



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
JEDNOSTKA BADAWCZO-ROZWOJOWA, Krajowy Rejestr Sądowy 0000122099
00-975 Warszawa, ul. Rakowiecka 4, tel. centrala: (0-22) 849 53 51, fax: (0-22) 849 53 42
Dyrektor: (0-22) 849 50 96, fax: (0-22) 849 49 21; komertel: (0-22) 848 25 26; www.pgi.gov.pl
BPH PBK SA O/W-wa 79 1060 0076 0000 4010 2000 2100, NIP 525-000-80-40, REGON 000332133

**ATLAS PARAMETRÓW LITOLOGICZNYCH
OSADÓW POWIERZCHNIOWYCH POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU
ze szczególnym uwzględnieniem geologiczno-górnicznych warunków
występowania surowców okruchowych**

Kierownik zadania:

.....
mgr Regina Kramarska

Opracowali:

mgr Wojciech Jegliński

mgr inż. Leszek Jurys
uprawn. nr II – 1324; VIII – 0085

mgr Regina Kramarska

dr Piotr Przędziecki

dr hab. Szymon Uścińowicz

dr Joanna Zachowicz

DYREKTOR
Oddziału Geologii Morza
Państwowego Instytutu
Geologicznego

.....
dr Joanna Zachowicz



Praca wykonana na zamówienie
MINISTRA ŚRODOWISKA



Sfinansowano ze środków wypłaconych przez
NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY
ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP — <i>Regina Kramarska</i>	4
2. MATERIAŁY DOKUMENTACYJNE I METODYKA WYKONANIA MAP — <i>Piotr Przędziecki, Wojciech Jegliński</i>	6
3. CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW LITOLÓGICZNYCH — <i>Regina Kramarska, Szymon Uścińowicz</i>	7
3.1. SKŁAD ZIARNOWY OSADÓW I PARAMETRY UZIARNIENIA — <i>Regina Kramarska</i>	10
3.2. MINERAŁY CIĘŻKIE — <i>Regina Kramarska</i>	15
4. ZŁOŻA SUROWCÓW OKRUCHOWYCH I GÓRNICCTWO KOPALIN	
4.1. KRUSZYWO PIASKOWO-ŻWIROWE — <i>Regina Kramarska, Leszek Jurys</i>	20
5. PERSPEKTYWY I PROGNOZY WYSTĘPOWANIA KOPALIN — <i>Regina Kramarska</i>	24
5.1. KRUSZYWO PIASKOWO-ŻWIROWE	25
5.2. KRUSZYWO PIASKOWE	26
5.3. PIASKI SZKLARSKIE I FORMIERSKIE	27
5.4. MINERAŁY CIĘŻKIE	28
5.5. BURSZTYN	30
5.6. PROPONOWANE GRANICE BŁOKÓW KONCESYJNYCH	31
6. OCHRONA PRZYRODY — <i>Joanna Zachowicz</i>	32
7. ELEMENTY INFRASTRUKTURY TECHNICZNEJ — <i>Piotr Przędziecki, Joanna Zachowicz</i>	33
8. LITERATURA	38

SPIS TABLIC

1. Punkty opróbowania osadów na zawartość frakcji ziarnowych
2. Frakcja >2 mm
3. Frakcja 1,0–2,0 mm
4. Frakcja 0,5–1,0 mm
5. Frakcja 0,25–0,5 mm
6. Frakcja 0,125–0,25 mm
7. Frakcja 0,063–0,125 mm
8. Frakcja <0,063 mm
9. Średnia średnica ziarn (M_z)
10. Wysortowanie osadów (σ_i)
11. Punkty opróbowania osadów na zawartość i skład minerałów ciężkich
12. Minerale ciężkie we frakcji 0,25–0,125 mm
13. Minerale nieprzezroczyste we frakcji 0,25–0,125 mm
14. Rutyl we frakcji 0,25–0,125 mm
15. Cyrkon we frakcji 0,25–0,125 mm
16. Granaty we frakcji 0,25–0,125 mm
17. Złoża i obszary perspektywiczne surowców okruchowych

SPIS TABEL W TEKŚCIE

1. Złoża kopalin i ich charakterystyka gospodarcza
2. Parametry geologiczno-górnictwowe złóż i jakościowe kruszywa piaskowo-żwirowego
3. Wykaz obszarów prognostycznych występowania minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej

1. WSTĘP

Atlas parametrów litologicznych osadów powierzchniowych południowego Bałtyku ze szczególnym uwzględnieniem geologiczno-górnictwowych warunków występowania surowców okruchowych wykonany został w Oddziale Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego na podstawie umowy trójstronnej Nr 686/2002/Wn – 07/FG – sm – tx/D z dnia 26.11.2002 r. i Aneksu Nr 1/219/2004 z dnia 14.10.2004 r. zawartej pomiędzy Ministrem Środowiska, Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej a Państwowym Instytutem Geologicznym.

Z założeń opracowania Atlasu wynikają dwa cele badawcze. Podstawowym celem jest przedstawienie cech litologicznych osadów powierzchniowych południowego Bałtyku, z wykorzystaniem cyfrowej techniki przetwarzania danych, dla stworzenia podstaw do poszukiwania surowców okruchowych w polskich obszarach morskich. Drugim istotnym aspektem zadania jest określenie stabilności i stopnia odnawialności morskich złóż kruszywa oraz zbadanie stanu środowiska, w aspekcie zmian sedymentologicznych, w obrębie złóż eksploatowanych.

Podjęcie realizacji zadania „Atlas parametrów litologicznych osadów powierzchniowych południowego Bałtyku ze szczególnym uwzględnieniem geologiczno-górnictwowych warunków występowania surowców okruchowych” jest okazją do podsumowania istniejącego stanu rozpoznania litologii osadów dna Bałtyku i wynika z przewidywanego wzrostu zapotrzebowania na morskie surowce okruchowe, podobnie jak ma to miejsce w państwach Unii Europejskiej, gdzie wydobywanie piasków i żwiru z dna morskiego prowadzone jest na szeroką skalę. Rozpoznane polskich obszarach morskich złoża żwirowo-piaszczyste, o udokumentowanych zasobach bilansowych, zostały już częściowo poddane postępowaniu koncesyjnemu i są eksploatowane, bądź przygotowywane do eksploatacji. Oddzielnym zagadnieniem jest zapotrzebowanie na surowce piaszczyste, głównie do sztucznego zasilania plaż, które jest obecnie dominującym na świecie sposobem ochrony brzegów morskich. Wzrost zapotrzebowania na surowce piaszczyste będzie stałą tendencją ze względu na obserwowane obecnie wzmożone procesy erozji brzegów, wywołane podnoszeniem się poziomu Oceanu Światowego. Sztuczne zasilanie plaż materiałem piaszczystym pozyskiwanym z dna morza jest jedną z metod ochrony brzegów morskich zaproponowaną przez twórców „Strategii ochrony brzegów morskich” (CIEŚLAK, 2000) i przyjętą do realizacji przez Sejm Rzeczypospolitej ustawą o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich” (Dziennik Ustaw Nr 67 poz. 621 z 18 kwietnia 2003 r). Za realizację ustawy odpowiedzialne są Urzędy Morskie. Jakkolwiek zgodnie z obowiązującą od 1 lipca 2005 r. Ustawą z dnia 22 kwietnia 2005 r. o zmianie ustawy – Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2005.90.758), do wykonywania robót związanych ze sztucznym zasilaniem strefy brzegowej piaskiem pochodzącym z osadów dennych obszarów morskich Rzeczypospolitej Polskiej nie stosuje się Prawa geologicznego i górniczego, to dostarczenie

Urzędowi Morskim informacji o miejscach występowania odpowiedniej ilości i jakości piasków zdatnych do zasilania plaż jest w dalszym ciągu ważnym zadaniem geologicznym.

Należy spodziewać się ponadto wykorzystania piasków morskich do innych celów niż zasilanie plaż, na zasadach komercyjnych, np. do rozbudowy nabrzeży portowych, pirsów, czy innych budowli hydrotechnicznych.

Powyższe uzasadnia potrzebę stworzenia podstaw racjonalnego gospodarowania surowcami okruchowymi w środowisku morskim. Jednocześnie, w świetle tendencji rozwoju budownictwa hydrotechnicznego w obszarach morskich (farmy wiatrowe, rurociągi, kable energetyczne itp.) zachodzi konieczność zaktualizowania ewidencji obszarów perspektywicznych występowania surowców okruchowych, dla potrzeb opiniowania lokalizacji planowanych budowli.

Zasadnicza część opracowania ma charakter atlasu, na który składa się 10 map frakcji i parametrów litologicznych osadów powierzchniowych, 4 mapy dotyczące rozsypiskowych nagromadzeń minerałów ciężkich oraz mapa złóż i obszarów perspektywicznych wraz z propozycją bloków koncesyjnych dla poszukiwań surowców okruchowych. Włączone do Atlasu mapy punktów opróbowania osadów dennych pozwalają na ocenę stopnia udokumentowania treści poszczególnych map. Skala robocza poszczególnych map była zróżnicowana, zależna od ilości analizowanych danych, natomiast wydruki map składające się na atlas parametrów litologicznych zostały dostosowane do skali 1:500 000.

Atlas w całości opracowany został w systemie ArcGIS, co umożliwia aktualizację treści map w miarę dopływu nowych danych. Ma to szczególne znaczenie zwłaszcza w odniesieniu do gospodarki złóżami, uściślenia granic obszarów perspektywicznych i granic bloków koncesyjnych oraz dołączania nowych warstw informacyjnych.

Integralną częścią opracowania jest Raport z badań przeprowadzonych na poligonie badawczym założonym na złożu „Ławica Słupska”. Raport ilustrowany jest 16 figurami przedstawiającymi wyniki badań polowych i ich interpretację odnośnie zagadnień dynamiki osadów i zmian rzeźby dna w aspekcie stabilności i odnawialności morskich złóż kruszywa oraz oceny skutków eksploatacji.

2. MATERIAŁY DOKUMENTACYJNE I METODYKA WYKONANIA ATLASU

Materiały kartograficzne przygotowane zostały na podstawie danych archiwalnych zgromadzonych w systemie baz danych NEPTUN Oddziału Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego. Baza NEPTUN jest typową bazą relacyjną zbudowaną w oparciu o pakiet Visual FoxPro. Baza zawiera geodezję punktów dokumentacyjnych, wyniki różnorodnych analiz laboratoryjnych próbek osadów oraz opisy rdzeni i próbek z próbników czerpakowych. Dane odnoszą się do pokrywy kenozoicznej i bezpośredniego podłoża kenozoiku w polskiej strefie Bałtyku i są gromadzone przez Oddział Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego od początku istnienia placówki, tj. od 1968 roku.

