

## OSADY OKRUCHOWE STREFY PŁYTKOWODNEJ ORAZ PLAŻOWEJ WYBRANYCH REGIONÓW INDONEZJI

### DETRITAL SEDIMENTS OF SHALLOW MARINE AND BEACH ZONE IN SELECTED REGIONS OF INDONESIA

Krzysztof Szamalek, Karol Zglinicki, Beata Marciniak-Maliszewska – Zakład Geologii Złóżowej i Gospodarczej,  
Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski  
Gustaw Konopka - Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Zakład Nanotechnologii, Warszawa

*W ramach prospekcyjnych prac geologicznych na obszarze wschodniej Indonezji dokonano wstępnego rozpoznania plażowych oraz morskich osadów okruchowych. Przedmiotem badań były również odpady powydobywcze (tailing) powstałe w wyniku przerobu piasków kasyterytonośnych pozyskiwanych wzdłuż wybrzeży wyspy Bangka (Indonezja Zachodnia). Celem badań było określenie potencjału złóżowego wybranych regionów Indonezji. Przeprowadzone wstępne badania wykazały, że najbardziej perspektywnym regionem występowania pierwiastków krytycznych jest rejon Indonezji Zachodniej, gdzie w obszarze alimentacji występują głównie skały magmowe kwaśne. W osadach antropogenicznych stwierdzono obecność mineralów – nośników lekkich (monacyt) oraz ciężkich pierwiastków ziem rzadkich (ksenotym), które mogą stanowić sumarycznie nawet do 39% masy próbek. Dodatkowo z osadów można odzyskać cyrkon oraz minerały żelaza i tytanu. Odmienny charakter mają utwory badane na obszarze Indonezji Wschodniej (Halmahera, Nowa Gwinea). We frakcji ciężkiej stwierdzono obecność mineralów o znaczeniu złóżowym głównie magnetytu, spinelu chromowego, hematytu, rutyłu oraz ilmenitu, co jest typowe dla osadów występujących w pozycji geotektonicznej luków wysp i basenów marginalnych.*

**Słowa kluczowe:** osady okruchowe, prace geologiczne

*Within the framework of geological exploration in the Eastern Indonesia, preliminary examination of beach and shallow marine sediments, have been conducted. The subject of this study were also tailings formed during processing of cassiterite bearing sand, mined alongside the shores of Bangka (Western Indonesia). Aim of this study was to assess the potential of occurrence of mineral deposits in the selected perspective areas. Initial laboratory results show that the most promising region, in terms of occurrence of critical elements is Western Indonesia (Bangka – Belitung province), where felsic magmatic rocks occur. Monazite and xenotime were detected here in abundance (up to 39%w) in anthropogenic deposits. What is more these deposits are the potential source of zircon and various Fe and Ti minerals. Different mineralogical and geochemical character of sampled eastern Indonesian deposits (Halmahera, New Guinea) is the result of distinct geotectonic position of sediment sources – intraoceanic magmatic arcs and marginal basins. Here, identified minerals of economic importance are: magnetite, hematite, ilmenite and chromium spinels.*

**Keywords:** detrital sediments, geological exploration

### Wstęp

Azja Południowo – Wschodnia jest jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się regionów świata o wysokim geopotencjale złóżowym. Wzrost zapotrzebowania na surowce nieenergetyczne o znaczeniu strategicznym oraz wyczerpywanie się lądowych złóż stwarza konieczność poszukiwania nowych złóż na obszarach morskich. Deficyt surowców krytycznych Unii Europejskiej (Raport Komisji Europejskiej 2010) m.in. ziem rzadkich, niobu, tantalu i innych, narzuca na kraje wspólnoty, w tym Polskę, potrzebę pilnego rozwiązania problemu. Alternatywą o wielkim potencjale pozyskiwania metali staje się górnictwo morskie (Kotliński 2001, Szamalek 2006, Szamalek, Mizerski 2011) Dodatkowo osady płytkomor-

