

Konkrecje Fe-Mn z polskiego sektora Morza Bałtyckiego – stan wiedzy i potrzeba badań

Karol Zglinicki¹, Szymon Uścińowicz², Leszek Łęczyński³, Krzysztof Szamałek^{1,4},
Wojciech Jegliński², Urszula Pączek², Paweł Bylina⁵, Michał Banaś⁶

Fe-Mn nodules from the Polish sector of the Baltic Sea – state of knowledge and need for research. *Prz. Geol.*, 69: 161–168; doi: 10.7306/2021.10

Abstract. Studies on Baltic nodules have been undertaken since the 1920s. In the 1970s and 1980s, the Polish Geological Institute - National Research Institute conducted researches on the bottom sediments of the Baltic Sea, which allowed identifying the regions of occurrence of Fe-Mn nodules in the southern part of the Baltic Sea (Mojski, 1989–1994). Nodules from the Polish Baltic Sea Zone are the least studied element of the marine environment. So far, there is a lack of information on environmental-geological conditions of formation and occurrence of nodules, their metal resources and deposit potential. The Fe-Mn nodules may be a valuable source of information on the contamination of the Baltic Sea water and bottom sediments. In cooperation between the Institute of Oceanography of the University of Gdańsk and the Polish Geological Institute-NRI, two research cruises were carried out in August and September 2020 on a 5 × 5 km testing ground in the Gotland-Gdańsk Threshold region. The seabed surface was profiled using multibeam echo sounders and a side-scan sonar. A hundred samples of Fe-Mn nodules, 25 samples of surface sediments associated with the nodules, and 25 samples of clay rocks underlain by marine sediments were collected. The extensive documentary material will enable, for the first time, to estimate the nodule resources and determine the regularity of their occurrence.

Keywords: Baltic Sea, marine sediments, Fe-Mn nodules, critical raw materials

Konkrecje żelazowo-manganowe (*Fe-Mn nodules*) są znane z różnych obszarów Morza Bałtyckiego – od Zatoki Meklemburskiej i Kilońskiej na południowym-zachodzie po Zatokę Botnicką i Fińską na północy (Manheim, 1961; Gorszkowa, 1963; Winterhalter, 1966; Winterhalter, Siivola, 1967; Ingri, Pontér, 1986; Hlawatsch i in., 2002a, b; Zharmoida in., 2007; Baturin, 2009). Pierwsze badania konkrecji z polskiej części Bałtyku prowadzili Pęcherzewski (1972) i Kulesza-Owsikowska (1979, 1981). Państwowy Instytut Geologiczny w trakcie prac nad *Mapą geologiczną dna Bałtyku w skali 1 : 200 000* (Mojski, 1989–1994) udokumentował miejsca występowania konkrecji na polskich obszarach morskich (ryc. 1). Prace podsumowujące wiedzę na temat konkrecji Fe-Mn z polskiej strefy Bałtyku przedstawili Trokiewicz (1998) oraz Szefer i in. (1998).

Konkrecje bałtyckie występują w rozmaitych formach morfologicznych różniących się koncentracją tlenków/wodorotlenków żelaza i manganu oraz zawartością metali: Pb, Zn, Cu, REE, Co (Hlawatsch i in., 2002a, b; Szamałek i in., 2018). Zawartość składników mineralnych, w szczególności tlenków i wodorotlenków żelaza oraz metali Pb, Zn, Cu, REE czy Co, w konkrecjach Fe-Mn jest zależna od ich genezy, warunków oksydacyjno-redukcyjnych, ukształtowania powierzchni dna oraz tempa przyrostu konkrecji. Konkrecje Fe-Mn są przedmiotem intensywnych prac badawczych realizowanych nie tylko w oceanach (np. strefa Clarion-Clipperton na Pacyfiku), ale także w różnych basenach morskich m.in. Morzu Karskim (Vereshchagin i in.,

2019), Morzu Południowochińskim (Zhong i in., 2017), w Zatoce Kadyksu u wybrzeży Hiszpanii (González i in., 2012). Konkrecje oceaniczne Mn-Fe są określane jako polimetaliczne, gdyż zawierają wiele metali; Mn i Fe > 5,0%; Co+Cu+Ni (%) > 2,5%, REE > 1000 ppm. Na podstawie wartości Mn/Fe i dominujących minerałów manganu wyróżnia się kilka typów genetycznych konkrecji. Są to: a) konkrecje diagenetyczne – Mn/Fe > 5 todorokit; b) hydrogeniczno-diagenetyczne – Mn/Fe 3–5 birnessyt; c) hydrogeniczne – Mn/Fe < 3 vernadyt. Kryteriami klasyfikacyjnymi konkrecji są także morfologia, charakter powierzchni, wielkość i kształt oraz interwał głębokości zalegania na powierzchni dna (Morgan i in., 2010).

Głównym celem badań konkrecji morskich i oceanicznych jest poznanie warunków ich powstawania oraz ocena geopotencjału złożowego (Kuhn i in., 2017), tj.: gęstości pokrycia dna konkrecjami, zawartości metali głównych, metali krytycznych oraz interwału głębokości zalegania konkrecji. Jak dotąd w polskim sektorze Morza Bałtyckiego nie określono złożowych wskaźników granicznych dla konkrecji Fe-Mn w zakresie: gęstości pokrycia dna konkrecjami, zawartości metali oraz składu mineralnego i chemicznego.

Badania konkrecji z południowej części Bałtyku (Szefer i in., 1998) wykazały obecność w nich m.in. metali ziem rzadkich. Informacje te zostały potwierdzone przez Szamałek i in. (2018). Jednak prowadzili oni badania na materiale archiwalnym pozyskanym podczas prac kartogra-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; karol.zglinicki@pgi.gov.pl