Dla sporządzenia map w niniejszym atlasie wykorzystane zostały przede wszystkim wyniki analiz granulometrycznych i mineralogicznych wykonane dla realizacji arkuszy Mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000 a także dane z rozpoznania zasobów surowców okruchowych oraz z prac dokumentacyjnych dla określenia zasobów minerałów ciężkich.

Dla sporządzenia map przygotowano wyciągi z bazy danych w formie plików tekstowych (ASCII), zawierające współrzędne punktów dokumentacyjnych i wyniki analiz. Następnie dane te zostały opracowane w programie EXCEL, poprzez sumowanie odpowiednich kolumn w celu uzyskania wymaganych w opracowaniu przedziałów wartości. Dane geodezyjne zostały przeliczone programem GeoTrans ze współrzędnych geodezyjnych w układzie 1942 (w tej formie dostępne są one w bazie danych NEPTUN) do układu współrzędnych GUGIK 1992. W programie AutoCAD Map przygotowana została elektroniczna wersja wstępnego podkładu map w układzie 1992. Podkład ten przeniesiono następnie – poprzez pliki formatu *.dxf – do programu Surfer 8.0 firmy Golden Software. Podkład zawiera linię brzegową, zewnętrzne granice polskiej strefy Bałtyku, sytuację batymetryczną w cięciu izobat co 5 m, uproszczoną sytuację na brzegu (większe miasta, jeziora i rzeki) oraz maskę ograniczającą modelowany obszar jedynie do powierzchni polskich obszarów morskich.

Mapy zawartości frakcji, wskaźników uziarnienia i zawartości minerałów ciężkich zostały wygenerowane w programie SURFER. Metodą krigingu przygotowano unormowane gridy w siatce 1x1 km, o rozmiarze 225x371, a następnie metodą interpolacji wykonano mapy izoliniowe w skalach 1:100 000, 1:250 000 i 1:500 000 z pełnokolorowymi wydzieleniami. Mapy izoliniowe połączono z podkładem i uzupełniono o wartości interpolowanych wielkości w punktach dokumentacyjnych dla kontroli danych i ewentualnej korekty obrazu. Sprawdzony i skorygowany przebieg izolunii został wyeksportowany do formatu shapefile (SHP) jako geometria liniowa oraz do formatu TIFF jako kolorowe pola. Tak spreparowane dane zostały zaimportowane do środowiska ArcGIS firmy ESRI, w którym gromadzone są w sposób ujednolicony różnorodne dane kartograficzne z obszaru południowego Bałtyku. Wykonano ponowną korektę przebiegu wygenerowanych izolunii w zależności od takich czynników jak: ukształtowanie powierzchni dna, zasięgi występowania osadów, gęstość

opróbowania itp. Następnie zbudowano topologię poligonową oraz dodano atrybuty bazy opisowej. Mapy zostały uzupełnione informacją zawierającą przebieg linii brzegowej, granicę polskich obszarów morskich, batymetrię oraz sytuację na lądzie.

Dla opracowania warstwy *miąższość pokrywy piaszczystej i/lub piaszczysto-żwirowej* wykonano podkład z lokalizacją wierceń i punktów poboru rdzeni wibrosondą. Następnie na podstawie profili rdzeni z bazy danych NEPTUN naniesiono miąższość osadów i dokonano interpolacji przebiegu izolinii, które następnie, analogicznie jak dla map wskaźników uziarnienia, przeniesiono do programu ArcGIS, gdzie poddane zostały końcowej obróbce.

Warstwa *infrastruktura na obszarze polskiej EEZ* została opracowana w programie AutoCAD. Mapa powstała na podstawie danych uzyskanych z Urzędów Morskich oraz częściowo poprzez cyfrowanie morskich map nawigacyjnych we współrzędnych WGS84 i przeliczeniu tak powstałych plików *.dxf do układu GUGIK 1992. Następnie poprzez plik SHP mapa została zaimportowana do ArcGIS, gdzie nastąpiła jej końcowa edycja.

Warstwa *ochrona przyrody* została opracowana na podstawie bazy danych ogólnogeograficznych oraz stosownych rozporządzeń Ministra Środowiska.

Całość danych została zgromadzona w jednej lokalnej strukturze geobazy (ArcGIS personal geodatabase), w której wydzielono odpowiednie klasy obiektów (feature class). Na podstawie tych danych wykonano końcowe wydruki map wraz z objaśnieniami wydzieleni.

3. CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW LITOLOGICZNYCH

Zmienność parametrów litologicznych osadów występujących na powierzchni dna w Morzu Bałtyckim jest przedmiotem stałego zainteresowania sedimentologów zajmujących się analizą facjalną i procesami sedymentacyjnymi zachodzącymi w tym akwenie (PRATJE, 1948; KOLP, 1966; BLASCHISHIN, 1976, UŚCINOWICZ, 1995, 2000). Autorzy wyrażają zgodne poglądy o strefowym rozmieszczeniu osadów na dnie południowego Bałtyku a przebieg procesów sedymentacyjnych jest wiązany z ewolucją basenu bałtyckiego w holocenie, budową geologiczną dna i wybrzeży, rzeźbą dna oraz specyficznymi warunkami hydrologiczno-meteorologicznymi.

Współczesny obraz rzeźby dna oraz zróżnicowanie litologiczne i rozmieszczenie na dnie morskim poszczególnych typów osadów zaczęło kształtować się w morzu litorynowym, podczas transgresji, kiedy to zapoczątkowane zostały procesy abrazji, redepozycji i depozycji. Podstawowe znaczenie w bilansie materiału osadowego dostarczanego do południowego Bałtyku w czasie transgresji miały procesy abrazji w strefie brzegowej, zwłaszcza niszczenie klifów zbudowanych głównie z plejstocęńskich glin i piasków. Niszczony przez abrazję brzegi pozostają również współcześnie głównym źródłem zasilania basenu Morza Bałtyckiego. Mniejsze znaczenie ma materiał osadowy pochodzący z rozmywania dna.

Natomiast istotnym źródłem zasilania są rzeki, w tym szczególnie dużą rolę odgrywa Wisła, dostarczająca materiał osadowy do Basenu Gdańskiego.

W rzeźbie dna południowego Bałtyku zaznaczają się dwa zasadnicze obszary morfometryczne: głębokowodny i płytkowodny (CZEKAŃSKA, 1927, ROSA, 1967, PIKIES, 1995, KRAMARSKA, JEGLIŃSKI, 2001). Obszary te rozdziela połogie zbocze, które w zależności od budowy geologicznej i genezy ma różną szerokość i nachylenie. Obszar płytkowodny południowego Bałtyku rozciąga się od linii brzegowej i sięga najgłębiej po izobatę 60 m. Charakterystycznymi elementami rzeźby dna w obszarze płytkowodnym są płycizny przybrzeżne i ławice. W obrębie polskiej strefy Bałtyku znajduje się Płycizna Czółpińska, wschodni skraj Ławicy Odrzanej, Ławica Słupska i południowa część Południowej Ławicy Środkowej. Najpłycej położona jest Ławica Odrzana – minimalna głębokość morza notowana w południowej części ławicy wynosi około 5 m.

W batymetrii głębokowodnego obszaru rysują się rozległe obniżenia zajęte przez współczesne baseny sedymentacyjne: Bornholmski (maks. głęb. 105 m), Gdański (maks. głęb. 108 m) i Gotlandzki (południowa część, maks. głębokość morza 120 m) oraz Rynną Słupską (maks. głęb. 94 m). Baseny rozdzielają wyniesienia dna zwane progami. Na progu dzielącym Basen Bornholmski od Rynny Słupskiej powierzchnia dna wznosi się do 55–60 m, zaś na rozległym progu gotlandzko-gdańskim położonym pomiędzy Rynną Słupską, Basenem Gotlandzkim i Basenem Gdańskim głębokości morza wynoszą 85–90 m.

Cechy litologiczne osadów występujących na powierzchni dna morskiego są odzwierciedleniem określonych procesów litodynamicznych zachodzących pod wpływem zróżnicowanych procesów hydrodynamicznych – częstotliwości występowania, natężenia i kierunku ruchu mas wodnych. W Bałtyku dominujący wpływ na strefowy rozkład energii przydennych mas wodnych ma stała stratyfikacja gęstościowa oraz falowanie i prądy, w szczególności występujące w czasie sztormów. Położenie warstwy skoku gęstości wód (piknokliny), związanej ze stałą stratyfikacją halinową, jest regionalnie zróżnicowane. W Basenie Bornholmskim piknoklina występuje na głębokości 45–60 m, w Basenie Gdańskim od 60 m do 80 m, a w południowej części Basenu Gotlandzkiego na głębokości 70–90 m (ŁOMNIEWSKI i in., 1975; MAJEWSKI, 1987).

Powyżej piknokliny występują frakcje piaszczyste i żwirowe o średnicach ziarn większych niż 0,063 mm. Procesy hydrodynamiczne zachodzące w tej warstwie wód uniemożliwiają trwałą depozycję frakcji mulisto-ilastych, drobniejszych niż 0,063 mm. Procesy te są zróżnicowane w zależności od głębokości akwenu. W strefie brzegowej, do głębokości około 10 m, w czasie silnych sztormów abradowany jest nie tylko brzeg morski, ale może dochodzić również do rozmywania osadów plejstoceniowych występujących w podłożu osadów morskich, w obrębie podwodnego skłonu brzegowego. Obok abrazji dominującym procesem w tej strefie jest redepozycja ziaren określonej wielkości przez fale przyboju.

Poza strefą brzegową, do głębokości 25–30 m, dno znajduje się w zasięgu oddziaływania przeciętnych fal sztormowych. Dominują tu procesy abrazji w czasie silnych spiętrzeń sztormowych oraz procesy redepozycji. Dla obszarów o przewadze abrazji charakterystyczne są maksymalne koncentracje frakcji żwirowych. Abrazja polega tu na wymywaniu frakcji drobniejszych. W bliskie sąsiedztwo redeponowane są frakcje bardzo grubego i grubego piasku. Ziarna o średnicach 0,25–0,5 mm, podlegające z reguły toczeniu, wynoszone są na nieco większe odległości. Frakcje piaszczyste o średnicach 0,063–0,25 mm migrują po powierzchni dna w formie pól i wstęp piaszczystych i po wielokrotnej redepozycji wydostają się poza strefę oddziaływania fal sztormowych.

Depozycja frakcji o średnicach 0,063–0,25 mm odbywa się w strefie morza położonej poza zasięgiem przeciętnych fal sztormowych, na głębokościach od 25–30 m do górnej granicy piknokliny. Depozycja ma charakter skokowy, prawdopodobnie okresowo frakcje ziarnowe podlegają wielokrotnej redepozycji pod wpływem wyjątkowo silnych spiętrzeń sztormowych.