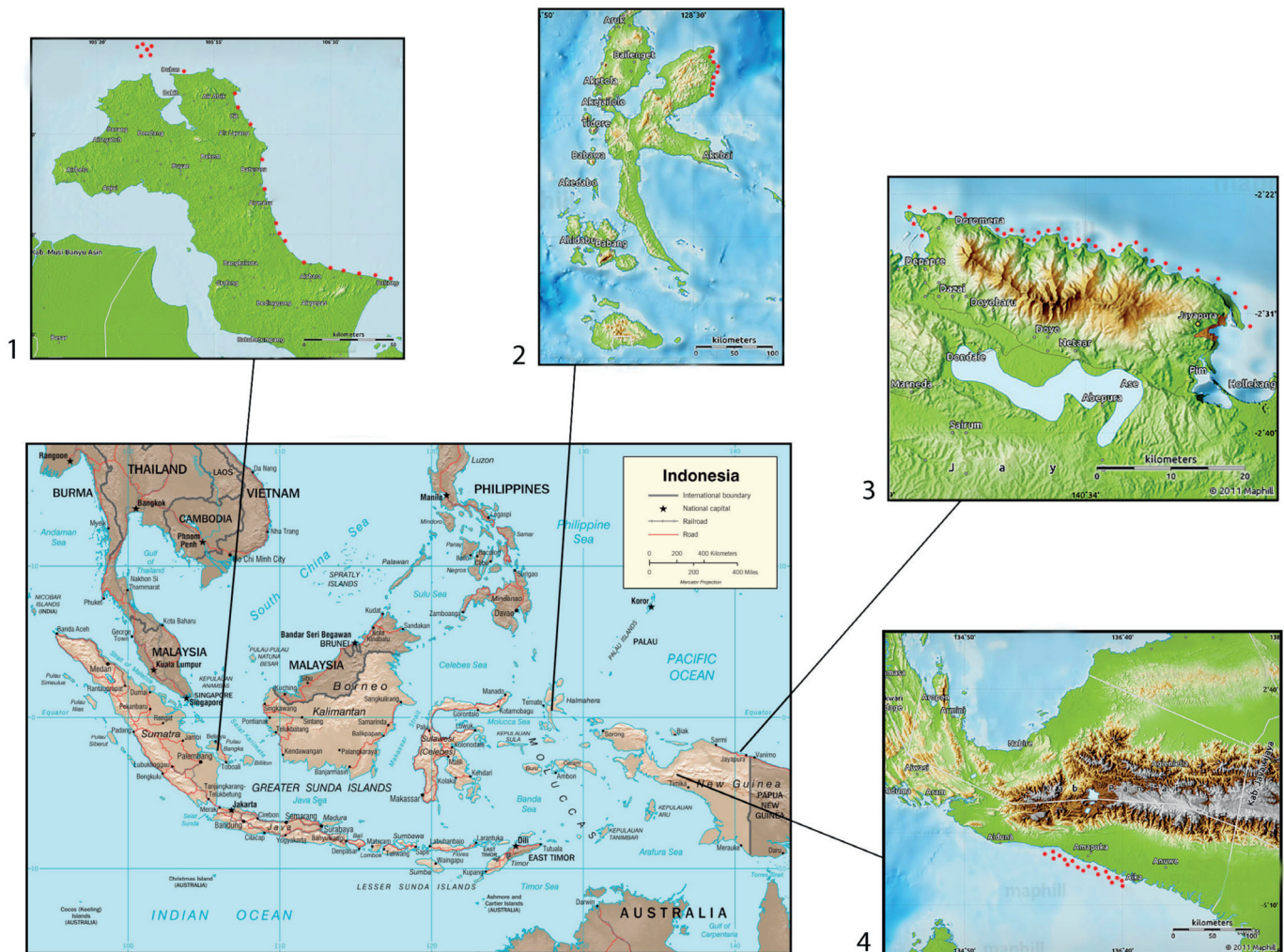
skie mogą być ważnym i łatwym w eksploatacji źródłem wielu ważnych innych pierwiastków m.in. żelaza, tytanu i cyrkonu. Wydobycie kopaliny morskiej skupione jest w obrębie stref wybrzeża oraz szelfu kontynentalnego w granicach jurysdykcji państw nadbrzeżnych.

Od 2010 roku na obszarze Indonezji w ramach współpracy polskich i indonezyjskich inwestorów realizowane są projekty poszukiwawcze – rozpoznawcze na obszarach lądowych oraz morskich wysp Bangka, Belitung, Halmahera oraz Nowej Gwinei (Morze Arafura, Regencja Jayapura) (rys. 1). Przedmiotem badań są liczne osady okruchowe pochodzące ze strefy płytkowodnej (do 60 m p.p.m.) oraz plażowej.

Azja Południowo – Wschodnia dostarcza do 20 – 25% (3000

mln ton rocznie) światowych mas sedimentów (składników terygenicnych) do Oceanu Światowego. Skład osadów jest bardzo urozmaicony i zależy od procesów sedymentacyjnych oraz zróżnicowanej budowy geologicznej obszarów źródłowych. Głównymi składnikami mineralnymi dostarczanymi do wód morskich w klimacie tropikalnym są: krzemiany warstwowe (kaolinit, illit oraz minerały z grupy smektytów i chlorytów), kwarc, minerały ciężkie oraz w podrzędnych ilościach skalenie, miki i kalcyt (Sevastjanova et al. 2012). Dostarczanie znacznych ilości osadów o różnym składzie mineralnym i geochemicznym, wynikającym ze zróżnicowanej budowy geologicznej badanych regionów, stwarza możliwość występowania różnego typu złóż mechanicznych w środowisku morskim.

ma miejsce nielegalne pozyskiwanie osadów z powierzchni dna morza. Przyjmuje ono zwykle formę tzw. „dzikich miasteczek” (fot. 1) zbudowanych z wielu połączonych ze sobą tratw bambusowych, na których umieszczone są pompy ssące zapuszczone w dno zbiornika wodnego. Na tratwach znajdują się prymitywne drewniane instalacje służące do wstępnego wzbogacania pozyskiwanego surowca we frakcję ciężką poprzez jego przemywanie i separację na progach. Osady okruchowe eksploatowane są z głębokości ok. 7 m. W czasie badań terenowych pozyskano 22 próbki tailingu powstałego jako odpad w czasie wzbogacania wstępnego koncentratu pochodzącego z nielegalnej eksploatacji.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru realizacji projektów prospekcyjnych: 1 Bangka, 2 Halmahera, 3 Regencja Jayapura (Nowa Gwinea), 4. Morze Arafura (Nowa Gwinea).