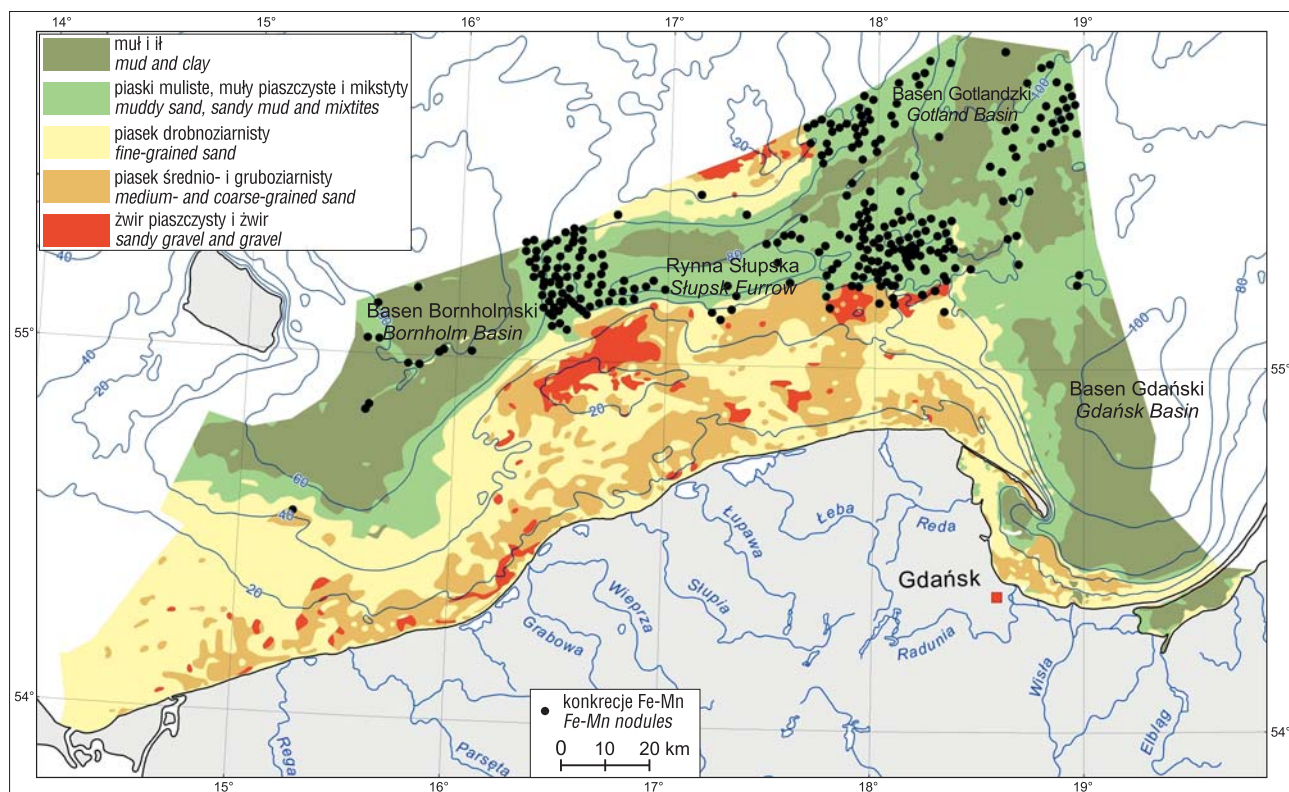
² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk.

³ Instytut Oceanografii, Zakład Geofizyki, Uniwersytet Gdański, al. Marszałka Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia.

⁴ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa.

⁵ Katedra Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym, Politechnika Warszawska, Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa.

⁶ Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Ośrodek Badawczy w Krakowie, ul. Senacka 1, 31-002 Kraków.



Ryc. 1. Udokumentowane miejsca występowania kongrecji Fe-Mn wg *Mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1 : 200 000* (Mojski, 1989–1994)

Fig. 1. Documented locations of Fe-Mn nodules based on *Geological map of the Baltic Sea Bottom in the scale 1 : 200 000* (Mojski, 1989–1994)

ficznych realizowanych w latach 80. XX w. na potrzeby przygotowania *Mapy geologicznej dna Bałtyku 1 : 200 000*. Brak usystematyzowanej, nowej wiedzy na temat kongrecji bałtyckich, ich składu mineralnego (ilościowego oraz jakościowego), chemicznego, dystrybucji na powierzchni dna, warunków środowiskowo-geologicznych oraz zasobów uzasadnia potrzebę prowadzenia dalszych szczegółowych prac badawczych.

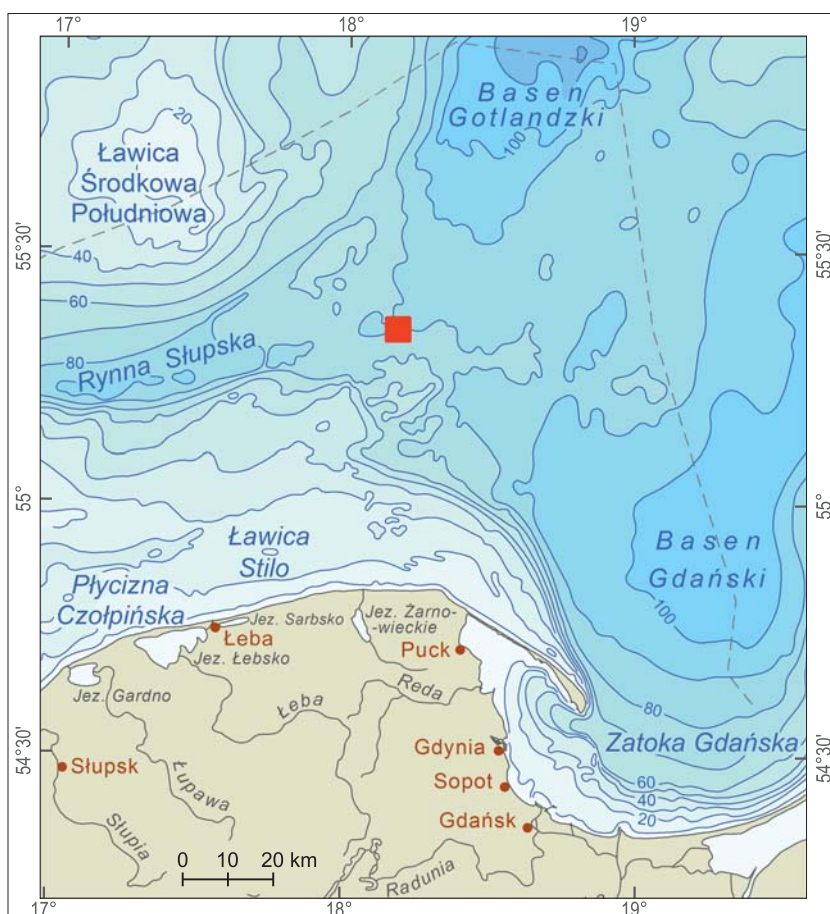
Potrzeba ta wynika również z faktu, że kongrecje Fe-Mn mogą być źródłem cennych metali, uznawanych za krytyczne dla rozwoju niskoemisyjnej gospodarki oraz nowoczesnych technologii w Unii Europejskiej. Nowe wyzwania podejmowane przez Komisję Europejską, m.in. inicjatywa Europejskiego Zielonego Ładu (ang. *European Green Deal*), wymuszają na krajach wspólnoty redukcję emisji gazów cieplarnianych o 50–55% do 2030 r. (Komunikat Komisji, 2019). W 2050 r. Europa ma się stać pierwszym kontynentem neutralnym klimatycznie. Rozwój czystych technologii wymaga zrównoważonego rozwoju opartego na *metalach przyszłości*: Li, REE, Re, Nb, Ta, które są wykorzystywane do produkcji m.in.: silnych magnesów znajdujących zastosowanie w turbinach elektrowni wiatrowych, baterii i akumulatorów w samochodach elektrycznych. Zapewnienie stałej podaży oraz dostępu do surowców staje się zatem wyzwaniem Unii Europejskiej, w tym Polski. Proponowane strategię, m.in. Komisji Europejskiej oraz współpracującego z nią stowarzyszenia europejskich służb geologicznych EuroGeoSurveys (<https://www.eurogeosurveys.org/>), zakładają ponowną inwentaryzację geopotencjału surowcowego Europy, zwiększenie wykorzystania surowców wtórnych w ramach strategii *circular economy* i *zero-waste* oraz rozpoznanie potencjału surowcowego mórz otaczających kontynent europejski.