W obrębie styku piknokliny z dnem morskim, na obrzeżach basenów głębokowodnych zachodzą skomplikowane procesy litodynamiczne. Transport i depozycja frakcji piaszczystych, głównie 0,25–0,063 mm, niekiedy też frakcji grubopiaszczystych i drobnego żwiru (do 4,0 mm), zachodzi tylko okresowo, prawdopodobnie w okresach występowania fal wewnętrznych o odpowiednich parametrach. W okresach zaniku aktywności hydrodynamicznej deponowane są frakcje muliste i ilaste (<0,063 mm).

Złożone procesy litodynamiczne występują również na lokalnych wyniesieniach dna w obrębie basenów głębokowodnych oraz na progach rozdzielających baseny. Występuje tutaj mieszanina frakcji żwirowych, piaszczystych, mułkowych i ilastych, tworząc tzw. mikstyty, którym bardzo często towarzyszą konkrecje żelazowo-manganowe. Mikstyty odznaczają się bardzo małą miąższością – na ogół tworzą pokrywę grubości 5–10 cm. W strefach tworzenia się mikstytów działają prawdopodobnie prądy przydenne. Frakcje żwirowe i piaszczyste pochodzą z rozmycia glin subakwalnych występujących w podłożu. Osady na powierzchni dna powstają w wyniku zmieszania ziaren frakcji piaszczystych i żwirowych transportowanych przez wleczenie i toczenie, z cząstkami mniejszymi niż 0,063 mm deponowanymi z zawiesiny. Okresowo silne prądy powodują, że depozycja cząstek drobniejszych od 0,063 mm jest ograniczona i nietrwała.

Poniżej piknokliny, w bałtyckich basenach głębokowodnych, deponowane są frakcje muliste i ilaste o średnicach poniżej 0,063 mm. Ziarna deponowane są z jednorodnej zawiesiny w spokojnych warunkach hydrodynamicznych. Współczesne tempo sedymentacji w basenach głębokowodnych południowego Bałtyku jest zróżnicowane i waha się od 0,15 do 2,04 mm/rok – wyższe jest w centralnych częściach basenów niż na ich obrzeżach.

3.1. SKŁAD ZIARNOWY OSADÓW I PARAMETRY UZIARNIENIA

Przedstawiona poniżej charakterystyka parametrów litologicznych osadów powierzchni dna uwzględnia przestrzenną zmienność poszczególnych frakcji, głównych wskaźników uziarnienia oraz składników mineralnych i nawiązuje do omówionych wyżej uwarunkowań morfometrycznych i czynników hydrodynamicznych, które decydują o prawidłowościach procesów litodynamicznych. Mapa punktów opróbowania osadów na zawartość frakcji ziarnowych (Tablica 1) i mapa punktów opróbowania osadów na zawartość i skład minerałów ciężkich (Tablica 11) pozwalają ocenić stopień udokumentowania treści poszczególnych map.

Przedziały zawartości poszczególnych frakcji ziarnowych zostały ustalone co 10%, przy czym za najniższą wartość przyjęto 1%, co mieści się w zakresie błędu analizy uziarnienia. Przyjęcie wartości różnej od 0 umożliwiło generowanie izolinii w programie SURFER i pokazanie obszarów odznaczających się brakiem danej frakcji.

Frakcji >2 mm (Tablica 2) odnosi się do frakcji żwirowych, które według klasyfikacji granulometrycznej osadów Morza Bałtyckiego obejmują przedział od 2 do 64 mm. Frakcje żwirowe zajmują ograniczone powierzchnie dna a ich zawartość na przeważającej części obszaru występowania mieści się w przedziale do 10%. Koncentracje frakcji powyżej 10% tworzą izolowane pola. W zachodniej części akwenu frakcje żwirowe koncentrują się w bliskim sąsiedztwie brzegu, najczęściej do głębokości morza 20–25 m. Podwyższone zawartości ziarn żwiru występują też lokalnie w strefie brzegowej, przeważnie u podnóża klifów zbudowanych z glin plejstoceniowych, m.in. w rejonie Rewala (ok. 370 km brzegu), Ustronia Morskiego (ok. 320 km brzegu), a także w rejonie Darłowa w tzw. Zatoce Koszalińskiej. W środkowej części akwenu najwyższe zawartości frakcji żwirowych, do 70%, występują na Ławicy Słupskiej, głównie w rejonie głazowiska i w jego sąsiedztwie, w strefie głębokości morza do 30 m. Pola podwyższonej zawartości frakcji kontynuują się z rejonu Ławicy Słupskiej ku wschodowi w strefę głębokości morza od 30 do 60 m. Frakcje żwirowe występują też w większych ilościach w rejonie Ławicy Stilo, gdzie ich zawartość przekracza miejscami 50%. Na Południowej Ławicy Środkowej największe ilości frakcji żwirowych występują do głębokości morza 30 m. Maksymalna zawartość wynosi tu około 80%. W płytkowodnej strefie Zatoki Gdańskiej frakcje żwirowe występują lokalnie, w ilości do 10%. W rejonie Ławicy Odrzanej a także w obszarze sąsiadującym od południa z Ławicą Słupską brak frakcji żwirowych.

Najwyższe zawartości frakcji żwirowych związane są z płytkim zaleganiem glin morenowych i z pokrywami rezydualnymi o niewielkiej miąższości, najczęściej kilku do kilkunastu centymetrów. Współwystępują wówczas z głazikami i głazami pochodzącymi z rozmycia osadów podłoża plejstoceniowego. Klasycznym przykładem ostańców abrazyjnych i związanych z nimi pokryw rezydualnych jest głazowisko Ławicy Słupskiej i jego najbliższe otoczenie. Część wystąpień frakcji żwirowych związana jest z pokrywami fluwiogłacjalnymi o miąższości najczęściej przekraczającej 1 m. Taki charakter mają wystąpienia na

Południowej Ławicy Środkowej oraz niektóre pola frakcji powyżej 0,5 mm położone na Ławicy Słupskiej, na południowy wschód od głazowiska.

Na progach rozdzielających głębokowodne baseny, w strefie głębokości morza 60–80m, frakcje żwirowe występują najczęściej w ilości kilkunastu procent, lokalnie do 40 %.

Frakcja 1,0–2,0 mm (Tablica 3) jest podstawową frakcją piasku bardzo gruboziarnistego. Tylko w izolowanych, niezbyt licznych polach występuje w ilości powyżej 10%. Maksymalne zawartości współwystępują z frakcjami żwirowymi i związane są z pokrywami żwirowo-piaszczystymi na Ławicy Słupskiej, w sąsiedztwie głazowiska. Lokalne koncentracje, miejscami do 70 %, pojawiają się na wschód od Ławicy Słupskiej i występują do rejonu Ławicy Stilo.

Ciąg pól, w których zawartość frakcji osiąga 20–30%, występuje w pobliżu brzegu, na odcinku od Dziwnowa po Jarosławiec, zwłaszcza na przedpolach klifów.

Analizując zawartość i rozmieszczenie tej frakcji w osadach można mówić o deficycie ziarn w przedziale wielkości 1,0–2,0 mm. Na przeważającej powierzchni dna frakcja występuje w ilości 1–2%, rzadko kilku procent. W strefie płytkowodnej zupełnym jej brakiem odznaczają się duże obszary dna w Zatoce Pomorskiej, na Ławicy Odrzanej i w rejonie Ławicy Słupskiej. Frakcja piasku bardzo gruboziarnistego nie występuje również w podbrzeżu mierzei, zwłaszcza Mierzei Helskiej i Wiślanej.

Frakcja 0,5–1,0 mm (Tablica 4) jest podstawową frakcją piasku gruboziarnistego, o ziarnach w przedziale 0,5–1,0 mm, towarzyszy frakcjom grubszym omówionym wyżej, przy czym jest nieco szerzej rozprzestrzeniona na dnie. Istotne ilości frakcji występują przeważnie do głębokości morza około 30 m, lokalnie do 50 m. Maksymalny udział, około 70%, stwierdzony został w kilku punktach: na przedpolu klifu w Trzęsaczu (południk 15°E), na głębokości morza około 20 m w rejonie Kołobrzegu i na północ od Ustki oraz na południowo-zachodnich krańcach Ławicy Słupskiej i na Ławicy Stilo. Na progach rozdzielających baseny sedymentacyjne i w dnie Rynny Słupskiej frakcja występuje w niewielkiej ilości, do 10 lokalnie 20%. Obecność frakcji 0,5–1,0 mm w tych rejonach – na znacznych głębokościach morza nawet 90 m – związana jest przede wszystkim z erozją osadów podłoża.

Frakcja 0,25–0,5 mm (Tablica 5) jest frakcją piasku średnioziarnistego. Największe ilości tej frakcji (do 80%), tworzące równocześnie dość rozległe obszary, występują w rejonie Płycizny Czołpińskiej i południowego zbocza Ławicy Słupskiej, skąd ciągną się dalej w kierunku północno-wschodnim. Pola podobnych koncentracji występują również na północ od Rozewia i na wschodnim zboczu Południowej Ławicy Środkowej oraz w Zatoce Gdańskiej. Maksymalna zawartość frakcji, przekraczająca 80% występuje na mieliźnie dna po wewnętrznej stronie Półwyspu Helskiego. W zachodniej części akwenu frakcja 0,25–0,5 mm występuje w znacznie mniejszych ilościach, maksymalne koncentracje rzadko przekraczają tutaj 10% a na dużych obszarach dna jest tej frakcji zwykle mniej niż 10%.

Ziarna piasku średnioziarnistego na południowych skłonach Basenu Bornholmskiego i Basenu Gdańskiego występują zazwyczaj do głębokości morza około 60 m. Na większych

głębokościach, w dnie Rynny Słupskiej i na progach między basenami, gdzie redepozycja ziarn tej wielkości jest bardzo ograniczona – frakcja piasku średnioziarnistego rozprzestrzenia się tylko nieznacznie dalej ku dnom basenów, w porównaniu z frakcją 0,5–1,0 mm.

Frakcja 0,125–0,25 mm (Tablica 6) jest podstawową frakcją piasku drobnoziarnistego. Frakcja ma szerokie rozprzestrzenienie, nie występuje jedynie w obszarach maksymalnych zawartości frakcji mułkowo-ilastych i tylko w kilku punktach w strefie płytkowodnej, w tym prawdopodobnie w rejonie głązowiska na Ławicy Słupskiej.