Fig. 1. Location of geological exploration area: 1 Bangka, 2 Halmahera, 3 Jayapura Regency (north to New Guinea), 4 Arafura Sea (south to New Guinea)

## Metodyka poboru próbek

W rejonie wysp Bangka – Belitung prowadzona jest eksploatacja okruchowych złóż kasyterytu. Celem badań było głównie rozpoznanie potencjału złożowego wtórnych antropogenicznych nagromadzeń pierwiastków użytecznych związanych z odpadami powydobywczymi. Wydobywanie morskich osadów okruchowych u wybrzeży wysp Bangka oraz Belitung leżących w tzw. cynowym pasie Azji Południowo-Wschodniej odbywa się metodami wielkoskalowymi przy użyciu pogłębiarek wieloczerpakowych należących do firm PT Timah oraz KobaTin. Równolegle z legalnym wydobywaniem przez te państwowe firmy

W pozostałych rejonach celem badań było rozpoznanie możliwości występowania pierwotnych złóż okruchowych w osadach plażowych i morskich. Opróbowanie dna Morza Arafura u SW wybrzeży Nowej Gwinei wykonały firmy Roman Group Pte. Ltd. oraz Van Oord. Próbkę pozyskiwano ze statku „KLM Reihan” (27 GT) za pomocą czerpaka Van Veena (fot. 2). Na przestrzeni ok. 260 km pobrano 30 próbek okruchowych z głębokości 20 – 82 m p.p.m. Próbkę o zaburzonej strukturze reprezentują górną 15 – centymetrową warstwę osadu dennego.

Osad z powierzchni dna północnego wybrzeża Nowej Gwinei (Regencja Jayapura) wydobyto za pomocą płaskodennej pogłębiarki ssącej (HAM – 318) należącej do firmy Van Oord





Fot. 1. Nielegalna eksploatacja osadów okruszowych u wybrzeży wyspy Bangka (fot. K. Zglinicki, G. Konopka)

Fot. 1. Illegal exploitation of cassiterite placer deposits alongside the stores of Bangka (fot. K. Zglinicki, G. Konopka)

(rys. 2) umożliwiającej pobór sedimentów (żwir, piasek, il) z dna zbiornika wodnego do 30 m głębokości, zbierając ok. 20 cm osadu o zaburzonej strukturze.



Fot. 2. Metoda poboru osadów z dna Morza Arafura (fot. Roman Group Pte. Ltd.)

Fot. 2. Method of sampling of sediments from the bottom of Arafura Sea (fot. Roman Group Pte. Ltd.)

Pobrano z powierzchni dna morskiego 61 próbek osadów. Głębokość zalegania sedimentów wahała się w granicach 18 – 30 m poniżej poziomu wody i była uzależniona od ukształtowania dna morskiego.

Próbki utworów plażowych na wyspie Halmahera pobierano metodą sondowań ręcznych oraz z naturalnych odsłoneń występujących w obrębie plaż. Cechą charakterystyczną osadów plażowych było występowanie pakietów płaskich lamin o ciemnej barwie.



Rys. 2. Schemat poboru próbek przez płaskodenną pogłębiarkę ssącą (Van Oord HAM – 318) (Źródło: Van Oord)

Fig. 2. Scheme of sampling of sea bottom with the flat bottom dredger (Van Oord HAM – 318) (Source: Van Oord)

## Zakres i metody badań

Badania mineralogiczne oraz geochemiczne przeprowadzono w laboratoriach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie oraz Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Analizowany materiał (Bangka, Nowa Gwinea, Halmahera) przemyto wodą dejonizowaną o przewodności właściwej  $< 0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ , w celu oczyszczenia i usunięcia z osadów chlorku sodu (NaCl). Za pomocą kwasu octowego 10% (cz.d.a.) oraz nadtlenu wodoru 30% (cz.d.a), rozpuszczano węglany (fragmenty fauny i flory morskiej) oraz substancję organiczną (fragmenty drewna, kory drzew). Badany materiał przesiewano przez zestaw sił nylonowych: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,1 mm, 0,063 mm, 0,071 mm (średnica zastępcza w przypadku próbek z regencji Jayapura). Do wydzielenia minerałów ciężkich wykorzystano poliwolframian sodu ( $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) o gęstości  $2,80 \pm 0,02 \text{g}/\text{mL}$ . Minerale ciężkie były separowane z frakcji od 1 mm do 0,071 mm. Z wydzielonych frakcji od 0,5 mm do 0,1 mm przygotowano z minerałów ciężkich preparaty nasypowe zatopione w żywicy epoksydowej. Próbkę piasków plażowych z Halmahery w przedziale frakcji 0,5 mm – 0,1 mm wyseparowano za pomocą magnesu neodymowego. W przypadku próbek z Morza Arafura klasę ziarnową 0,063-0,250 mm poddano separacji magnetycznej przy użyciu separatora magnetycznego typu Frantz (model L-1) o natężeniu prądu 0,5A. Z uzyskanych separatów wykonano zatopione w żywicy epoksydowej (Araldite 2020) odkryte preparaty nasypowe do badań mikroskopowych (mikroskop polaryzacyjny do światła odbitego i przechodzącego, skaningowy mikroskop elektro-nowy).