Wyzwania rozwojowe oraz gospodarcze Polski stawiane m.in.: w Strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.), Programie Rozwoju Elektromobilności, Polityce Energetycznej Polski, Polityce Surowcowej Państwa, uzasadniają podjęcie działań zmierzających do zapewnienia stabilnego dostępu do surowców mineralnych. Efektywna realizacja strategii gospodarczych jest możliwa w przypadku utrzymania niezbędnej podaży surowców ze źródeł własnych, wtórnych oraz zewnętrznych. Potencjalnym krajowym źródłem pozyskiwania cennych metali mogą być kongrecje Fe-Mn występujące na powierzchni dna w polskim sektorze Morza Bałtyckiego.

W ramach współpracy naukowej pomiędzy Instytutem Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego i Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym w 2020 r. zrealizowano dwa rejsy badawcze w rejonie Progu Gotlandzko-Gdańskiego na Morzu Bałtyckim, w trakcie których po raz pierwszy podjęto próbę udokumentowania potencjału ilościowego kongrecji zalegających na dnie oraz określenia prawidłowości ich występowania. W artykule przedstawiono obecny stan wiedzy na temat kongrecji Fe-Mn z polskiej strefy Bałtyku oraz wstępne wyniki z nowo podjętych prac badawczych.

ZARYS HISTORII BADAŃ KONKRECJI Z POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI BAŁTYKU

Pierwsze wzmianki na temat kongrecji z regionu Bałtyku pochodzą z 1922 r., gdy rosyjscy badacze Samożłow i Titow (1922) opisać znalezione na dnie Bałtyku guzowate narośla (ros. *żewłaki*). Pierwszą polską pracą o kongrecjach Fe-Mn w polskiej części Bałtyku przedstawił Pęcherzewski



Ryc. 2. Położenie obszaru badań (czerwony kwadrat) na Bałtyku
Fig. 2. Location of the study area (red square) in the Baltic Sea

(1972), który opisał wstępne wyniki badań nad rozmieszczeniem i składem chemicznym konkrecji, a także podał pierwszą ogólną charakterystykę oraz formę występowania konkrecji Fe-Mn w południowej części Bałtyku.

Szczegółowe dane o mineralogii i geochemii, a także genezie konkrecji bałtyckich opublikowała Kulesza-Owsikowska (1979, 1981). Wskazała na znaczne zróżnicowanie konkrecji Fe-Mn zarówno pod względem formy, budowy, jak i składu mineralno-chemicznego. Z jej badań wynika, że podstawowym warunkiem dla formowania się konkrecji w danym regionie jest powolna sedymentacja utworów terygeniczných. Na podstawie uzyskanych danych oraz analizy badanego materiału Kulesza-Owsikowska (1981) przedstawiła mapę rozmieszczenia i warunki rozwoju konkrecji Fe-Mn. W swojej pracy wskazała na dogodne warunki tworzenia się konkrecji w obszarze biegnącym przez Rynnę Bornholmską i północną część skłonu Basenu Bornholmskiego oraz na progach rozdzielających Basen Bornholmski od Rynny Słupskiej i Rynnę Słupską od Basenów Gdańskiego i Wschodniogotlandzkiego, a także na Ławicy Kłajpedzkiej.

W latach 1976–1990 Państwowy Instytut Geologiczny prowadził na szeroką skalę prace geologiczne na polskich obszarach morskich, podczas których pobrano próbki osadów powierzchniowych na 7500 stacjach badawczych, a w 260 miejscach stwierdzono występowanie konkrecji Fe-Mn. Dane uzyskane podczas tych prac morskich zostały wykorzystane na *Mapie geologicznej dna Bałtyku 1 : 200 000* pod redakcją Mojskiego (1989–1994).

Zebrane wówczas próbki konkrecji posłużyły Trokiewicz (1986, 1987, 1994, 1998) do badań nad genezą,

warunkami tworzenia oraz rozmieszczenia konkrecji Fe-Mn. Trokiewicz (1998) wykazała, że tworzenie się konkrecji w południowym Bałtyku następuje przy współdziałaniu mikroorganizmów. Stan wiedzy o konkrecjach z polskiej strefy Bałtyku podsumował i przedstawił Glasby i in. (1996, 1997). Pierwsze wzmianki na temat koncentracji pierwiastków ziem rzadkich w konkrecjach opisał Szefer i in. (1998), wskazując na zmienność zawartości metali ziem rzadkich w zależności od morfologii oraz warunków powstania konkrecji. Wstępne badania Szamałka i in. (2018) nad koncentracją REE w konkrecjach wskazały na dwa możliwe źródła metali ziem rzadkich:

- fazy mineralne hematyt i goethyt;
- minerały terygeniczne takie jak: cyrkon, monacyt i ksenotym.