Na dużych obszarach dna strefy płytkowodnej frakcja piasku drobnoziarnistego występuje w ilości 70–90%, a na Ławicy Odrzanej nawet ponad 90%. Właśnie rejon Zatoki Pomorskiej i Ławicy Odrzanej jest największym obszarem najwyższych koncentracji frakcji 0,125–0,25 mm. Mniejsze obszary występują w południowej części Ławicy Słupskiej i między Płycizną Czółpińską a Ławicą Stilo. Kolejny rozległy obszar to rejon położony na wschód od Ławicy Stilo, przechodzący w zachodnie zbocze Basenu Gdańskiego. Frakcja piasku drobnoziarnistego buduje podwodny skłon brzegowy, zwłaszcza wzdłuż mierzejowych wybrzeży. Szczególnie duże ilości frakcji występują wzdłuż brzegu od Mierzei Jeziora Łebsko po Jastarnię na Półwyspie Helskim oraz w podbrzeżu Mierzei Wiślanej. Na pozostałym obszarze frakcja 0,125–0,25 mm występuje przeważnie w ilości 1–40%, z mozaiką niewielkich pól, w których koncentracja frakcji może dochodzić do 70%.

Frakcja 0,063–0,125 mm (Tablica 7) jest podstawową frakcją piasku bardzo drobnoziarnistego. Rozmieszczenie tej frakcji na dnie jest bardzo interesujące, odmienne od charakteryzowanych wyżej frakcji. Ziarna piasku bardzo drobnoziarnistego rozprzestrzenione są niemal na całym obszarze dna, poza najgłębszymi partiami basenów sedymentacyjnych oraz rejonami zdominowanymi przez najgrubsze frakcje ziarnowe. Na przeważającym obszarze stanowi domieszkę, miejscami minimalną, innych frakcji. Natomiast maksymalne zawartości ziarn o średnicach 0,063–0,125 mm gromadzą się na głównie na zboczach basenów sedymentacyjnych, miejscami w bardzo wąskich przedziałach głębokości. Taka strefa o zawartości frakcji powyżej 40% ciągnie się na skłonie między Ławicą Słuską a Basenem Bornholmskim w strefie głębokości 50–60 m. Na południowym zboczu basenu strefa znacznie rozszerza się i objęta jest izobatami 30–50 m, miejscami sięga do 55 m. Maksymalne zawartości, ponad 90%, występują na głębokości około 45 m. Na zboczu Południowej Ławicy Środkowej do Rynny Słupskiej frakcja w ilości od 50 do ponad 80% występuje w regularnym polu w obrębie izobat 40–65 m. Na południowym zboczu Rynny Słupskiej a także na zboczach Basenu Gotlandzkiego (w granicach polskich obszarów morskich) udział frakcji nie jest wyróżniający. Również na zachodnim skłonie Basenu Gdańskiego depozycja frakcji jest słabo wyrażona. Występują tu izolowane, niewielkie pola, w których udział frakcji przekracza 40%. Podobne pola występują u podnóża skłonu brzegowego, zwłaszcza na odcinkach, gdzie skłon brzegowy zdominowany jest przez maksymalne udziały frakcji piasku drobnoziarnistego.

Fracja <0,063 mm (Tablica 8) odnosi się do frakcji mułkowych i ilastych. Ziarna tych średnic deponowane są z zawiesiny i gromadzą się w basenach sedimentacyjnych. Generalnie frakcja <0,063 mm występuje na głębokościach morza większych niż 40, lokalnie nieco płycej lub nieco głębiej. W płytkowodnej strefie pojawia się bardzo lokalnie a jej zawartość z reguły nie przekracza 10%. Większe pola frakcji występują w strefie brzegowej i są związane z ujściem Odry, Słupi i Wisły. Na stożku ujściowym Wisły zawartość frakcji mułkowo-ilastej przekracza lokalnie nawet 70%. W południowej części Basenu Gdańskiego maksymalny udział frakcji występuje od głębokości morza 50–60 m a w Zatoce Puckiej od około 25 m. Na zachodnim zboczu Basenu Gdańskiego, w Basenie Gotlandzkim, i zwłaszcza na progu rozdzielającym obydwie baseny rozkład frakcji jest zróżnicowany. Tutaj osady złożone niemal wyłącznie z frakcji <0,063 mm występują na głębokościach morza większych niż 85–95 m.

Rozmieszczenie najdrobniejszej frakcji w rejonie Rynny Słupskiej dobrze odzwierciedla charakterystyczne procesy, które mają tu miejsce. Chodzi mianowicie o okresowo silne prądy przydenne, które uniemożliwiają sedimentację osadów w dnie rynny. Depozycja najdrobniejszych ziarn odbywa się na północnym zboczu Rynny Słupskiej. Frakcja <0,063 mm pojawia się tu już na głębokości około 30 m a maksymalną zawartość osiąga w przedziale głębokości 65–80 m. Zestawienie tego obrazu z maksymalną zawartością frakcji 0,063–0,125 mm na skłonie Rynny Słupskiej w przedziale głębokości 40–65 m jest dobrym odzwierciedleniem strefowego układu osadów dennych.

Równie płytko, na głębokości morza około 30 m, pojawia się frakcja mułkowo-ilasta na południowo-wschodnim zboczu Basenu Bornholmskiego. Maksymalna zawartość frakcji występuje poniżej głębokości 55–60 m w południowej części basenu i około 65–70 m południowo-wschodniej i wschodniej. Niskie zawartości frakcji w centralnej części basenu związane są z lokalnymi spłyceńcami dna na wyniesionym bloku Christianso oraz z wychodniami ozów (KRAMARSKA, 1991a; UŚCINOWICZ, ZACHOWICZ, 1991a).

Średnia średnica ziarn (Mz) (Tablica 9) jest parametrem statystycznym logarytmiczno-normalnego rozkładu wielkości ziarna osadów. Parametr ten był wyznaczany metodą graficzną na podstawie wartości percentyli. Obliczenia Mz oparte są na wzorze wg Folka, Warda:

$$\text{graficzna średnia średnica (Mz)} = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$$

Na mapie Mz wartości parametru opisane są w milimetrach i odpowiadających im jednostkach logarytmicznej skali φ . Poszczególne przedziały średnic odpowiadają głównym frakcjom ziarnowym: żwir, piasek, pył i il, które zostały podzielone na frakcje niższego rzędu (podstawowe) co jedną jednostkę skali φ (patrz Tablica 9). Dla tych samych przedziałów klas ziarnowych konstruowane były mapy rozmieszczenia frakcji (Tablice 1–7). Mapa Mz jest w jakimś sensie sumą informacji przedstawionych na mapach zawartości poszczególnych frakcji ziarnowych.

Zastosowany podział na frakcje podstawowe oraz dominacja danej frakcji ziarnowej w osadzie jest podstawą powszechnie stosowanej klasyfikacji osadów morskich Bałtyku (por. KRAMARSKA, 1995). Z tego względu mapa Mz może być traktowana jako mapa litologiczna. Rozkład wartości Mz odzwierciedla strefowy układ frakcji ziarnowych i kierunki transportu. Wyraża się to sukcesywnym zmniejszaniem średniej średnicy ziarna od obszarów dna z przewagą procesów abrazji, w których przeważają frakcje żwirowe i gruboziarnistego piasku, poprzez strefy redepozycji do stref akumulacji osadów. Przebieg procesów litodynamicznych i ich uwarunkowania w południowym Bałtyku zostały zarysowane we wprowadzeniu do niniejszego podrozdziału.

Stopień wysortowania osadów (σ_1) (Tablica 10) określa odchylenie standardowe, będące miarą rozproszenia wartości średnic ziarn. Parametr ten jest wyznaczany na podstawie wzoru wg Folka, Warda:

$$\text{graficzne standardowe odchylenie } (\sigma_1) = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6,6}$$

Stopień wysortowania osadów południowego Bałtyku jest zróżnicowany w szerokim zakresie skali wysortowania (patrz Tablica 10) – od bardzo dobrego do bardzo złego. Na mapie stopnia wysortowania osadów nie pokazano wartości σ_1 w obszarach basenów sedymentacyjnych, w których deponowane są frakcje drobniejsze niż 4ϕ . Wynika to z różnej techniki badań laboratoryjnych osadów mułkowo-ilastych – część próbek nie była rozdzielana na frakcje drobniejsze niż 4ϕ , co przy dużej zawartości frakcji ilastych powodowało efekt ucięcia rozkładu.

Na podstawie stopnia wysortowania osadów można wnioskować o sile prądów transportujących materiał oraz jednostajności i długotrwałości transportu. Transport i wielokrotna redepozycja prowadzi do selekcji materiału pod względem wielkości ziarn i osadzaniu określonej frakcji ziarnowej.

Wysortowanie ziarn bardzo złe (σ_1 2–4) i złe (σ_1 1–2) jest wynikiem zmieszania różnych frakcji ziarnowych i brakiem wyraźnej selekcji w procesie transportu. Takim słabym stopniem wysortowania odznaczają się osady pokryw rezydualnych w płytkowodnej strefie morza, będące mieszaniną różnorodnych frakcji piasku i żwiru. Źle wysortowane osady występują również na obrzeżach basenów sedymentacyjnych, gdzie proces selekcji ziarn determinuje styk piknokliny z dnem morskim i występowanie fal wewnętrznych o różnym natężeniu. W okresach wzmożonej aktywności hydrodynamicznej zachodzi transport i depozycja frakcji piaszczystych, głównie frakcji piasku bardzo drobnego (por. Tablica 7), zaś przy słabnącej aktywności hydrodynamicznej osadzane są cząstki mułkowe i ilaste frakcji $<0,063$ mm. Podobnie skomplikowane procesy litodynamiczne są odpowiedzialne za złe wysortowanie osadów na progach rozdzielających baseny sedymentacyjne. Tutaj zły stopień wysortowania jest wynikiem zmieszania ziarn piasku i żwiru, pochodzących z rozmycia wychodni glin subakwalnych z cząstkami mniejszymi deponowanymi z zawiesiny, przy czym depozycja ta jest nietrwała z uwagi na występowanie okresowo silnych prądów.

Osady o umiarkowanym stopniu wysortowania (σ_1 0,71–1) tworzą wąskie strefy w bezpośrednim sąsiedztwie osadów źle wysortowanych, w strefach dna o znacznej dynamice, gdzie dominują procesy redepozycji. Umiarkowanym wysortowaniem odznaczają się najczęściej osady z przewagą frakcji piasku średnioziarnistego z domieszką ziarn grubszych transportowanych przez silniejsze prądy oraz domieszką ziarn piasku drobnoziarnistego osadzanych przez słabnące prądy. Wielokrotna redepozycja powoduje stopniowy ubytek frakcji >1 mm przy wzroście zawartości frakcji piasku drobnoziarnistego a osady uzyskują umiarkowanie dobry stopień wysortowania (σ_1 0,5–0,71). Pola piasków umiarkowanie i umiarkowanie dobrze wysortowanych zajmują duże powierzchnie dna w przedziale głębokości morza do 20–30 m. Występują też wąską strefą na obrzeżach basenów sedymentacyjnych.