Rentgenowską analizę fazową próbek utartych uprzednio w moździerz agatowym, wykonano na dyfraktometrze Bruker AXS D8 Advance Davinci, w zakresie kątowym  $5 - 100 2\theta$  z użyciem lampy z anodą Cu i filtra Ni. Zastosowano szczelinę dywergencji  $0,3^\circ$ , szczelinę sollera  $2,5^\circ$ , szczelinę detektora  $1,5^\circ$ , detektor półprzewodnikowy Lynx Eye. Do identyfikacji faz krystalicznych wykorzystano oprogramowanie EVA z dostępem do bazy wzorców ICDD PDF-2 wersja 2007 i PDF-4 wersja 2011. Ilościową analizę fazową przeprowadzono w programie TOPAS v 4.2 metodą Rietvelde. Obserwacje mikrostruktury i analizy składu chemicznego poszczególnych ziaren mineralnych metodą dyspersji energii promieniowania Roentgena (EDS) przeprowadzono przy użyciu mikroskopów skaningowych z emisją polową FEI Nova NanoSEM 200 wyposażonego w detektor SDD Apollo X oraz AURIGA 60. Do badań składu chemicznego w mikroobszarze, dla próbek z dna wybrzeża wyspy Bangka, użyto mikroskopy elektronowej CAMECA SX-100. Ogólny skład geochemiczny próbek z wyspy Halmahera określono metodą spektroskopii atomowej na spektrometrze AAnalyst 300 firmy Perkin – Elmer na dwóch próbkach piasku w stanie surowym (we wstępnej obróbce próbki wyprażano dla pozbycia się zanieczyszczeń organicznych i innych składników usuwalnych termicznie). Analizowano zawartość 12 pierwiastków głównych, 11 pierwiastków podrzędnych (głównie metali) oraz 5 pierwiastków ziem rzadkich (lantanowce). Obserwacje pod mikroskopem polaryzacyjnym ECLIPSE E600 POL oraz mikroskopem stereoskopowym NIKON SMZ1000 wykonano w świetle odbitym, z wcześniej przygotowanych preparatów nasypowych.