REJSY BADAWCZE 2020 I WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ

W dniach 10–15 sierpnia i 22–25 września 2020 r. odbyły się rejsy badawcze na należącym do Uniwersytetu Gdańskiego statku r/v *Oceanograf*, podczas których szczegółowo rozpoznano poligon badawczy o powierzchni 25 km² (5 × 5 km) położony w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej, ok. 60 km na północ od Rozewia w obrębie wyniesienia

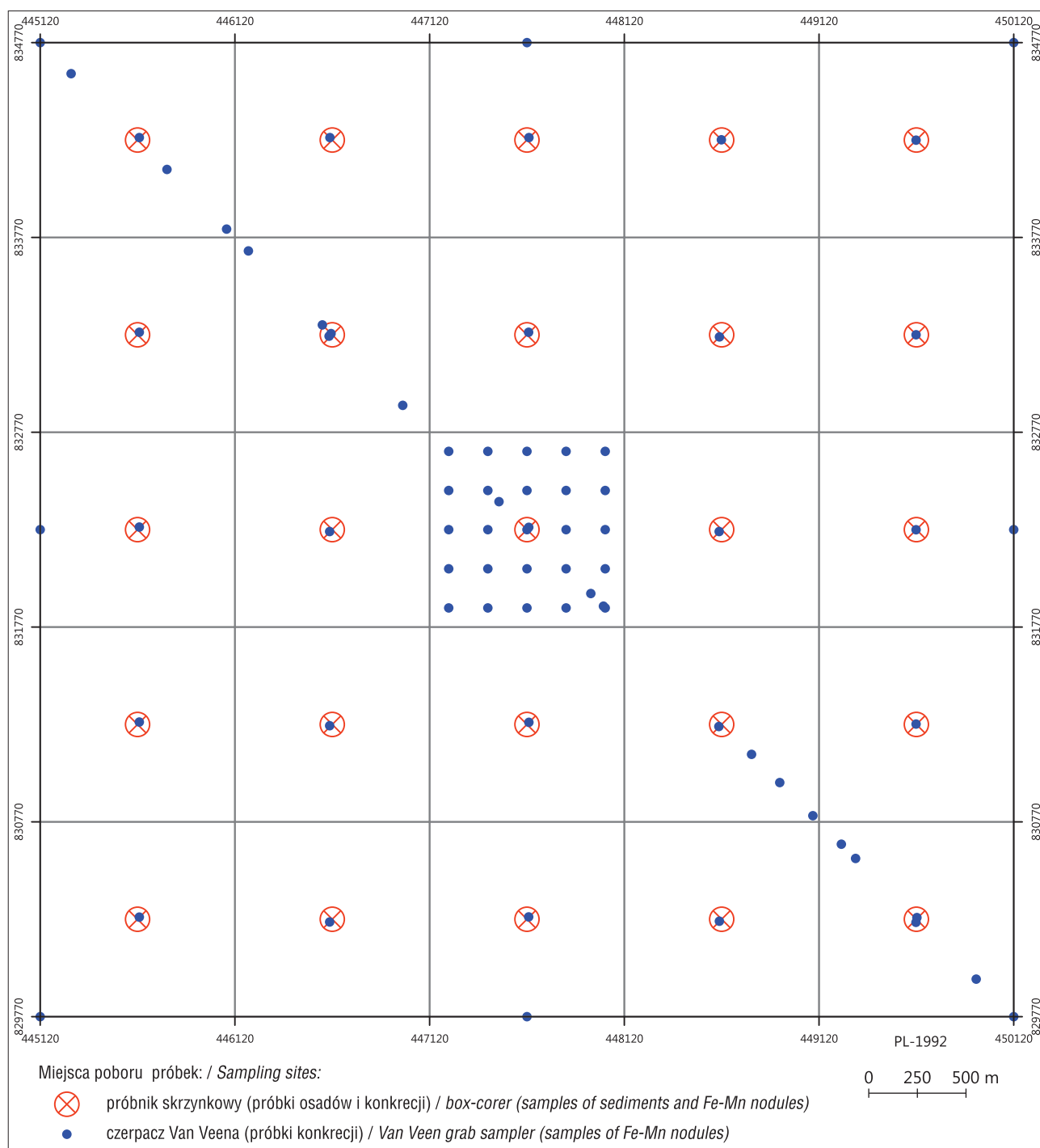
dna morskiego rozdzielającego Basen Gdański od Rynny Słupskiej i Basenu Wschodnio-Gotlandzkiego (ryc. 2). Podczas wcześniejszych prac kartograficznych przeprowadzone przez PIG-PIB (Pikies, 1990) udokumentowano liczne miejsca występowania konkrecji żelazowo-manganowych.

Podczas pierwszego rejsu (10–15 sierpnia 2020 r.) przy udziale firmy *Geo Ingenieurservice Polska* wykonano profilowanie z użyciem echosondy wielowiązkowej Reson model SeaBat 7125 SV2 i sonaru bocznego Edge Tech model 4200. W trakcie drugiego rejsu (22–25 września 2020 r.) pobrano próbki osadów i konkrecji Fe-Mn. Próbkę osadów o strukturze nienaruszonej pobierano w siatce 1 × 1 km (1 punkt poboru na 1 km²), przy użyciu próbnika skrzynkowego (box-corer, KC Denmark A/S model 80.000), z dna o powierzchni 600 cm² i do głębokości 0,5 m, poniżej powierzchni dna oraz za pomocą czerpaka typu Van Veena zbierającego osad z powierzchni 1000 cm² (ryc. 3).

Z próbnika skrzynkowego pobierano próbki konkrecji (tab. 1) i osadów powierzchniowych oraz podścielających je glin ilastych (subakwalnych). Z czerpaka Van Veena pobierano tylko konkrecje (tab. 1).

Pobrano w ten sposób 25 próbek glin ilastych, 25 próbek osadów powierzchniowych i 50 próbek konkrecji na 25 stacjach badawczych. Ponadto, w celu uszczegółowienia informacji o zróżnicowaniu ilości konkrecji i ewentualnych uwarunkowań ich występowania od form rzeźby dna, za pomocą czerpaka Van Veena pobrano próbki konkrecji na dodatkowych stacjach badawczych (ryc. 3):

- 25 próbek na obszarze 1 km² (w siatce 200 × 200 m);



Ryc. 3. Mapa dokumentacyjna miejsc poboru próbek konkrecji Fe-Mn i osadów
 Fig. 3. Documentation map of Fe-Mn nodules and sediments sampling sites

Tab. 1. Lokalizacja wybranych miejsc poboru próbek konkrecji
 Table 1. Location of selected sampling sites of nodules

Pole Area	Lokalizacja Location		Głębokość [m] Depth [m]	Masa próbek [g] Weight [g]	Próbnik Sampler
	φ	λ			
K04	55°20,480'N	18°8,540'E	81,85	29,47	box-corer, KC Denmark A/S model 80.000
K15	55°19,954'N	18°10,444'E	77,61	22,50	
K25	55°19,966'N	18°12'335'E	74,29	27,24	
VK01	55°22,103'N	18°8,515'E	79,74	235,69	Van Veen
VK17	55°21,571'N	18°11,346'E	79,00	223,12	
VH25	55°19,957'N	18°12,335'E	74,68	28,418	

– 17 próbek z wzniesień i zagłębień dna wzdłuż wyznaczonego profilu batymetrycznego;