Najlepszym stopniem wysortowania odznaczają się osady wielokrotnie redeponowane i długotrwanie transportowane. Pola dobrze wysortowanych piasków (σ_1 0,35–0,5) zajmują dużą powierzchnię w rejonie Ławicy Odrzanej i ciągną się wzdłuż obrzeży Basenu Bornholmskiego w strefie głębokości morza 20–50m. Mniejsze pola występują w południowo-wschodniej i wschodniej części Ławicy Słupskiej, w wąskiej strefie na obrzeżu Południowej Ławicy Środkowej i na północ od Półwyspu Helskiego w strefie głębokości morza 30–50 m, a także wzdłuż Mierzei Wiślanej. Dobry stopień wysortowania osadów odnosi się do piasków z maksymalną zawartością frakcji 0,25–0,125 mm i/lub frakcji 0,125–0,063 mm (por. Tablica 6 i Tablica 7).

Osady o bardzo dobrym stopniu wysortowania rozpoznane zostały dotychczas tylko w południowej części Ławicy Odrzanej. Tworzą niewielkie pole osadów, które osiągnęły pełną dojrzałość granulometryczną. Są to piaski złożone niemal w stu procentach z jednej frakcji ziarnowej, 0,25–0,125 mm.

Obszary występowania piasków dobrze i bardzo dobrze wysortowanych – przynajmniej niektóre – są związane z relikdami wybrzeży mierzejowych z różnych faz rozwoju Bałtyku a dobry i bardzo dobry stopień wysortowania piasków może być odziedziczony ze środowiska plażowego i wydmowego.

3.2. MINERAŁY CIĘŻKIE

Badania nagromadzeń minerałów ciężkich w piaskach bałtyckich mają długoletnią historię i bogatą bibliografię, w tym dużą ilość prac archiwalnych. Badania i prace – okresowo intensywne – obejmowały wiele zagadnień związanych z minerałami ciężkimi.

Prace badawcze dotyczyły składu minerałów ciężkich i warunków powstawania rozsypisk na plażach bałtyckich i na dnie morskim (m.in. ZWIERZYCKI, 1947; SAWICKA, 1953; ŁOZIŃSKI, MASICKA, 1959; MĄCZKA, RACINOWSKI, 1960; WAJDA, 1970, 1977; KOTLIŃSKI, 1985; KRAMARSKA, 1991b). Bałtyckie rozsypiska minerałów ciężkich związane są z piaskami plażowymi oraz z osadami piaszczystymi obszaru płytkomorskiego, głównie relikdami wałów mierzejowych pochodzących z różnych faz rozwoju Bałtyku. Źródłem minerałów ciężkich w

osadach morskich są plejstocénskie osady akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej poddawane w różnym czasie procesom abrazji. Minerale ciężkie z piasków bałtyckich są reprezentowane przez składniki przezrocyste (granaty, amfibole, epidoty, pirokseny, chloryty, biotyt) oraz nieprzezrocyste (głównie ilmenit oraz magnetyt). Udział innych minerałów (glaukonit, staurolit, turmalin, cyrkon, rutil, dysten, andaluzyt, sylimanit, apatyt) i grup mineralnych (węglany) jest podrzędny. Koncentracje określonych składników mineralnych w piaskach morskich mają charakter wtórny. Ich powstanie wiąże się z selektywnym wprowadzeniem w ruch określonej wielkości ziarn pod wpływem prądów przydennych oraz złożonym mechanizmem transportu ziarn. Z masy przemieszczanych ziarn najwcześniej deponowane są na dnie składniki o pokrojach sferycznych i najwyższym ciężarze właściwym, podczas gdy ziarna o pokroju blaszkowym i niższej gęstości podlegają dalszej redepozycji i są akumulowane w warunkach osłabienia procesów hydrodynamicznych.

W ramach zdjęcia geologicznego dna Bałtyku powstały surowcowe opracowania prognostyczne dla obszarów ławic bałtyckich: Odrzanej i Słupskiej a następnie mapy prognoz surowcowych dla całej polskiej strefy Bałtyku (KOTLIŃSKI, KRAMARSKA, 1977; JUROWSKA i in.; 1978; WAJDA, 1980, 1982; MAPA GEOLOGICZNA... 1989–1995). Stały się one podstawą rozpoczęcia prac dokumentacyjnych dla ustalenia zasobów minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej. Prace dokumentacyjne były prowadzone w latach 1989–1990 przez Państwowy Instytut Geologiczny w ramach Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego Nr 1.8 (KRAMARSKA, 1990), a następnie przez Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych (podmiot gospodarczy) w ramach koncesji. Po wykonaniu 1 i 2 fazy prac dokumentacyjnych inwestor odstąpił od dalszej realizacji. Uzyskane wyniki prac pozwoliły jednakże wstępnie wyznaczyć pola złożowe i obliczyć zasoby minerałów ciężkich na podstawie wyników badań próbek wykonanych na zlecenie inwestora w Laboratorium Metalurgicznym firmy Micron Research w Australii (KRAMARSKA, 1993; JONES, 1994).

Innym typem opracowań są studia a także wyniki prac wdrożeniowych dotyczące technologii wydobywania, przeróbki i wykorzystania minerałów ciężkich z plaż bałtyckich i rozsypisk podmorskich, a również metodyka badań polowych. Prace te były prowadzone w wielu jednostkach badawczych, przede wszystkim w Akademii Górniczo-Hutniczej, Państwowym Instytucie Geologicznym, Politechnice Wrocławskiej, Cuprum i Poltegorze (m.in. AKERMAN, KRAJEWSKI, 1959; JUSKOWIAK i in., 1976; ŁUSZCZKIEWICZ, 1984; BAGDACH, LASKO, 1989).

Gromadzone przez dziesięciolecia wyniki wieloaspektowych badań „bałtyckich” minerałów ciężkich zasługują na odrębną analizę, podsumowanie i naukowe monograficzne opracowanie. W niniejszej pracy przedstawione są w formie kartograficznej jedynie wybrane elementy: zawartość sumy minerałów ciężkich we frakcji 0,25–0,125 mm (% wagowy) oraz zawartość w tej frakcji (% ilościowy) głównych składników użytecznych w przemyśle, tj. minerałów nieprzezroczystych oraz rutilu, cyrkonu i granatów. Podstawowe dane do

konstrukcji map wymienionych elementów pochodzą z prac kartograficznych (MAPA GEOLOGICZNA..., 1989–1995) i są przedstawione odpowiednio do metodyki badań stosowanej w tych pracach. Metodyka przedstawia się następująco: frakcja ciężka wydzielana była w bromoformie lub tertrabromoetanie o ciężarze właściwym $2,9 \text{ g/cm}^3$ z naważki 10 g frakcji 0,25–0,125 mm. Skład jakościowy minerałów ciężkich określano w mikroskopie polaryzacyjnym w preparatach proszkowych zatopionych w balsamie kanadyjskim. W każdym preparacie zliczano ziarna do uzyskania 300 ziaren przezroczystych. Zawartości procentowe policzono oddzielnie dla wyróżnionych grup mineralnych (minerały przezroczyste, nieprzezroczyste, glaukonit, węglany, minerały zmienione) i oddzielnie dla minerałów przezroczystych, traktując wówczas sumę minerałów tej grupy jako 100%.

Na mapach zawartości minerałów ciężkich i zawartości poszczególnych składników mineralnych nie zostały uwzględnione dane z prac dokumentacyjnych w rejonie Ławicy Odrzanej z uwagi na inną metodykę badań – przede wszystkim z uwagi na określanie zawartości minerałów ciężkich w szerszym przedziale frakcji ziarnowych (od 0,063 do 0,25 mm) oraz na sposób opróbowania rdzeni (średnie próbki z półmetrowych odcinków rdzeni). Uwzględniono natomiast końcowy efekt prac dokumentacyjnych zaznaczając na mapie perspektyw surowcowych (Tablica 17) obszary prognostyczne dla których przedstawiono szczegółową charakterystykę surowca.

Zawartość minerałów ciężkich we frakcji 0,25–0,125 mm (Tablica 12). Minerale ciężkie we frakcji 0,25–0,125 mm najczęściej występują w ilości do 1–2% wag. Rzadziej zawartość ta dochodzi do 10% wag. Tylko w kilku punktach stwierdzono zawartość wyższą – 17,5% na Płyciźnie Czolpińskiej i w zachodniej części Ławicy Słupskiej, około 20% na Ławicy Odrzanej oraz ekstremalnie wysoki udział dochodzący do 45% w środkowej części Ławicy Słupskiej.

Zawartości powyżej 3% wag., uznawane za koncentracje minerałów ciężkich, tworzą izolowane pola w płytkowodnej strefie morza w zasięgu intensywnego oddziaływania falowania i prądów przydennych, najczęściej do głębokości morza 20–30 m, i nieco głębiej na progach rozdzielających baseny głębokowodne.

Analiza rozmieszczenia koncentracji i składu ziarnowego osadów wskazuje na dwa typy rozsypisk. Większość rozsypisk związana jest ze strefami występowania osadów grubookruchowych, w których frakcja 0,25–0,125 mm ma zaledwie do 20% udziału (por. Tablica 6). Są to obszary dna o przewadze procesów abrazji nad akumulacją. Koncentracje minerałów ciężkich powstają tu w wyniku wynoszenia przez prądy falowo-wiatrowe składników o niższych gęstościach. Ten typ rozsypisk nie ma znaczenia surowcowego ze względu na niewielką miąższość warstwy piaszczystej (poniżej 1 m) i jej rezydualny charakter odznaczający się niską zawartością frakcji ziarnowych, w których gromadzą się minerały ciężkie. Drugi typ rozsypisk występuje w środkowej i wschodniej części Ławicy Słupskiej oraz w północno-wschodniej części Ławicy Odrzanej. W rejonach obydwu ławic rozsypiska są związane z relikdami wybrzeży akumulacyjnych (mierzejowych) z okresu

transgresji litorynowej. Koncentracje odzwierciedlają wysoki stopień selekcji mineralogicznej dojrzałych granulometrycznie osadów. Dojrzałość ta przejawia się zdecydowaną przewagą frakcji 0,25–0,125 mm nad innymi frakcjami ziarnowymi (od 60 do ponad 80%) oraz dobrym i bardzo dobrym wysortowaniem piasków (por. Tablica 6 i Tablica 10).

Minerały nieprzezroczyste (Tablica 13) w rozsypaniach bałtyckich są reprezentowane przede wszystkim przez ilmenit (FeTiO_2) oraz występujący w podrzędnych ilościach magnetyt i hematyt. Ilmenit tworzy przeważnie owalne ziarna, często z otoczką leukoksenową. Mineral ten koncentruje się głównie we frakcji <0,2 mm (KOTLIŃSKI, 1985).