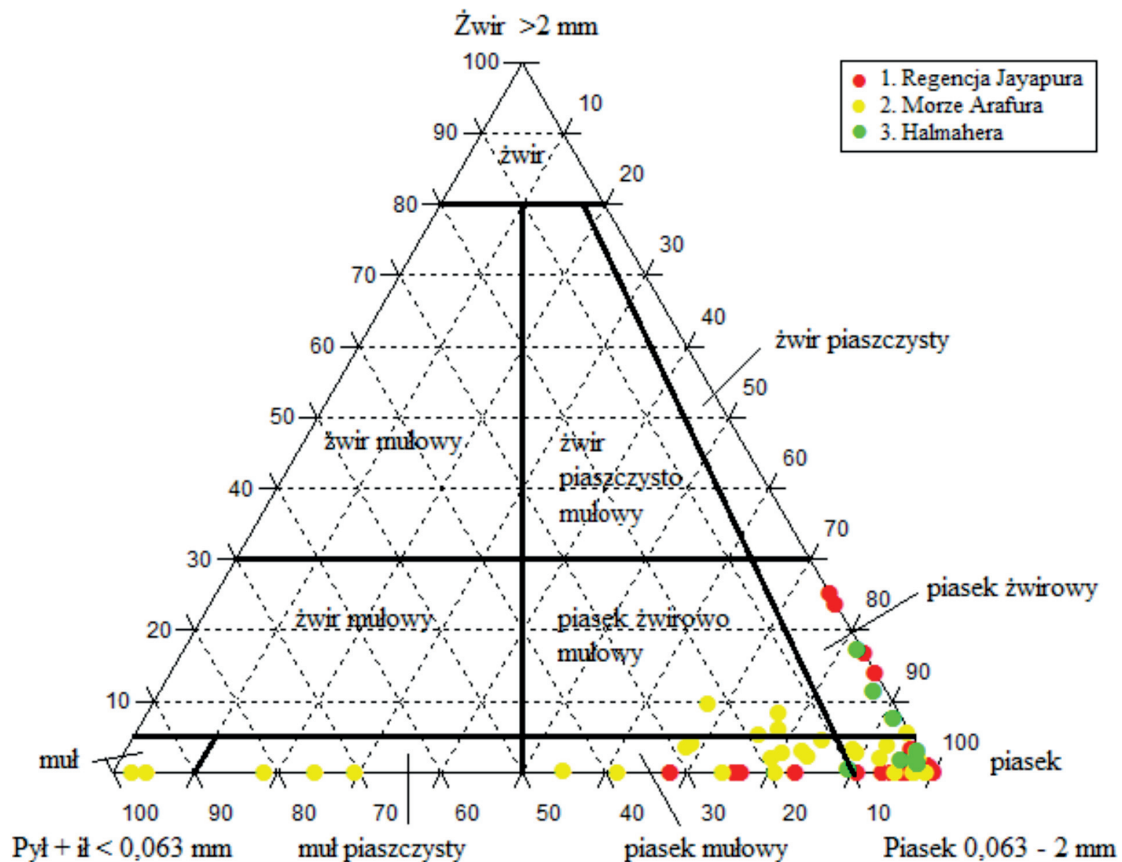
### Skład ziarnowy i mineralny

Wyniki analiz granulometrycznych osadów morskich zostały przedstawione na diagramie klasyfikacyjnym Nicholasa (rys. 3). Badania 9 próbek piasków z Halmahery wykazały, że są to osady średnio- i drobnoziarniste, typowe dla środowiska plażowego. Piaski z dna Morza Arafura ukazują znaczne zróżnicowanie petrograficzne. Dominującą grupę osadów (25 próbek) stanowią piaski, piaski mułowe oraz piaski żwirowo – mułowe. W analizowanym materiale występuje również 5 próbek mułu oraz mułu piaszczystego. Próbkami z regencji Jayapura nie wykazują istotnego zróżnicowania petrograficznego. Główną grupę osadów (30 próbek) stanowią piaski drobno- oraz średnioziarniste. Brak frakcji ilastej w badanym materiale wynika z dużej dynamiki środowiska przybrzeżnego.

Badania mineralogiczne koncentratów pozyskanych u wybrzeża wyspy Bangka pozwoliły na identyfikację ilościową minerałów o potencjalnym znaczeniu złożowym (tab. 1) (Szamałek i in. 2013).

Dominującą grupą minerałów zidentyfikowanych w osadach plażowych z Halmahery są pirokseny (diopsyd), plagioklasy szeregu zasadowego (labrador) i amfibole, ponadto stwierdzono znaczne ilości kwarcu i epidotu (tab. 2).

Próbki z dna Morza Arafura charakteryzują się dość monotonnym, ale zróżnicowanym ilościowo składem mineralnym. Dominującym składnikiem jest kwarc, w większości próbek jego zawartość przekracza 50% wag. Wśród ziaren detrytycznych obecne są także skalenie alkaliczne i plagioklasy oraz amfibole. Krzemiany warstwowe reprezentowane są przez chloryty i łyszczyki, natomiast węglany – dolomit, kalcyt,



Rys. 3. Wyniki analizy granulometrycznej badanych próbek  
Fig. 3. Results of granulometric analysis of the tested samples

Tab. 1. Skład mineralny wybranych koncentratów mineralnych z wybrzeża wyspy Bangka  
Tab. 1. Mineralogical composition of selected mineral concentrates obtained from offshore mines

Minerał	Koncentrat cyrkonowy	Koncentrat monacytowy	Koncentrat mieszany
Cyrkon	84,43%	ND	16,92%
Ksenotym	0,92%	1,07%	17,55%
Monacyt	11,10%	90,6%	21,23%
Rutyl	2,25%	1,95%	3,77%
Anataz	ND	ND	0,91%
Pseudorutyl	ND	ND	7,19%
Ilmenit	ND	ND	16,90%
Kasyteryt	1,30%	6,19%	8,46%
Pirytyt	ND	Ślady	4,68%
Markasyt	ND	ND	2,39%



kalcyt wysokomagnezowy, aragonit i syderyt. Mg-kalcyt oraz aragonit wchodzi w skład bioklastów, syderyt natomiast jest składnikiem autigenicznych kongregacji.

Badania mineralogiczne próbek osadów przybrzeżnych z Regencji Jayapura wykazały, że głównym składnikiem są pi-

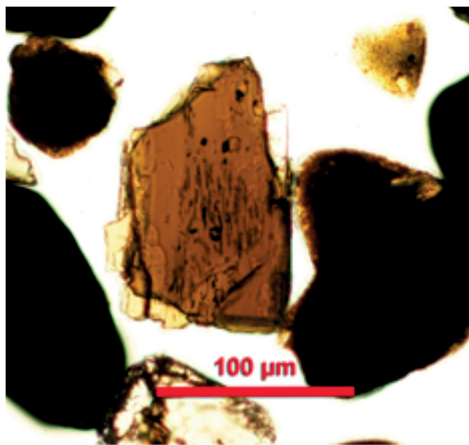
rokseny (diopsyd oraz enstatyt), epidot, serpentyny oraz biotyt i kwarc. W osadach występują także minerały złożowe: spinele chromowe, chromity, magnetyt, ilmenit oraz rutyl (fot. 5).