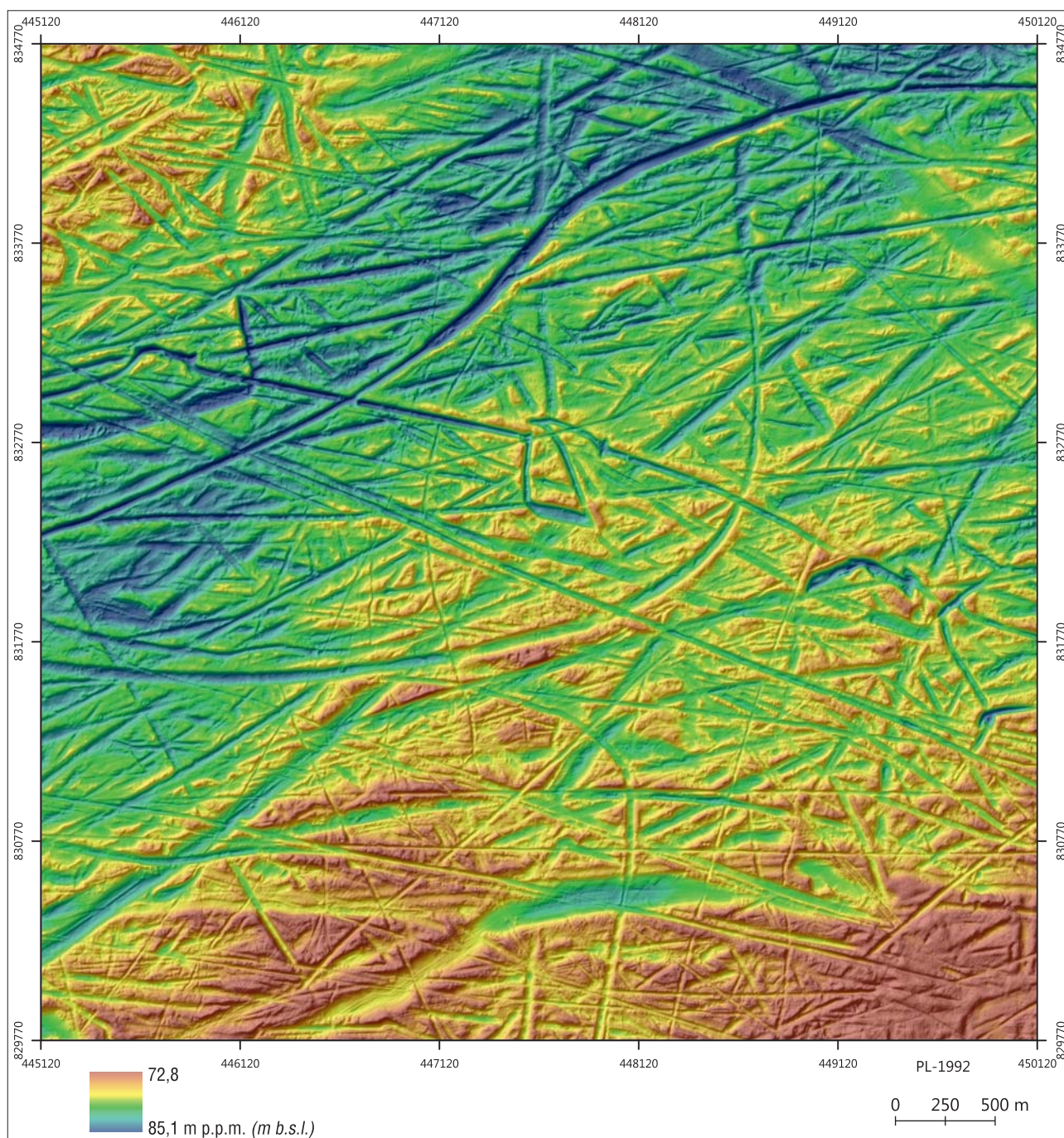
– 8 próbek kongrecji na granicach poligonu.

W każdym przypadku zbierano wszystkie kongrecje, przemywając osad na sicie o wymiarze oczka 10 mm. Efektem profilowania za pomocą echosondy wielowiązkowej i sonaru bocznego było uzyskanie cyfrowego rozdzielczego modelu rzeźby dna oraz mozaiki sonarowej odzwierciedlającej rodzaj i rozmieszczenie osadów klastycznych na powierzchni dna.

Rzeźba dna badanego obszaru jest wyjątkowo urozmaicona; lokalne deniwelacje dochodzą do 6 m, a nachylenia zboczy do ok. 70° (ryc. 4). We wcześniejszych pracach (np. Pikies, 1990) ten rodzaj rzeźby dna określano jako pagórki moren subakwalnych, a ich genezę przypisywano

nierównomiernej akumulacji, m.in. podczas wytapiania się pod wodą brył martwego lodu (Uściłowicz, Zachowicz, 1991, 1994).

Opisy makroskopowe monolitów osadów uzyskanych za pomocą próbnika skrzynkowego (ryc. 5) potwierdzają wcześniejsze informacje o strukturze przypowierzchniowych warstw dna w rejonach występowania kongrecji żelazowo-manganowych (Uściłowicz, 2014). Na powierzchni dna występuje bardzo cienka, wynosząca od kilku do ok. 20 cm warstwa osadów piaszczysto-mulistych i/lub mikstytów, tj. źle wysortowanych osadów piaszczysto-żwirowo-mulastych. W górnej strefie tej warstwy pojawia się niezbyt miąższa (ok. 1–4 cm) warstwa z kongrecjami Fe-Mn. Niżej zalegają na ogół gliny ilaste subakwalne, lokalnie również ility wczesnych faz rozwojowych Bałtyku. Położenie



Ryc. 4. Cyfrowy model rzeźby powierzchni dna badanego obszaru

Fig. 4. Digital relief model of seabed in the study area



Ryc. 5. Przekrój przez monolit osadu uzyskany przy pomocy próbnika skrzynkowego: 1 – ilaste gliny subakwalne, 2 – piaski muliste, 3 – mikstyty z konkrecjami Fe-Mn

Fig. 5. Cross-section through a monolith of sediments taken by a box-corer: 1 – subaquial clayey till (Southern Baltic diamicton), 2 – muddy sand, 3 – mixtites with Fe-Mn nodules

badanego poligonu w strefie głębokości 75–85 m, a więc w strefie kontaktu piknokliny z dnem morskim, wyjątkowo cienka warstwa osadów współczesnych oraz ich uziarnienie wskazują na występowanie fal wewnętrznych i prądów przydennych o prędkościach uniemożliwiających depozycję osadów, a tym samym tworzących warunki sprzyjające powstawaniu konkrecji Fe-Mn.

