża obecność amfiboli, piroksenów i biotytu, a także granatów, epidotów, odróżnia osady czwartorzędowe od utworów starszego podłoża. Od tej ogólnej zasady istnieją regionalne odstępstwa. I tak w Polsce NW zaznacza się znaczne podobie-

ństwo osadów plejstocenyckich do utworów trzeciorzędowych (tab. 3). Natomiast na przedpolu Karpat i Sudetów, a częściowo na obszarze wyżyn środkowopolskich, w pokrywowych osadach czwartorzędowych duże znaczenie ma materiał pochodzący z miejscowych skał podścielających osady czwartorzędowe.

W obrębie wszystkich osadów glacialnych (piaszczysto-żwirowych i gliniastych) oraz fluwioglacjalnych (piaszczysto-żwirowych i pyłowych) dominuje podobny jakościowo i ilościowo skład minerałów ciężkich (tab. 1, 2). Wśród minerałów przezroczystych typowe są amfibole, biotyt, epidoty, granat, pirokseny.

Osady glacialne różnią się od późnoplejstocenyckich i holocenyckich pokryw piaszczystych tarasów rzecznych i pól wydmy, wśród których zmniejsza się udział amfiboli, biotytu i piroksenu (tab. 4). W utworach tych wzrasta natomiast zawartość granatów i epidotów. W mięszkich pokrywach piaszczystych wyżyn środkowopolskich w profilu pionowym trudno jest przeprowadzić granicę między osadami holocenyckimi a leżącymi głębiej utworami formowanymi w strefie peryglacialnej starszych zlodowaceń.

Jest sprawą zastanawiającą, że na Niżu Polskim interglacialne i interstadialne kopalne osady rzeczne i rozlewiskowe wykazują duże podobieństwo składu minerałów ciężkich do osadów glacialnych. Więcej podstaw do różnicowania genetycznego tych osadów wnosi analiza składników frakcji lekkiej.

Dyskusyjna jest też sprawność wykorzystania analiz minerałów ciężkich do wnioskowania o naturze osadów jeziorzyskowych i rozlewiskowych. W niektórych przypadkach analizy te są bardzo pomocne w problematyce litogenetycznej, w innych natomiast mało wnoszą do rozważań nad formowaniem się tych utworów.

Wyniki analiz minerałów ciężkich stara się wykorzystać w badaniach procesów lessotwórczych. Dotychczasowe rezultaty są niejednoznaczne i w zależności od doświadczenia i inwencji interpretatora mogą być różnie prezentowane. Stwierdza się bowiem, że nawet blisko siebie znajdujące się profile lessów wykazują znaczne różnice w składzie minerałów ciężkich. Podczas gdy oddalone od

Tab. 5. Minerale ciężkie w osadach plejstoceńskich okolic Pikulic k. Przemyśla (wg Łanczont &amp; Racinowski, 1994)

WIEK	KOMPLEKSY GENTYCZNE	OSADY	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )									
			NT	Ł	T	AM	C	D	EP	GR	P	R	ST	TM	O
Qp <sup>1</sup>	V	Pg	61	12	27	15	9	1	4	51	1	11	-	6	2
Qp <sup>3</sup>	IV	Pd	64	5	31	11	12	4	15	30	1	17	4	5	1
		Ps	45	5	50	7	6	1	3	69	1	6	2	4	1
		Ps	59	4	37	8	6	3	6	55	6	11	1	4	-
Qp <sup>2-3</sup>	II	Z	61	12	27	8	10	-	7	59	1	10	1	3	1
		Z	36	7	57	5	5	1	8	72	-	5	1	3	-
		Z	95	3	2	8	26	-	10	50	-	5	-	1	-
		Ps	34	6	60	2	5	1	4	75	1	5	3	4	-
Qp <sup>2</sup>	I	IIp	54	16	30	10	9	2	6	49	2	9	2	9	2