We frakcji magnetycznej wydzielonej z osadów pobranych z wyspy Halmahera dominują minerały własne żelaza (magne-

Tab. 2. Skład mineralny osadów plażowych z wyspy Halmahera

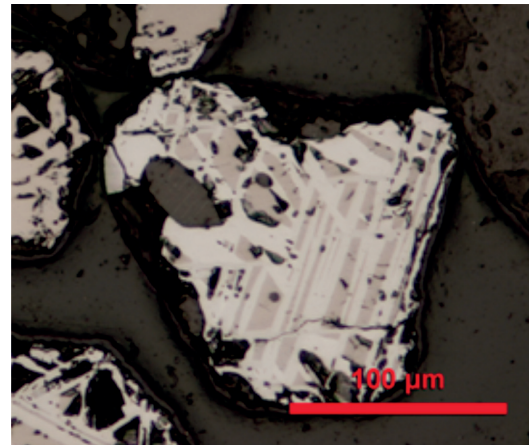
Tab. 2. Mineralogical composition of beach deposits from Halmahera

Nr próbki	Skład mineralny
1	Plagioklasy typu zasadowego (labratoryt), klinopiroksen, kwarc
2	Ilmenit, minerały grupy spineli, hematyt
3	Diopsyd, augit, anortyt, magnetyt, lizardyt (grupa serpentynu)
4	Diopsyd, plagioklasy typu zasadowego (labratoryt), gibbsyt, amfibole, antygoryt, kwarc
5	Diopsyd, plagioklasy typu zasadowego (labratoryt), antygoryt, kwarc
6	Diopsyd, antygoryt, labratoryt, kwarc, magnetyt
7	Magnetyt, magnezioferyt, diopsyd, hematyt
8	Diopsyd, albit, kwarc
9	Labratoryt, klinopiroksen



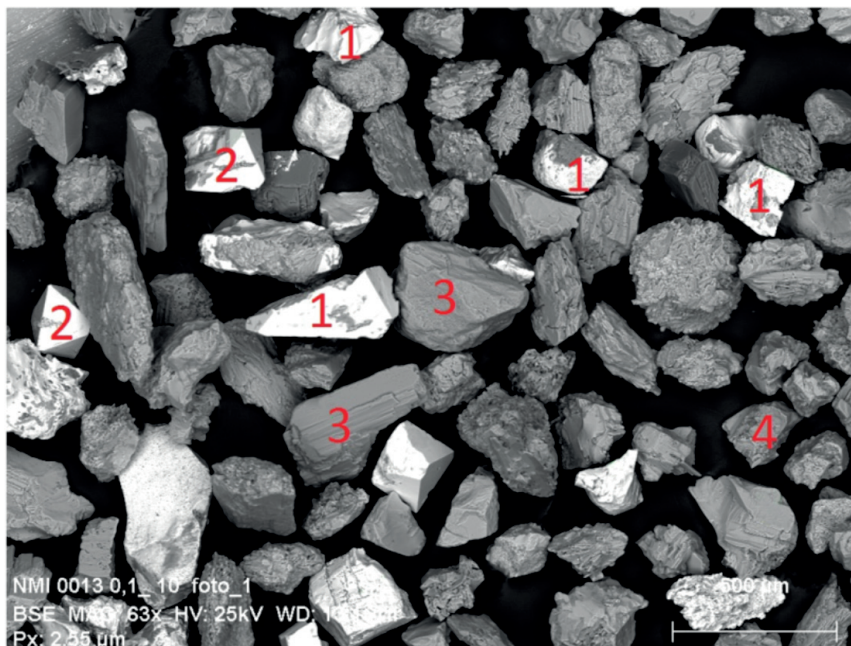
Fot. 3. Ziarna amfiboli oraz minerałów nieprzezroczystych, Morze Arafura (światło przechodzące, polaryzatory II)

Fot. 3. Grains of amphibole and opaque minerals, Arafura Sea (transmitted light, polarizers II)



Fot. 4. Magnetyt z przerostami hematytu, Morze Arafura (światło odbite, polaryzatory II)

Fot. 4. Magnetite with intergrowth of hematite, Arafura Sea (reflected light, polarizers II)



Fot. 5. Próbkę wydzielonych minerałów ciężkich, regencja Jayapura: 1 Chromit; 2 Magnetyt; 3 Epidot; 4 Piroksen (obraz SEM-BSE)

Fot. 5. Separated heavy mineral fraction, Jayapura Regency: 1 Chromite, 2 Magnetite, 3 Epidote, 4 Pyroxene (SEM image, BSE mode)

tyt, hematyt, ilmenit oraz magnesioferyt), do frakcji wchodzi także pirokseny o wysokiej zawartości żelaza w strukturze. We frakcji niemagnetycznej (słabomagnetycznej) dominują pozostałe pirokseny i amfibole.