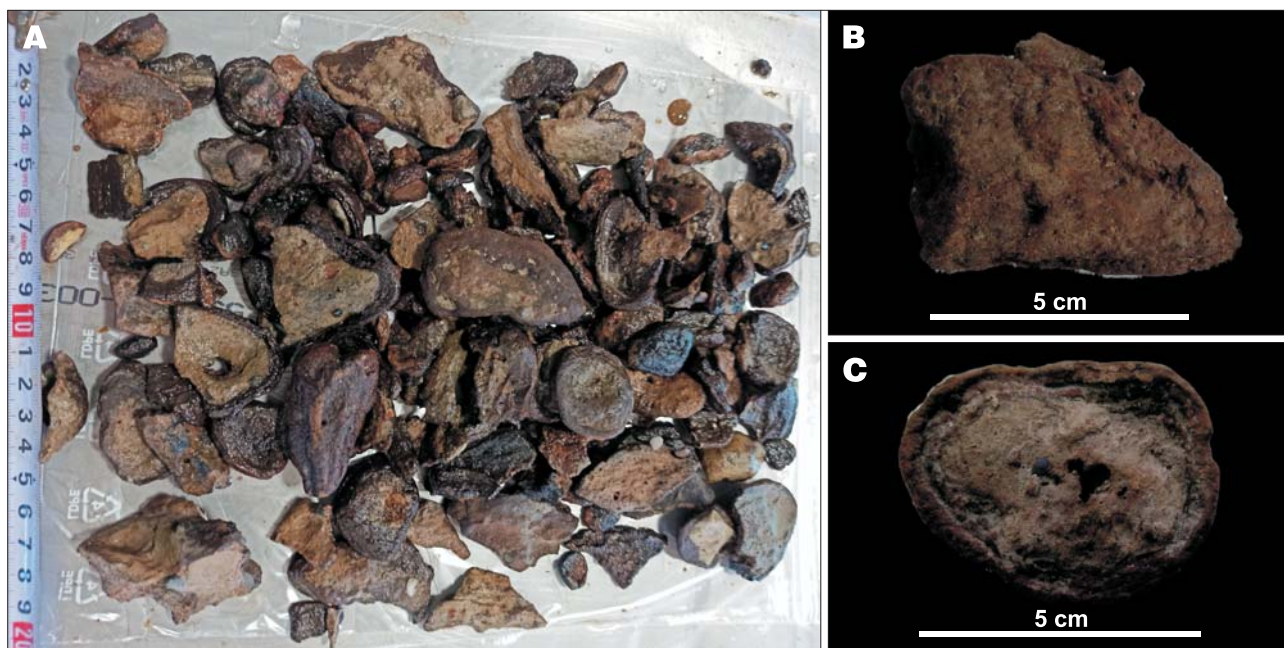
Ilość konkrecji w obrębie poligonu badawczego jest mocno zróżnicowana i wynosi od kilku do kilkudziesięciu sztuk na 0,1 m². Równie zróżnicowane są ich wielkości i kształty. Dominują konkrecje o nieregularnych formach (wśród nich *uchokształtne*) oraz nieregularne naskorupienia na żwirach i otczakach. Rzadziej występują konkrecje o kształtach miseczkowatych czy dyskooidalnych (ryc. 6).

ZNACZENIE BADAŃ KONKRECJI BAŁTYCKICH

Konkrecje z południowego Bałtyku były przedmiotem licznych badań mineralogicznych oraz chemicznych od lat 60. XX w. Jednakże obecny stan wiedzy o konkrecjach z polskiej strefy Bałtyku nie odpowiada wciąż na pytania dotyczące:

- warunków geologiczno-środowiskowych powstawania i występowania konkrecji,
- dystrybucji na powierzchni dna,
- wielkości zasobów,
- potencjału złożowego konkrecji.

Badania wykonywane przez Państwowy Instytut Geologiczny – PIB we współpracy z Instytutem Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego mają prowadzić do określenia prawidłowości występowania tego dotychczas najmniej rozpoznanego składnika ekosystemu południowej części Morza Bałtyckiego, jakim są konkrecje Fe-Mn. Podjęcie badań zmienności mineralno-geochemicznej i generacji przyrostu w konkrecjach bałtyckich, tj. wyraźnie różniących się zespołów koncentrycznych mikrolamin otaczających jądra konkrecji, mogą pozwolić na identyfikację przerw w akumulacji oraz tempa przyrostu konkrecji.



Rys. 6. A – przykłady zróżnicowania kształtów i wielkości konkrecji Fe-Mn pobranych ze stacji badawczej nr 5, B – konkrecja nieregularna, C – konkrecja elipsoidalna

Fig. 6. A – examples of diversity of Fe-Mn nodule shapes and sizes from the sampling site No. 5, B – irregular nodule, C – ellipsoidal nodule

Konkrecje Fe-Mn oraz liczne formy naskorupień mogą być przyszłym źródłem metali o znaczeniu strategicznym. Wyniki analiz (Szamałek i in., 2018) wskazują na podwyższone koncentracje metali z listy surowców krytycznych (ang. *critical raw materials* – CRM) (Komunikat Komisji, 2020), m.in.: litu do 234 ppm oraz strontu do 631 ppm, przy średnich wartościach dla tych pierwiastków dla górnej skorupy kontynentalnej odpowiednio – 21 ppm i 320 ppm, (Rudnick, Gao, 2003). Rozwój nowych technik badawczych oraz metod eksploracyjnych nie wyklucza potencjalnego wydobywania konkrecji bałtyckich z powierzchni dna. Pierwsze prace eksploracyjno-badawcze w rosyjskim sektorze Morza Bałtyckiego zostały wykonane przez VSEGEI (ros. *Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Geologicheskii Institut Im. A.P. Karpinskogo*). Ustalono, że nagromadzenie konkrecji w Zatoce Fińskiej wynosi do 50–60 kg/m². Podczas prac wydobyto ponad 60 tys. t konkrecji z powierzchni dna (Ryabchuk i in., 2017). Prace te były prowadzone w celu ustalenia technologii przerobu konkrecji, a także możliwości ekstrakcji metali. Brak danych z polskiego sektora stwarza konieczność szczegółowego rozpoznania potencjału zasobowego oraz dystrybucji konkrecji na powierzchni dna Bałtyku.