Oznaczenia minerałów jak w tab. 1. Wiek i osady jak w tab. 4. Kompleksy: I — kompleks osadów rozlewiskowych, II — kompleks osadów proluwialnych, IV — kompleks osadów fluwialnych, V — kompleks osadów stokowych

Tab. 6. Minerale ciężkie w różnych genetycznie poziomach profilu glebowego osadów grzbietowo-stokowych w rejonie Jarosławca na Jurze Krakowsko-Częstochowskiej we frakcji 0,25-0,01 mm (wg Fros &amp; Racinowski, 1987)

Gleba	Poziom	SKŁADNIKI MINERALNE				MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )										
		NT	K	Ł	T	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	O
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

Oznaczenia minerałów jak w tab. 1. Poziomy glebowe: A — poziom mineralno-próchniczny, B — poziom iluwialny, C — poziom skały macierzystej

Tab. 7. Minerale ciężkie w poziomach gleby kopalnej typu tomaszów w lessie profilu Odonów, we frakcji 0,16-0,06 mm (wg Racinowski &amp; Śnieszko, 1997)

Symbole warstw wg Jersaka	Poziom	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )											
		NT+K	Ł	T	AM	B	C	D	E	GI	GR	P	R	ST	TM	O
10	Ag	24,9	35,0	40,1	9,8	4,2	1,6	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

Oznaczenia minerałów jak w tab. 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 przemiany, Btg — poziom iluwialny gleby płowej oglejony

siebie wykazywać mogą pewne podobieństwa. Zauważa się jednak, że lessy młodsze zazwyczaj zawierają więcej amfiboli, biotyty, piroksenu niż lessy starsze. Niekiedy w lokalnych profilach badawczych obserwuje się dyferencjację minerałów ciężkich pod względem ich gęstości od miejsca lokalnego rozwiewania w dolinie do miejsca ich akumulacji na wierzcholinie. W kierunku tym lessy są wzbogacane w składniki o niskich ekwiwalentach aerodynamicznych.

**Ustalanie źródła materiału i procesów hipergenicznych.** W bardzo wielu przypadkach skład minerałów ciężkich okazuje się pomocny przy ustalaniu źródła materiału, z którego formowały się osady czwartorzędowe.

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 cykonu, rutylu, turmalinów, staurolitu, a niekiedy także granatów.

W utworach innej genezy spektrum minerałów ciężkich w sposób bardziej wyraźny może wskazywać na źródłowy materiał, z którego został uformowany osad. Na przykład niekiedy wnioskować można o glacialnym charakterze rozwiewanych osadów, z których formowały się lessy młodsze oraz zwietrzałych utworach plejstoce-

Tab. 8. Minerale ciężkie osadów doliny Sanu w Przemyślu, we frakcji 0,1-0,06 mm (wg Racinowski, 1976)

FACJE	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )							
	NT	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

Oznaczenia minerałów jak w tab. 1. Facje: FK — facja korytowa, FPn — facja powodziowa niska, Fpw — facja powodziowa wyższa

Tab. 9. Minerale ciężkie osadów kemu i pokrywy piasków eolicznych z Warnowa, we frakcji 0,25-0,12 mm (wg Hłaszeski i in., 1979)

Kompleks osadów	Rodzaj osadu	SKŁADNIKI MINERALNE			MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )										
		NT	Ł	NT	AM	B	C	D	E	GR	P	R	ST	TM	INNE
IV	Ps	45	4	51	19	15	2	1	13	33	9	-	1	4	3
III (w)	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
IIb	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
	Πp	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
	Π	49	4	47	26	14	2	3	15	27	9	-	-	4	-
I	Gp	41	1	48	26	10	-	1	10	27	16	1	1	3	5

Oznaczenia minerałów jak w tab. 1. Kompleksy osadów: I — podścielający kompleks zwałowy; IIa — dolny kompleks kemowy; IIb — górny kompleks kemowy; 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, PB — piasek pylasty, Ap — pył piaszczysty, A — pył, GB — glina pylasta

ńskich i starszych, z którego było nawiewane tworzywo lessów starszych.