Rozmieszczenie koncentracji minerałów nieprzezroczystych na dnie, pokazane na Tablicy 13, nawiązuje do obrazu rozmieszczenia koncentracji ogólnej masy minerałów ciężkich w osadach (por. Tablica 12). Zawartość ilmenitu (wraz z magnetytem i hematytem) we frakcji 0,25–0,125 mm waha się od kilku do około 60% ilościowych sumy minerałów ciężkich. Ilmenit, jako jeden z minerałów o najwyższym ciężarze właściwym ($4,6\text{--}4,9\text{ g/cm}^3$), koncentruje się w strefach dna o przewadze procesów abrazji, stąd też maksymalne wartości związane są z rezydualnymi pokrywami osadów grubookruchowych w rejonie Ławicy Stilo i na północ od niej. Należy zwrócić uwagę, że rozkład procentowej zawartości ilmenitu w tym rejonie może nie odzwierciedlać rzeczywistej zmienności, ze względu na małą ilość punktów dokumentacyjnych (por. Tablica 11)¹. Istotne znaczenie, ze względu na miąższość warstwy piaszczystej przekraczającą 1 m oraz wysoką zawartość frakcji 0,25–0,125 mm, mają koncentracje ilmenitu w rejonie Ławicy Odrzanej i Ławicy Słupskiej, a także na przedpolu Półwyspu Helskiego. Różnią się jedynie wielkością obszarów – na Ławicy Odrzanej koncentracje powyżej 30% tworzą rozległe pola o powierzchni kilkudziesięciu km^2 i nieco mniejsze przy Półwyspie Helskim, podczas gdy na Ławicy Słupskiej jest to kilka małych izolowanych pól.

Rutyl (TiO_2) (Tablica 14) podobnie jak ilmenit jest minerałem tytanowym o zbliżonej gęstości, która zależy od chemicznych domieszek wynosi $4,2\text{--}5,5\text{ g/cm}^3$. Rutyl w osadach bałtyckich występuje w brunatnożółtych lub brunatnoczerwonych ziarnach o pokroju słupkowym, zwykle częściowo obtoczonych. Nierzadko spotykane są ziarna charakterystycznie kolankowo zbliźniaczone.

Zawartość rutylu we frakcji 0,25–0,125 mm w większości badanych próbek nie przekracza 1% ilościowej sumy minerałów przezroczystych. Koncentracje rutylu wyższe niż 1% ilościowy odnoszą się do tych samych rejonów dna Bałtyku, w których notowane są podwyższone ilości ilmenitu – przeważnie rezydualne pokrywy grubookruchowe wzdłuż środkowego odcinka wybrzeża i na NE od Ławicy Słupskiej oraz pokrywy piaszczyste Ławicy Odrzanej, przedpola Mierzei Helskiej i Wiślanej. Szczegółowe badania osadów Ławicy Słupskiej wykazały, że rutyl gromadzi się głównie we frakcji 0,10–0,06 mm, a jego średni udział wynosi około 3% il. sumy minerałów przezroczystych (KOTLIŃSKI, 1985).

¹ Uwaga ta odnosi się także do koncentracji rutylu i cyrkonu w tym rejonie dna

Cyrkon ($ZrSiO_4$) (Tablica 15) w piaskach bałtyckich występuje w formie drobnych elipsoidalnych ziarn w różnym stopniu obtoczonych, rzadziej w postaci automorficznych kryształów o elongacji na ogół wyższej od 1. Cyrkon gromadzi się we frakcjach drobniejszych niż 0,2 mm, przy czym maksymalne koncentracje stwierdzono w przedziale 0,088–0,063 mm (KOTLIŃSKI, 1985). Tak więc należy mieć na uwadze, że analizowanie zawartości cyrkonu we frakcji 0,25–0,125 mm może dawać zaniżone wyniki.

Zawartość cyrkonu w analizowanym obszarze Bałtyku łączy się z zawartością ilmenitu – podwyższonym koncentracjom ilmenitu odpowiadają wysokie udziały cyrkonu (por. Tablica 13 i Tablica 14). Udział cyrkonu we frakcji 0,25–0,125 mm osiąga maksymalnie do 20% w piaskach Ławicy Słupskiej, do 10% na Ławicy Odrzanej i nieco ponad 10% na przedpolu Półwyspu Helskiego. Pola najwyższych koncentracji mają niewielką powierzchnię ograniczoną bliskim sąsiedztwem punktów dokumentacyjnych o niskim udziale procentowym cyrkonu. Dotyczy to zwłaszcza koncentracji na Ławicy Słupskiej.

Wysoka zawartość minerału notowana jest również w rejonie położonym na NE od Ławicy Słupskiej, na Ławicy Stilo i na północ od niej. Koncentracje występują tu w rezydualnej pokrywie osadowej podlegającej procesom abrazji. Znaczna wielkość pól koncentracji minerału wyznaczonych w tych rejonach może wynikać z niewielkiej ilości punktów dokumentacyjnych (patrz przypis 1).

Granaty (Tablica 16) są izomorficzną grupą krzemianów wyspowych o zmiennej gęstości od 3,58 do 4,32 g/cm³, zależnej od składu chemicznego. W piaskach bałtyckich są reprezentowane najczęściej odmiany granatów glinowych (pirop, almandyn, spessartyn), w cienkich płytkach bezbarwne, rzadziej szaroróżowe. Minerale występują w formie ziarn sferycznych, częściowo obtoczonych, rzadziej kanciastych.

Granaty, obok amfiboli, są najliczniej reprezentowanym składnikiem minerałów ciężkich przezroczystych. We frakcji 0,25–0,125 mm stanowią od kilku do około 80% ogółu minerałów przezroczystych. Większe koncentracje generalnie związane są z obszarami dna, w których przeważają procesy erozji i redepozycji nad akumulacją. Są to przede wszystkim te rejony występowania piasków drobnoziarnistych dobrze wysortowanych na Ławicy Odrzanej, Słupskiej i na przedpolu Półwyspu Helskiego, w których odnotowane są najwyższe koncentracje ilmenitu, rutylu i cyrkonu. Są to również przybrzeżne i płytkowodne obszary dna, gdzie osady odznaczają się dominacją frakcji grubszych niż 0,25 mm a frakcja 0,25–0,125 mm stanowi tylko domieszkę. W większości obszarów zaobserwować można zgodność w występowaniu koncentracji granatów i ilmenitu. Odwrotne tendencje rysują się w przypadku pokryw rezydualnych występujących w sąsiedztwie głazowiska Ławicy Słupskiej. W bliskim sąsiedztwie głazowiska zawartość granatów przekracza na ogół 40% składu minerałów przezroczystych, podczas gdy koncentracje ilmenitu powyżej 20–30% związane są tylko z polami najwyższych koncentracji minerałów ciężkich występującymi na SE od głazowiska. Inaczej przedstawia się skład mineralny w obrębie pokrywy rezydualnej położonej na NE od Ławicy Słupskiej, gdzie udział ilmenitu waha się od 20 do ponad 60%

sumy minerałów ciężkich, natomiast granaty osiągają tylko kilkanaście procent sumy minerałów przezroczystych.

4. ZŁOŻA SUROWCÓW OKRUCHOWYCH I GÓRNICCTWO KOPALIN

4.1. KRUSZYWO PIASKOWO-ŻWIROWE

W polskiej strefie Bałtyku najlepiej poznane i udokumentowane są nagromadzenia kruszywa naturalnego, tzn. osadów żwirowych, żwirowo-piaszczystych i piaszczysto-żwirowych, dla potrzeb budownictwa i budowy dróg. Udokumentowane są trzy złoża kruszywa: "Ławica Słupska", "Południowa Ławica Środkowa" i "Zatoka Koszalińska". Dokumentacja zasobowa czwartego złoża – „Ławica Słupska 1” – jest w końcowej fazie sporządzania. Zasoby kruszywa naturalnego, piaskowo-żwirowego w ilości około 5 447,55 tys. Mg będą ustalone na dzień 31 grudnia 2005 r. w kategorii C₁. Złoże to powstało poprzez wydzielenie ze złoża „Ławica Słupska” pól zasobowych o nr I, IV, V i VI, udokumentowanych w kategoriach prognostycznych D₁ i D₂ oraz ich dokładniejsze rozpoznanie. Sukcesem zakończyły się prace rozpoznawcze w rejonie pola IV. W rejonie pól I, V i VI uzyskano wyniki negatywne. Pola złożowe o udokumentowanych zasobach, a także obszary o negatywnych wynikach rozpoznania pokazane są na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17).

Charakterystyczną formą występowania kopaliny w złożach bałtyckich są izolowane pola o nieregularnym zarysie i zmiennej miąższości. Pod względem genetycznym wyróżniane są dwa typy kruszywa (MASŁOWSKA, 2005):

- Kruszywo reprezentowane przez grubookruchowy materiał rezydualny. Nagromadzenia, głównie żwirowe i kamienisto-żwirowe, związane są z relikdami plejstocenijskich stref czołowomorenowych i powstały w wyniku wynoszenia z osadów frakcji piaszczystych przez prądy falowo-wiatrowe. Osady mają niewielką miąższość, zwykle poniżej 1 m, a w ich podłożu występuje glina zwałowa. Do tego typu nagromadzeń należą pola w zachodniej części złoża „Ławica Słupska”, w południowo-zachodniej części złoża „Zatoka Koszalińska” i małe pola w północno-zachodniej części złoża „Południowa Ławica Środkowa”.
- Kruszywo akumulacji morskiej, reprezentowane przez osady piaszczysto-żwirowe i żwirowo-piaszczyste. Źródłem nagromadzeń są głównie osady fluwioglacjalne częściowo przerobione w środowisku morskim przez falowanie i prądy. Nagromadzenia te charakteryzują się większą miąższością warstwy złożowej leżącej najczęściej na plejstocenijskich osadach piaszczystych. Do tego typu nagromadzeń należy większość pól złożowych na Południowej Ławicy Środkowej oraz pola złożowe we wschodniej części Ławicy Słupskiej i wschodniej części Zatoki Koszalińskiej.

Zestawienie złóż kruszywa naturalnego wraz z charakterystyką gospodarczą przedstawiono w tabeli 1.

Złoże **„Ławica Słupska”** występuje na powierzchni dna w strefie głębokości morza 16,0–20,0 m. Złoże tworzą cztery izolowane pola występujące w obrębie osadów piaszczystych.

Złoże leży w obszarze objętym Naturą 2000. Ponadto Ławica Słupska znajduje się wśród obszarów zaproponowanych do sieci Bałtyckiego Systemu Chronionych Obszarów.