Konkrecje Fe-Mn mogą stanowić ważny indyktor zanieczyszczenia wód przydennych Morza Bałtyckiego. Szybkie tempo przyrostu konkrecji (do 0,1 mm na rok) oraz koncentryczny przyrost pozwala na ustalenie zmian zawartości metali ciężkich w środowisku wodnym. Współczesne *świeże* warstwy mogą zawierać zapis antropogenicznych zanieczyszczeń metalami ciężkimi (Hlawatsch, 1999). Zespoły mikrolamin w wyróżnionych generacjach mogą być indykatorem zanieczyszczenia wód przydennych, m.in. mikroplastikiem, i zmian klimatycznych. Problem ten nigdy nie był przedmiotem badań. Nagromadzenia konkrecji zalegających na dnie Morza Bałtyckiego mogą stanowić ważne źródło metali o znaczeniu strategicznym (REE, Co, Ni, Li), w szczególności dla rozwoju zielonej transformacji oraz zaawansowanych technologii. Ponadto stan wiedzy o zasobach metali w konkrecjach znacząco odbiega od stanu wiedzy o nagromadzeniach metali w utworach lądowych Polski. Obecnie na świecie przez wiele państw są prowadzone intensywne badania surowcowe zarówno na obszarach morskich pod jurysdykcją państw nadbrzeżnych, jak i w wodach oceanu otwartego (Szamałek, 2018a, b). Stwarza to potrzebę prowadzenia takich badań również przez Polskę. Warto podkreślić, że po raz pierwszy do *Bilansu perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r.* (Szamałek i in., 2020) wprowadzono rozdział o zasobach kopalin podmorskich, w tym konkrecji (Kramarska, Szamałek, 2020). Należy ten trend rozwoju badań i zainteresowań kontynuować w najbliższych latach.

PODSUMOWANIE

Konkrecje bałtyckie są przedmiotem intensywnych prac badawczych od ponad 50 lat. Jednakże te znajdujące się w polskim sektorze Morza Bałtyckiego są najmniej zbadanym elementem środowiska naturalnego. W ramach współpracy Państwowego Instytutu Geologicznego oraz Uniwersytetu Gdańskiego podjęto działania zmierzające do:

- rozpoznania warunków geologiczno-środowiskowych formowania się konkrecji,
- dystrybucji konkrecji na powierzchni dna,

- wielkości zasobów,
- oszacowania potencjału złożowego konkrecji.

Podczas prac morskich z poligonu badawczego na 25 stacjach badawczych pobrano: 25 próbek skał ilastych z płytowego podłoża dna, 25 próbek osadów powierzchniowych i 50 próbek konkrecji. Masa uzysku konkrecji z czerpaka Van Veena w zależności od miejsca poboru wynosiła od ok. 50 g do 1 kg. Konkrecje Fe-Mn mogą stanowić ważne źródło cennych metali, m.in.: REE, Li, Co. Wyzwania rozwojowe oraz gospodarcze Polski będą wymagać znacznego wykorzystania metali uznawanych w UE za krytyczne. Realizacja takich działań wymaga stałego dostępu podaży tych metali. Potencjalnym nowym źródłem mogą być konkrecje Fe-Mn występujące w polskim sektorze Morza Bałtyckiego. W tym celu niezbędne jest przeprowadzenie prac morskich, które umożliwią ustalenie gęstości pokrycia dna konkrecjami, zawartości metali głównych, metali krytycznych oraz interwału głębokości zalegania konkrecji. Określenie tych wskaźników umożliwi oszacowanie zasobów konkrecji i zawartych w nich metali Co, REE, Li, Cu i innych. Uzyskane dane pozwolą na opracowanie analiz środowiskowych uwarunkowań potencjalnego zagospodarowania konkrecji bałtyckich. Konkrecje Fe-Mn mogą być również ważnym wskaźnikiem zanieczyszczeń wód przydennych, m.in. metalami ciężkimi, węglowodorami oraz mikroplastikiem.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne uwagi i komentarze, które przyczyniły się do opracowania ostatecznej wersji artykułu.

LITERATURA

- BATURIN G.N. 2009 – Geochemistry of Ferromanganese Nodules in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Lithol. Min. Res.*, 44 (5): 411–426.
- GLASBY G.P., UŚCINOWICZ SZ., SOCHAN J.A. 1996 – Marine ferromanganese concretions from Polish Exclusive Economic Zone: Influence of major inflows of North Sea water. *Marin. Georesour. Geotech.*, 14: 335–352.
- GLASBY G.P., EMELYANOV E.M., ZHAMOIDA V.A., BATURIN G.N., LEIPE T., BAHLO R., BONACKER P. 1997 – Environments formation of ferromanganese concretions in the Baltic Sea: a critical review. [W:] Nicholson K., Hein J.R., Bühn B., Dasgupta S. (red.), *Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 119: 213–237.
- GONZÁLEZ F.J., SOMOZA L., LEON R., MEDIALDEA T., de TORRES T., ORTIZ J.E., LUNAR R., MARTINEZ-FRIAS J., MERINERO R. 2012 – Ferromanganese nodules and micro-hard-grounds associated with the Cadiz Contourite Channel (NE Atlantic): palaeoenvironmental records of fluid venting and bottom currents. *Chem. Geol.*, 310–311: 56–78.
- GORSZKOWA T.I. 1963 – Donnye otłożenia Bałtyjskogo Moria. *Baltica*, 5 (1): 189–210.
- HLAWATSCH S. 1999 – Mn-Fe akkumulate als indikator für schadung nährstoffflüsse in der westlichen Ostsee. *Geomar Report*, 85, Kiel: 132.
- HLAWATSCH S., GARBE-SCHONBERG C.D., LECHTENBERG F., MANCEAU A., TAMURAN., KULIK D.A., KERSTEN M. 2002a – Trace metal fluxes to ferromanganese nodules from the western Baltic Sea as a record for long-term environmental changes. *Chem. Geol.*, 182: 697–709.
- HLAWATSCH S., NEUMANN T., VAN DEN BERG C.M.G., KERSTEN M., HARFF J., SUESS E. 2002b – Fast-growing, shallow-water ferromanganese nodules from the western Baltic Sea: origin and modes of trace element incorporation. *Marin. Geol.*, 182: 373–387. <https://www.eurogeosurveys.org/>
- INGRI J., PONTER C. 1986 – Scavenging properties of ferromanganese nodules in the Gulf of Bothnia. *Rapp. P.-v. Rêun. Cons. int. Explor. Mer.*, 186: 234–243.
- KOMISJA EUROPEJSKA. 2019 – Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. Bruksela, dnia 11.12.2019 r. COM(2019) 640 final.
- KOMISJA EUROPEJSKA. 2020 – Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Odporność w zakresie surowców krytycz-