Zwraca się jeszcze raz uwagę, że minerale 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. 5).

Bardzo problematyczne jest wyciąganie wniosków o poziomach wietrzeniowo-glebowych na podstawie składu minerałów ciężkich. Dotyczy to tak gleb współczesnych jak i kopalnych (tab. 6, 7). Tylko lokalnie dopatrywać się można zwietrzenia poszczególnych minerałów. Są to badania czasochłonne, a obserwacje czynione są incydentalnie. Analizy takie prowadzi się szczególnie wtedy, gdy z opisu profilu wie się, że jest rozpatrywany poziom wietrzeniowy. A tylko sporadycznie, na podstawie analizy minerałów ciężkich są wyznaczane poziomy wietrzeniowe w profilach osadów czwartorzędowych. Wydaje się, że w takich przypadkach szczególnie powinny być rozpatrywane grupy minerałów nieprzezroczystych oraz konglomeratów, których badania prowadzone muszą być w świetle odbitym.

#### Ustalenie zróżnicowania litofacjalnego i dynamiki środowiska sedymentacyjnego

W badaniach litologicznych utworów czwartorzędowych są czynione 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 wynikami badań dla większego obszaru można wnioskować tym, że niektóre kompleksy formowały się przy znacznym oddziaływaniu środowiska wód stojących, o czym świadczy wzbogacenie spektrum mineralnego w minerale o pokroju blaszkowatym.

Zdecydowanie większą efektywność wykazuje interpretacja wyników analiz minerałów ciężkich, przy analizie litofacjalnej środowisk prądowych.

W przypadku osadów wodnolodowcowych jest to analiza wspomagająca wnioski oparte na analizach uziarnienia. Dotyczy to szczególnie zmian dynamiki środowiska przy akumulacji osadów kemowych, a niekiedy i sandrowych.

Bardziej dobitnie zróżnicowanie litofacjalne odnosić można do środowiska rzeczno-jeziernego. Mimo podobnego uziarnienia rumowisko nurtu różni się od materiału odsypowego (brzeżnego bądź śródkorytowego), czy też utworów facji zalewowej (tab. 8).

Zróżnicowanie dynamiki masowego przemieszczania rumowiska w strumieniu powietrza na polach wydymowych w małym stopniu znajduje odzwierciedlenie w spektrum minerałów ciężkich jednak wyraźnie różni się od wyższych rozwiewanych osadów (tab. 9). Stwierdza się też, że

Tab. 10. Minerale ciężkie w rumowisku strefy brzegowej Mierzei Dziwnowskiej (frakcja 0,25-0,12 mm; wg Racinowski, 1990, 1996)

	Rzędne metry p.p.m.	Cechy	SKŁADNIKI MINERALNE				MINERAŁY PRZEZROCZYSTE ( $\Sigma = 100\%$ )									
			NT	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
PODBRZEŻE	0,0-2,0	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
	2,0-4,0	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 tab. 1

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 brzegowej morza (tab. 10). Obserwuje się, że na brzegu (plaży) jest największa koncentracja 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, przy małej ilości minerałów ciężkich, w rumowisku występuje pewien wzrost udziału składników o niskich ekwiwalentach hydraulicznych. W głębszym podbrzeżu 7–15 m rumowisko cechuje się stosunkowo małą zawartością minerałów ciężkich. Spektrum mineralne jest wzbogacone w składniki blaszkowate (muskowit, chloryty), galukonit, agregaty węglanowe i żelaziste. Jednak miejscami na tym tle, w strefie brzegowej morza występują rozległe powierzchnie rumowiska względnie wzbogacone w minerały ciężkie, wśród których są charakterystyczne wysokie udziały granatu. Skupienia takie są na szerokich wycinkach strefy brzegowej obejmując zarówno brzeg jak i podbrzeże. Charakterystyczne jest, że pola wzbogacone w minerały ciężkie, mogą przez dziesięciolecia utrzymywać się w tych samych rejonach. Przyjmuje się, że są to obszary o szczególnie intensywnej abrazji brzegu i podbrzeża.