W skład frakcji magnetycznej 0,5A wyseparowanej z klasy ziarnowej 0,063-0,250 mm z próbek okruchowych z Morza Arafura wchodzi w zmiennych proporcjach fazy mineralne takie jak: amfibole, magnetyt, chloryty, syderyt, pirokseny, łyszczyki, goethyt, a także kwarc, skalenie i minerały węglanowe.

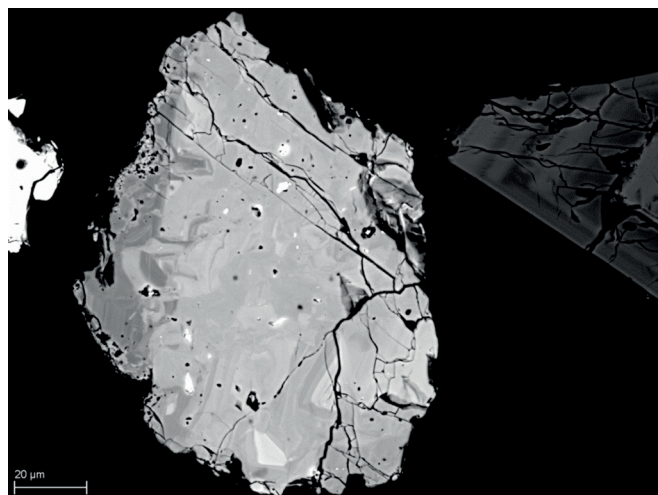
### Skład chemiczny

Użyteczne pierwiastki związane z piaskami plażowymi Halmahery można powiązać z piroksenami i amfibolami zasadowymi (z wbudowanymi diadochowo w ich strukturę żelazem i tytanem) oraz, co bardziej istotne, z minerałami wła-

Tab. 3. Geochemia osadów plażowych z Halmahery

Tab. 3. Geochemistry of beach sediments from Halmahera

Składnik chemiczny	Próbka 2	Próbka 8
<b>% wag.</b>		
SiO <sub>2</sub>	0,06	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	2,12
TiO <sub>2</sub>	1,05	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,02	6,39
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,08
MnO	0,16	0,05
CaO	0,66	1,85
MgO	0,52	1,90
Na <sub>2</sub> O	0,16	0,17
K <sub>2</sub> O	0,01	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,08
SiO <sub>2</sub> + str.praż.	73,41	86,94
<b>ppm</b>		
Sr	29,1	41,3
Ba	2,1	2,7
Co	39,0	16,9
Ni	3,9	71,2
Cu	0,0	4,6
Zn	153,8	39,9
Cd	0,0	0,0
Pb	20,1	1,5
As	0,0	0,0
S	200,4	39,9
Zr	9,7	3,6
<b>Lantanowce ppm</b>		
La	17,5	0,8
Ce	30,1	0,0
Pr	29,6	19,8
Nd	0,0	0,0
Sm	14,8	4,0
Eu	7,9	1,5



Fot. 6. Ziarno ksenotymu (w centrum) – Bangka (obraz BSE)

Fot. 6. Xenotime grain (center) – Bangka (BSE mode)

Tab. 4. (po prawej) Średni skład chemiczny monacytów z Bangki na podstawie 38 reprezentatywnych analiz mikrosondowych \*HREE – sumaryczna zawartość ciężkich ziem rzadkich

Tab. 4. (right) Average chemical composition of monazites from Bangka as measured with the microprobe. \*HREE – Sum of heavy rare earth elements

Tlenek	% <sub>wg</sub> śr. n=38
SiO <sub>2</sub>	1,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	28,68
CaO	0,20
UO <sub>2</sub>	0,31
ThO <sub>2</sub>	6,03
PbO	0,02
SO <sub>2</sub>	0,02
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,82
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,65
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,71
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,19
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,33
HREE*	2,21
SUMA:	99,62

snymi żelaza takimi jak magnetyt, hematyt, ilmenit. Zawartość lantanowców jest na niskim poziomie nie mającym znamion nagromadzenia wyraźnie przekraczającego klarki pierwiastków dla skał okruchowych. Stwierdzona zawartość lantanowców odpowiada zawartości tych pierwiastków w piroksenach zasadowych i amfibolach. Część lantanowców może być skoncentrowana w epidocie, którego pojedyncze ziarna obserwowano w preparacie proszkowym.

Piaski morskie są często źródłem występowania cyrkonu (jako minerału cyrkonu oraz metalu cyrkonu wbudowanego jako domieszka w strukturę innych minerałów). W analizowanych próbkach z Halmahery zawartość pierwiastka cyrkonu nie przekracza jednak 10 ppm i nie ma zatem żadnych przesłanek do uznania, że badane próbki mogłyby być nośnikiem tego składnika chemicznego.