Złoże „Ławica Słupska” posiada dokumentację zasobową w kat. C₁ i C₂ opracowaną w 1985 roku (MASŁOWSKA i in., 1985) i zatwierdzoną decyzją Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w 1990 r. (decyzja nr KZK/012/w/5006/85/90). Zatwierdzone decyzją zasoby geologiczne złoża wynoszą 64 681 tys. Mg kruszywa, w tym zasoby bilansowe 48 100 tys. Mg. Zasoby w ilości 29 540 tys. Mg zostały udokumentowane w kat. C1 (pola III i VIII), natomiast w kat. C2 ustalono zasoby w ilości 18 560 tys. Mg (pola II i VII). Koncesja na eksploatację kopaliny z czterech pól złożowych o zasobach udokumentowanych w kat. C1 (pola III i VIII) i C2 (pola II, VII) została wydana w 1992 r., a w 1993 r. został zatwierdzony przez Ministra OŚZNiL Projekt zagospodarowania złoża (rok opracowania 1990). Zawarte w projekcie zasoby przemysłowe kruszywa zostały ustalone na 46 865 tys. Mg. W planie ruchu wyznaczony został teren i obszar górniczy obejmujący zgodnie z koncesją cztery pola złożowe (patrz Tablica 17).

Eksploatacja złoża prowadzona jest okresowo za pomocą pogłębiarki ssąco-refulującej. Kruszywo wydobywane jest z pola złożowego nr VIII. W latach 1985–1989 wydobyto około 1 400 tys. Mg kruszywa. Od roku 1992 złoże eksploatuje Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych sp. z o.o. na mocy koncesji nr 6/92 udzielonej przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. W latach 1992–2000 wydobyto około 610 tys. Mg kruszywa, w roku 2001 wyeksploatowano 147 tys. Mg a w roku 2002 wydobyte wyniosło 202 tys. Mg. W latach 2002–2005 złoże nie było eksploatowane. Ogółem ze złoża Ławica Słupska wydobyto dotychczas 2 359 tys. Mg kruszywa (według Bilansu zasobów kopaliny i wód podziemnych w Polsce).

Złoże **„Ławica Słupska 1”** występuje na powierzchni dna w strefie głębokości morza 14,5–16,5 m. Złoże tworzy jedno pole o długości 3,5 km i szerokości maksymalnej 1,6 km stanowiące część większego obszaru występowania osadów piaszczystych, miejscami na rozmytej powierzchni gliny zwałowej, lub na mułkach i piaskach mułkowatych. Charakteryzuje je duża zmienność jakości kopaliny (zawartości frakcji piaskowej) oraz miąższości. Z punktu widzenia obecnie obowiązujących kryteriów bilansowości jest to złoże piaskowo żwirowe. Zasoby w ilości 5 447,55 tys. Mg dokumentowane są w kat C₁ wg stanu na dzień 31 grudnia 2005 r.

Pomimo tego, że złoże „Ławica Słupska 1” udokumentowane zostało w rejonie wyłączono ze złoża „Ławica Słupska”, pola IV, a w pozostałych wyłączonych polach I, V i VI uzyskano wyniki negatywne nie zmniejszyło to udokumentowanych i zatwierdzonych

zasobów „Ławicy Słupskiej”. Zasoby obliczone przed laty w tych rejonach miały jedynie charakter prognostyczny i jako takie nie wchodziły do krajowego bilansu zasobów.

Złoże leży w obszarze objętym Naturą 2000. Ponadto Ławica Słupska znajduje się wśród obszarów zaproponowanych do sieci Bałtyckiego Systemu Chronionych Obszarów.

Złoże "**Zatoka Koszalińska**" leży w strefie przybrzeżnej na głębokości morza 10,0–25,0 m. Pola złożowe w liczbie siedemnastu tworzą izolowane płyty na podłożu piaszczystym, a w części południowo-zachodniej na glinie zwałowej. Jakość kruszywa odpowiada normom obowiązującym dla kruszywa do produkcji betonów, nawet do betonów konstrukcyjnych o wysokiej wytrzymałości.

Złoże posiada dokumentację zasobową w kategorii C₂ wykonaną w 1988 roku (MASŁOWSKA, MICHAŁOWSKA, 1988) i zatwierdzoną decyzją Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w 1989 r. (decyzja nr KZK/012/I/5516/88/89). Zatwierdzone decyzją zasoby geologiczne bilansowe w kat. C₂, ustalone wg stanu na 30.06.1989 r., wynoszą 37 757 tys. Mg kruszywa. Są to zasoby wydobywalne kruszywa naturalnego żwirowo-piaskowego i piaskowo-żwirowego o średnim punkcie piaskowym 60%, zalegające w 17 polach złożowych.

W roku 1993 Minister Środowiska wydał koncesję na zagospodarowanie złoża i eksploatację kopaliny. Według „Bilansu zasobów kopalini i wód podziemnych w Polsce” eksploatacja prowadzona była tylko w 2001 r., kiedy to wydobyto 6 tys. Mg kruszywa. W 2004 r. Minister Środowiska wydał decyzję o wygaśnięciu koncesji (decyzja DGwk/LP/487–2892 z dnia 22 kwietnia 2004). Obecnie złożo przygotowywane jest do zagospodarowania przez nowego inwestora.

Złoże „Zatoka Koszalińska” leży w obszarze objętym Naturą 2000.

Złoże "**Południowa Ławica Środkowa**" leży na głębokości morza od 16,0 do 30,0 m, przy czym większość pól złożowych jest położona w zakresie izobat 18–24 m (MASŁOWSKA, MICHAŁOWSKA, 1991, 1995). Kruszywo zalega w formie nieregularnych płatów o zmiennej miąższości (maksymalnie do 5 m), głównie na podłożu piaszczystym, a w części południowo-zachodniej również na glinie zwałowej. Złoże składa się z dziewięciu pól o powierzchni od 0,53 do 16,9 km² (łącznie 25,64 km²).

Z punktu widzenia ochrony środowiska złożo jest niekonfliktowe. Wymaga jednak szczególnej uwagi ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo z obszarami morskimi Królestwa Szwecji – dwa pola złożowe (pole III i pole IV) położone są w odległości około 170 m od granicy rozdzielającej obszary morskie Polski i Szwecji. W związku tym, zgodnie z wymogiem postawionym przez organ koncesyjny, opracowany został Raport o oddziaływaniu na środowisko wraz z wnioskami i zaleceniami odnośnie przyszłej eksploatacji kopaliny (ZACHOWICZ, 2005).

Złoże posiada dokumentację zasobową w kategorii C₂ wykonaną w 1990 roku (MASŁOWSKA, MICHAŁOWSKA, 1991). Zasoby geologiczne złoża ustalone wg stanu na dzień 30.10.1990 r. i zatwierdzone przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i

Leśnictwa w dniu 16.04.1993 (akt zatwierdzenia nr KZK/012/J/6060/92/93) wynosiły 57 157 tys. t, w tym zasoby bilansowe 56 679 tys. t. Zasoby dotyczą kruszywa naturalnego żwirowo-piaskowego i piaskowo-żwirowego o średnim p.p. około 54% zalegającego w 9 polach złożowych.

Obecnie złoża przygotowywane jest do zagospodarowania. W 2004 r. opracowany został Projekt zagospodarowania złoża, który uzyskał pozytywną opinię Okręgowego Urzędu Górniczego. Zasoby przemysłowe kruszywa zostały ustalone na 56 127,582 tys. Mg.

Tabela 1

Złoża kopalin i ich charakterystyka gospodarcza

Nazwa złoża	Rodzaj kopaliny	Wiek kompleksu litologiczno-surowcowego	Zasoby geologiczne bilansowe (tys. t.)	Kategoria rozpoznania	Stan zagospodarowania złoża	Wydobycie (tys. t)	Zastosowanie kopaliny
			Wg dokumentacji zasobowych				
2	3	4	5	6	7	8	9
Ławica Słupska	pż	Q	48 100	C ₁ +C ₂	T	2 359	Sb, Sd
Ławica Słupska I	pż	Q	5 447*	C ₂	N	–	Sb, Sd
Zatoka Koszalińska	pż	Q	37 757	C ₂	N	6	Sb, Sd
Południowa Ławica Środkowa	pż	Q	56 679	C ₂	**	–	Sb, Sd

Objaśnienia symboli — Rubryka 3: pż – piaski i żwiry; Rubryka 4: Q – czwartorzęd;
Rubryka 5: * – zasoby według dokumentacji geologicznej przed zatwierdzeniem
Rubryka 7: T – złoża zagospodarowane, eksploatowane okresowo; ** – złoża przygotowywane do zagospodarowywania; N – złoża niezagospodarowane;
Rubryka 9: Sb – dla potrzeb budownictwa; Sd – dla potrzeb drogownictwa;

Tabela 2

Parametry geologiczno-górnice złóż i jakościowe kruszywa piaskowo-żwirowego

Nazwa złoża	Parametry						
	powierzchnia złoża km ²	miąższość złoża m	grubość nadkładu m	zawartość ziaren do 2 mm %	zawartość pyłów mineralnych %	zawartość ziarn słabych %	gęstość nasypowa w stanie utrzęzionym T/m ³
Ławica Słupska	21,45	śr. 0,91	bez nadkładu	śr. 56,7	śr. 0,72;	śr. 0,96	2,057
Ławica Słupska 1	2,97	śr. 0,89.	bez nadkładu	śr. 61,4	śr. 1,65	brak danych	2,058
Zatoka Koszalińska	20,72	śr. 0,90	bez nadkładu	śr. 60,1	śr. 0,81	śr. 5,17	–
Południowa Ławica Środkowa	25,65	śr. 0,92	bez nadkładu	śr. 53,7	śr. 0,40	śr. 5,20	–

5. PERSPEKTYWY I PROGNOZY WYSTĘPOWANIA KOPALIN

Podstawą wyznaczenia obszarów perspektywicznych surowców okruchowych, przedstawionych na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17) była:

- analiza parametrów uziarnienia osadów leżących na powierzchni dna na podstawie map zawartości frakcji ziarnowych oraz mapy średniej średnicy ziarn i wysortowania osadów,
- analiza profili wierceń i sondowań dla identyfikacji wystąpień kruszywa piaskowo-żwirowego i żwirowo-piaskowego pod nadkładem,
- analiza zawartości minerałów ciężkich i składu mineralnego piasków w przypadku obszarów perspektywicznych dla koncentracji minerałów ciężkich,
- analiza miąższości osadów piaszczysto-żwirowych i piaszczystych oraz litologia podłoża tych osadów,
- odległość od brzegu (strefa ochrony brzegu),
- analiza i weryfikacja perspektyw surowcowych przedstawionych na Mapie geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000 (MAPA GEOLOGICZNA..., 1989–1995).