- ných: wytyczanie drogi do większego bezpieczeństwa i bardziej zrównoważonego rozwoju. Bruksela, dnia 3.9.2020. COM(2020) 474 final.
- KRAMARSKA R., SZAMAŁEK K. 2020 – Kopaliny podmorskie. [W:] Szamałek K., Szufflicki M., Mizerski W. (red.), Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 415–422.
- KUHN T., WEGORZEWSKI A., RÜHLEMANN C., VINK A. 2017 – Composition, Formation, and Occurrence of Polymetallic Nodules. [W:] Sharma R. (red.), Deep-Sea Mining. Res. Potent., Tech. Environ. Considerat., 23–64. Springer, Switzerland.
- KULESZA-OWSIKOWSKA G. 1979 – Iron concretions from the Southern Baltic. Bull. Pol. Acad. Sci., 7 (3–4): 137–141.
- KULESZA-OWSIKOWSKA G. 1981 – Studium mineralogiczno-geochemiczne конкреcji żelazowo-manganowych Południowego Bałtyku. Arch. Mineralog., 37 (1): 149–211.
- MANHEIM F.T. 1961 – A geochemical profile in the Baltic Sea. Geochim. et Cosmochim. Acta, 25: 52–70.
- MORGAN Ch. i in. (red.) 2010 – A geological model of polymetallic nodule deposits in the Clarion Clipperton Fracture Zone. ISA, Technical Study, 6, Kingston, Jamaica: 1–105.
- MOJSKI J.E. (red.) 1989–1994. Mapa geologiczna dna Bałtyku 1 : 200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PEŁCZERZEWSKI K. 1972 – Wyniki wstępnych badań nad rozmieszczeniem i składem chemicznym конкреcji w Południowym Bałtyku. Zesz. Nauk. Wydz. Biologii i Nauk o Ziemi UG, Oceanografia, 1: 41–51.
- PIKIES R. 1990 – Mapa geologiczna dna Bałtyku 1 : 200 000, ark. Basen Gotlandzki. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RUDNICK R.L., GAO S. 2003 – Composition of the Continental Crust. [W:] Rudnick R.L. (red.), The Crust, 3, Elsevier.
- RYABCHUK D., ZHAMOIDA V., GRIGORIEV A., SERGEEV A. Yu., NEEVIN I.A. 2017 – Mineral Resources Extracion in the Russian Sector of the Baltic Sea and Impact of Underwater Mining on Geological Environment. Helcom Pressure 6–2017, (25–27.04.2017) VSEGEI, St. Petersburg Russia.
- SAMOILOV I.V., TITOV A.G. 1922 – Ferromanganese Nodules from Bottom Sediments of the Black, Baltic, and Barents Seas, Trudy Geol. Mineral. Muzeya, 3: 25–112.
- SZAMAŁEK K. 2018a – Udział Polski w pracach Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego. Prz. Geol., 66 (3): 185–188.
- SZAMAŁEK K. 2018b – Stan rozpoznania oceanicznych zasobów mineralnych. Prz. Geol., 66 (3): 189–194.
- SZAMAŁEK K., UŚCINOWICZ Sz., ZGLINICKI K. 2018 – Rare earth elements in Fe-Mn nodules from southern Baltic Sea – a preliminary study. Biul. Państw. Inst. Geol., 472: 199–212.
- SZAMAŁEK K., SZUFLICKI M., MIZERSKI W. (red.) 2020 – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r. PIG-PIB Warszawa. 475 s. + załączniki mapowe.
- SZEFER P., GLASBY G.P., KUNZENDORF H., GÖRLICH E.A., LATKA K., IKUTA K., ALI A. 1998 – The distribution of rare earth and other elements and the mineralogy of the iron oxyhydroxide phase in marine ferromanganese concretions from within Slupsk Furrow in the southern Baltic. Appl. Geochem., 13 (3): 305–312.
- TROKOWICZ D. 1986 – Skład mineralny i chemiczny конкреcji żelazowo-manganowych Bałtyku Południowego. Seminarium „Intermorego” RWPg. Badania składu i warunków powstawania конкреcji żelazowo-manganowych Oceanu Spokojnego (27.10–1.11.1986). Kutna Hora, CSRS.
- TROKOWICZ D. 1987 – Mineralnyj i chemiczeskij sostaw żelezo-margancewych конкреcji czasti Baltijskogo moria. Inform. Bull. Ustaw Nerostnych, 1–2: 29–34.
- TROKOWICZ D. 1994 – Geneza конкреcji Fe-Mn Morza Bałtyckiego. Posiedzenia Nauk. Państw. Inst. Geol., 50 (2): 133–134.
- TROKOWICZ D. 1998 – Genesis of Ferromanganese Nodule in the Baltic Sea. Pr. Państw. Inst. Geol., 163: 5–61.
- UŚCINOWICZ Sz. 2014 – Baltic Sea Continental Shelf. [W:] Chiocci F., Chivas A. (red.), Continental Shelves of the World, Their Evolution During Last Glacio-Eustatic Cycle. Geol. Soc. Mem., 41: 69–89.
- UŚCINOWICZ Sz., ZACHOWICZ J. 1991 – Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku, 1 : 200 000, ark. Łeba, Słupsk. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 1–55.
- UŚCINOWICZ Sz., ZACHOWICZ J. 1994 – Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku 1 : 200 000, ark.: Gdańsk, Elbląg, Głębka Gdańska. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 1–65.
- VERESHCHAGIN O.S., PEROVA E.N., BRUSNITSYN, A.I., ERSHOVA V.B., KHUDOLEY A.K., SHILOVSKIKH V.V., MOLCHANOVA E.V. 2019 – Ferromanganese nodules from the Kara Sea: Mineralogy, geochemistry and genesis. Ore Geol. Rev., 106: 192–204.
- WINTERHALTER B. 1966 – Iron-manganese concretions from the Gulf of Bothnia and the Gulf of Finland. Geoteknillisia julkaisuja, Geologinen tutkimuslaitos, 69: 1–77.
- WINTERHALTER B., SIIVOLA J. 1967 – An electron microprobe study of the distribution of iron, manganese, and phosphorus in concretions from the Gulf of Bothnia, northern Baltic Sea. Comptes Rendus de la Societe Geologique de la Finlande, 39: 161–172.
- ZHAMOIDA V., GRIGORIEV A., GRUZDOV K., RYABCHUK D. 2007 – The influence of ferromanganese concretions forming processes in the eastern Gulf of Finland on the marine environment. [W:] Valliu H. (red.), Holocene sedimentary environment and sediment geochemistry of the Eastern Gulf of Finland. Geol. Surv. Fin., Spec. Pap., 45: 21–32.
- ZHONG Y., CHEN Z., GONZÁLEZ F.J., HEIN J.R., ZHENG X., Li G., LUO Y., MO A., TIAN Y., WANG S. 2017 – Composition and Genesis of ferromanganese depositis from the northern South China Sea. J. Asian Earth Sci., 138: 110–128.

Praca wpłynęła do redakcji 28.12.2020 r.
Akceptowano do druku 5.03.2021 r.