Badaniom chemicznym w mikroobszarze poddano minerały koncentratów mineralnych z wyspy Bangka powstałych po

przerobie piasków kasyterytonośnych tj. ksenotymy, monacyty oraz kasyteryt. Analizy geochemiczne ksenotymów wykazały obniżone zawartości lekkich ziem rzadkich za wyjątkiem Gd oraz podwyższone koncentracje ciężkich ziem rzadkich: Y, Dy, Er, Yb. Ksenotymy charakteryzują się strefową budową, która często ma charakter nieregularny a rzadziej pasowy (fot. 6). Ziarna tego minerału wykazują podwyższone koncentracje Th i U, co można wyjaśnić podstawieniem  $(Th, U)^{4+} + Si^{4+} \leftrightarrow (REE, Y)^{3+} + P^{5+}$  (Kositcin i in. 2003). W próbkach stwierdzono znaczne ilości wrostków tlenków toru i uranu. Monacyty są wzbogacone w Ce, La, Nd oraz Th (tab. 4). Z kolei kasyteryt wykazuje nieznaczne koncentracje niobu i tantalum wynikające z podstawień strukturalnych w sieci krystalicznej minerału – nie mają one same w sobie charakteru złożowego, natomiast proces wytopu cyny powoduje zwiększenie koncentracji tych metali w żużlach powytopowych (Zglinicki & Konopka 2014).

### Wnioski

O charakterze petrograficznym, składzie mineralogicznym i geochemicznym analizowanych próbek decyduje charakter i odległość od źródła alimentacji oraz dynamika środowiska sedimentacyjnego. Próbki pobierane z wyspy Bangka, wchodzącej geologicznie w skład zdenudowanych terranów akrecyjnych o charakterze kontynentalnym, charakteryzują się występowaniem wielu minerałów zawierających pierwiastki niekompatybilne, w tym szczególnie REE, Zr, Hf, Sn, Nb, Ta. Natomiast na obszarach aktywnych śródoceanicznych łuków

wysp i związanych z nimi nasunięć ofiolitowych (Halmahera) minerały zawierające te pierwiastki są praktycznie nieobecne, a udział kwarcu w osadach jest podrzędny. W przypadku próbek pochodzących z regionów zamykanych basenów marginalnych o bliskim (rzędu kilku km) sąsiedztwie zasadowych i ultrazasadowych skał metamorficznych (Jayapura) również dominują minerały maficzne. Osady pochodzące z Morza Arafura cechują się natomiast wyższą zawartością kwarcu ze względu na większą odległość od obszaru alimentacji, o czym świadczy także większy udział frakcji mułowej i ilastej. W przypadku trzech lokalizacji z terenu Indonezji Wschodniej minerałami o potencjalnym znaczeniu ekonomicznym są: magnetyt, ilmenit, hematyt oraz spinel chromowy. O uznaniu danego obszaru za złożę decyduje koncentracja minerałów użytecznych oraz inne kryteria bilansowości. Badane osady pochodzące z wyspy Bangka cechują się bardzo wysokimi zawartościami minerałów użytecznych, a dodatkowo są one dostępne do przetworzenia bez konieczności kosztownego poszukiwania, rozpoznania i wydobycia. Najbardziej perspektywicznym kierunkiem ich eksploatacji jest pozyskiwanie koncentratów kasyterytowych i ksenotymowych. W przypadku osadów z Halmahery trzy z dziewięciu pobranych próbek wykazują koncentracje minerałów żelaza na poziomie powyżej 30% wag., co czyni je potencjalnie interesującymi pod kątem pozyskiwania koncentratów minerałów magnetycznych. Próbki pochodzące z dwóch obszarów Nowej Gwinei, także potencjalnie wskazują na możliwość występowania istotnych nagromadzeń minerałów magnetycznych.

### Literatura

- [1] European Commission, 2010. Critical raw materials for the EU, Report of the ad-hoc Working Group on defining Critical Raw Materials (85 pp.)
- [2] Kotliński R. A., 2001–Mineral Resources of the World Oceans — Their Importance for Global Economy in the 21st Century. [W:] Proceedings of the Fourth Ocean Mining Symposium, ISOPE, Szczecin 2001
- [3] Kositcin N., McNaughton N.J., Griffin B.J., Fletcher I.R., Groves D.V., Rasmussen B., 2003. Textural and geochemical discrimination between xenotime of different origin in the Archean Witwatersrand Basin, South Africa. *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 709–731
- [4] Sevastjanova I., Hall R., Alderton D., 2012 – A detrital heavy mineral view point on sediment provenance and tropical weathering in SE Asia. *Sedimentary Geology* 280, 179–194
- [5] Szamałek K., 2006 – Perspektywy zagospodarowania kopalni oceanicznych. [W:] *Stosunki Międzynarodowe* nr 3-4 (t. 34), 2006, s. 33-64
- [6] Szamałek K., Mizerski W., 2011–Surowce mineralne z dna mórz i oceanów – stan rozpoznania i perspektywy. *Górnictwo i Geoinżynieria*, rok 35, z. 4/1 2011, 353 – 370
- [7] Szamałek K., Konopka G., Zglinicki K., Marciniak-Maliszewska B. 2013– New potential source of rare earth elements. *Gosp. Sur. Min.* t. 29 z. 4, 59-76
- [8] Zglinicki K., Konopka G., 2014 – Rare metals content in cassiterite from Bangka (Indonesia). *Mineralogia-Special Papers*, vol. 42, 116

\* \* \*