### Podsumowanie

Mimo, że badania minerałów ciężkich osadów czwartorzędowych w Polsce są bardzo mocno zaawansowane celowo wydaje się wyraźne określenie pewnych zasad metodycznych. Dotyczy to:

□ ustalenia jaką, obok średnicy standardowej 0,25–0,10 mm, powinno uwzględniać się frakcję wspomagającą, z której należy wydzielać i analizować minerały ciężkie;

□ ustalenia ilości wydzielanych głównych składników minerałów ciężkich (np. nieprzezroczyście, kongrecje, chloryty + muskowit, minerały przezroczyście) oraz celowości szczegółowych analiz minerałów nieprzezroczyścych w świetle odbitym;

□ szczegółowości określania i prezentowania składu przezroczyścych minerałów ciężkich i analizowania ich w świetle przechodzącym;

□ ustalenia celowości badania szczegółowych cech wybranych minerałów ciężkich;

□ ustalenia standardowych wskaźników składu minerałów ciężkich.

W zakresie merytorycznego wykorzystania analiz minerałów ciężkich proponuje się przedyskutowanie poniższych kwestii:

□ Konieczności określenia dla obszaru Polski charakterystycznego spektrum minerałów ciężkich, które mogłyby stanowić tło dla wyodrębnienia zróżnicowania regionalnego oraz lokalnych anomalii.

□ Należy rozważyć kryteria i tok postępowania we wnioskowaniach litogenetycznych i litodynamicznych opartych na badaniu minerałów ciężkich. Sposoby te powinny się odnosić tak do jednego profilu, jak i zespołu profili w skali regionu i kraju. Zastanowić się trzeba jak daleko posunąć się może wnioskowanie w skali przestrzennej.

□ Rozważenia wymaga kwestia celowości szczegółowych badań niektórych minerałów ciężkich do celów litostratygraficznych, litogenetycznych, litodynamicznych.

□ Odpowiedzieć należy na pytanie, czy w świetle dotychczasowych badań istnieje szansa wyodrębnienia w spektrum minerałów ciężkich „minerałów przewodniczących”, które były by wspomagającymi w rozwiązywaniu konkretnych zadań badawczych.

□ Bardzo istotnym jest ustalenie sprawności analiz minerałów ciężkich do wydzielania w profilach geologicznych poziomów wietrzeniowych.

Po przedyskutowaniu powyższych problemów oraz innych, tu nie zaprezentowanych, konieczne jest bardziej jednoznaczne wypowiedzenie się w jakim zakresie badania minerałów ciężkich powinny być wykorzystywane w badaniach osadów czwartorzędowych.

### Literatura

- MALISZEWSKA A. 1969 — Rola minerałów ciężkich w geologii i paleogeografii. *Prz. Geol.*, 17: 556–557.
- MILNER G.B. 1962 — *Sedimentary petrography*. G. Allen & Unwin LTD. 4–TH ED. Londyn.
- RACINOWSKI R. 1992 — Uwagi o wykorzystaniu wyników analiz minerałów ciężkich w problematyce badań osadów czwartorzędowych Polski. [W:] red. E. Mycielska-Dowgiałło — *Badania sedimentologiczne osadów czwartorzędowych*. Letnia szkoła sedimentologiczna. Murzynowo.
- RACINOWSKI R. 1995 — A retrospective look at significance of heavy minerals studies for Poland's Quaternary problems. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowskiej, Lublin, B*, 48: 239–251.
- TURNAU-MORAWSKA M. 1955 — Znaczenie analizy minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. *Acta Geol. Pol.*, 5: 363–388.