Obszary perspektywiczne występowania surowców występują w płytkowodnej strefie dna, w pasie przylegającym do wybrzeża oraz na Południowej Ławicy Środkowej. Zewnętrzna granica obszarów perspektywicznych w pasie przylegającym do wybrzeża przebiega w odległości od 5 do 20 km od brzegu w Zatoce Gdańskiej i od 15 do 50–60 km na otwartym akwenu. Południowa Ławica Środkowa oddalona jest od środkowego wybrzeża około 80 km i około 150 km od portów Gdańska i Gdyni. Głębokości morza w obrębie obszarów perspektywicznych wynoszą od około 10m do 40–50 m w Zatoce Gdańskiej, środkowej części akwenu i na Południowej Ławicy Środkowej oraz do 30–40 m w zachodniej części akwenu. Jednakże przeważająca część obszarów perspektywicznych położona jest do głębokości morza 30m.

Obszarami perspektywicznymi objęte są surowce okruchowe: kruszywo piaskowo-żwirowe i piaskowe. Ponadto w obrębie piasków wyróżnione zostały obszary perspektywiczne dla piasków szklarskich i formierskich oraz koncentracje minerałów ciężkich. Wskazany został także obszar perspektywiczny dla występowania bursztynu. W obszarze perspektywicznym występowania koncentracji minerałów ciężkich wyróżniono dwa obszary, dla których zostały ustalone zasoby prognostyczne.

Na obecnym etapie rozpoznania trudno wskazać perspektywy występowania kruszywa żwirowego i żwirowo-piaskowego. Prawdopodobnie lokalnych wystąpień kruszywa grubego można spodziewać się w obrębie pól piaskowo-żwirowych. Obszarem występowania kruszywa grubego jest zapewne głazowisko Ławicy Słupskiej. Jest to jednak obszar zbyt słabo rozpoznany geologicznie, w tym duża jego część jest nieopróbowana. Z drugiej strony głazowisko Ławicy Słupskiej należy traktować jako unikatowe w skali południowego Bałtyku

– tak pod względem geologicznym jak i występujących tam biocenoz. Obszar głązowiska powinien zostać włączony do sieci HELCOM BSPA (por. rozdz. 6).

W obrębie obszarów perspektywicznych została przedstawiona miąższość pokrywy zbudowanej z piasków bądź piasków ze żwirem. Jest to łączna miąższość, która nie uwzględnia zmienności uziarnienia w profilu pionowym pokrywy. Wybór przedziałów miąższości wynika jedynie ze sposobu opróbowania osadów i nie ma bezpośredniego związku z bilansowaniem ewentualnych zasobów. Granica miąższości 30 cm odpowiada w przybliżeniu głębokości opróbowania dna próbnikiem czerpakowym – znaczna część danych o płytce występującym podłożu pochodzi właśnie z próbek czerpakowych. Z kolei granica 1m wynika z gęstości rozmieszczenia sond rdzeniowych i otworów wiertniczych oraz głębokości sondowań i wierceń. Przeważająca liczba sondowań sięgała maksymalnie do głębokości 3 m pod dnem, najczęściej 2–3 m. Należy zaznaczyć, że w obszarach o miąższości pokrywy piaszczystej >1m, niemożliwe było określenie metodami bezpośrednimi maksymalnej grubości pokrywy – sondy o długości 2–3 m w żadnym punkcie dokumentacyjnym nie przebiły pokrywy piaszczystej i/lub piaszczysto-żwirowej. Przy sporządzaniu warstwy informacyjnej o miąższości pokrywy wykorzystywano również informacje z pomiarów sejsmoakustycznych.

Ustalono strefę ochrony brzegu, którą na potrzeby niniejszego opracowania należy rozumieć jako odlądową granicę obszarów perspektywicznych. Szerokość tej strefy uzależniona została od szerokości podwodnego skłonu brzegowego (przybrzeżnej części dna morskiego, której rzeźba jest kształtowana przez fale przy danym poziomie morza). W Zatoce Gdańskiej, gdzie podwodny skłon brzegowy sięga głębokości ok. 7–8 m, strefę ochrony brzegu wyznaczono na izobacie 12 m (w Zatoce Puckiej na izobacie 10 m). Na otwartym akwenie strefę ochrony brzegu wyznaczono w odległości 3 km od brzegu, zawsze poza podwodnym skłonem brzegowym. Głębokość morza w odległości 3 km od brzegu na akwenie przyległym do środkowej części wybrzeża wynosi około 15 m, w Zatoce Pomorskiej przeważnie ponad 12 m a lokalnie 10–12 m. Podwodny skłon brzegowy wzdłuż środkowego wybrzeża sięga głębokości morza rzędu 10–12 m i kończy się z reguły wyraźnym załamaniem profilu dna (UŚCINOWICZ, 1985) w odległości 700–1500 m od brzegu na odcinku Rozewie–Łeba i około 400–800 m w rejonie Kołobrzegu. W Zatoce Pomorskiej podnóże podwodnego skłonu brzegowego wyznacza izobata 8–10 m, która jest oddalona od brzegu około 1,5 km.

5.1. KRUSZYWO PIASKOWO-ŻWIROWE

Kryterium wyróżnienia obszarów perspektywicznych kruszywa piaskowo-żwirowego była średnia średnica ziarn (M_z) poniżej wartości 1ϕ (powyżej 0,5 mm). Na podstawie tego kryterium wyznaczone zostały pola osadów, w których dominują frakcje grubo- i bardzo gruboziarnistego piasku oraz żwiru.

Pola piasków z domieszką ziarn żwirowych tworzą dwa ciągi pól. Jeden z nich występuje w niedalekim sąsiedztwie brzegu, od Płycizny Czołpińskiej na wschodzie do wysokości 380

km wybrzeża w Zatoce Pomorskiej. Pola mają po kilkadziesiąt km² powierzchni, niektóre ponad 100 km². Miąższość pokrywy piaszczysto-żwirowej może wynosić więcej niż 1 m w rejonie Płycizny Czołpińskiej a pochodzenie piasków i żwirów można wiązać z piaszczysto-żwirowymi utworami plejstoceniowymi przerobionymi w środowisku morskim. Natomiast dalej na zachód należy spodziewać się mniejszych miąższości – gliny zwałowe występujące tu w podłożu piasków i żwirów mogą w dużej części pól pojawiać się płycej niż 1 m pod dnem. Te wystąpienia piasków ze żwirami mają w większości charakter pokryw rezydualnych na erozyjnej powierzchni glin zwałowych.

Drugi ciąg pól występuje w większej odległości od wybrzeża i obejmuje zachodnie, południowe i wschodnie krańce Ławicy Słupskiej oraz rozległe pola położone dalej na wschód i obejmujące Ławicę Stilo. Miąższość pokrywy piaszczysto-żwirowej jest zróżnicowana – przeważnie do 1 m, ale są też rejony, w których może być grubsza niż 1 m. Zróżnicowane może być również pochodzenie materiału piaszczysto-żwirowego. Będą tu zarówno pokrywy rezydualne na glinie zwałowej jak również przerobione w różnym stopniu przez morze pokrywy sandrowe. Utwory pochodzenia wodnolodowcowego, dające korzystniejszą perspektywę występowania kruszywa piaszkowo-żwirowego rozpoznane zostały na wschodnim skraju Ławicy Słupskiej, na głębokości morza 20–25 m (UŚCINOWICZ, ZACHOWICZ, 1991b). Wodnolodowcowe osady piaszczysto-żwirowe występują pod nakładem piasków drobnoziarnistych morskich grubości 0,3–1,3 m. Średnia zawartość frakcji żwirowej (>2 mm) określona w profilu występowania kopaliny dla warstwy grubości 3,2 m wynosi 37% (min. 3%, maks. 90%). Całkowita miąższość warstwy piaszczysto-żwirowej oceniana jest na 5–6 m na podstawie danych sejsmoakustycznych i jest porównywalną z maksymalną miąższością warstwy kruszywa w złożu „Południowa Ławica Środkowa”. W składzie petrograficznym kruszywa zbadanym we frakcji 2–4 mm dominują okruchy skał krystalicznych (śr. 39%) obok wapieni paleozoicznych (śr. 37,3%) oraz piaskowców i kwarcytów (śr. 18,3%). Punkt występowania kopaliny, do którego odnoszą się powyższe dane został wskazany na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17).

5.2. KRUSZYWO PIASKOWE

Kryterium wyróżnienia obszarów perspektywicznych kruszywa piaszkowego była wartość średniej średnicy ziarn (Mz) od 1 do 3φ (od 0,125 do 0,5 mm). Kruszywo piaskowe jest dominującym rodzajem surowców zarówno w obszarze perspektywicznym w strefie sąsiadującej z wybrzeżem jak i na Południowej Ławicy Środkowej.

Kruszywo piaskowe jest zróżnicowane pod względem uziarnienia i stopnia wysortowania (por. Tablice 5, 6, 10). Piaski o zróżnicowane zawartości podstawowych frakcji ziarnowych piasku średnioziarnistego i drobnoziarnistego zajmują większe powierzchnie dna w strefie głębokości morza do około 20 m, głównie we wschodniej i środkowej części akwenu, w tym również w Zatoce Gdańskiej. Strefa dna przylegającej do zachodniego wybrzeża jest zdecydowanie uboższa pod względem zasobów tego rodzaju kruszywa piaszkowego.

Kruszywa piaskowego złożone głównie z mieszaniny frakcji piasku średnio- i drobnoziarnistego, niejednorodne pod względem stopnia wysortowania (wysortowanie umiarkowane i umiarkowanie dobre), nadaje się przede wszystkim do zasilania plaż i jako podsypki pod różnego typu budowle liniowe i kubaturowe. Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas dotychczasowych prac wydobywczych i refulacyjnych można nadmienić, że niejednorodny pod względem uziarnienia urobek najbardziej odpowiada technicznym możliwościom pozyskiwania surowca metodą ssąco-refulującą.

Drugim rodzajem kruszywa piaskowego są piaski o jednorodnym uziarnieniu (wysortowanie dobre i bardzo dobre), z dominującą zawartością frakcji piasku drobnoziarnistego (Mz 2–3φ; 0,25–0,125 mm). Ten rodzaj kruszywa piaskowego dominuje w Zatoce Pomorskiej i w rejonie Ławicy Odrzanej skąd ciągnie się daleko na wschód w strefie głębokości morza 20–30 do 40 m. Kruszywo piaskowe o podobnych cechach występuje również w środkowej części i na południowych zboczach Ławicy Słupskiej, między Ławicą Słupską i Ławicą Stilo oraz w rejonie zachodnich zboczy Basenu Gdańskiego (por. Tablica 6, 10). Piaski drobnoziarniste dobrze i bardzo dobrze wysortowane mogą być cennym surowcem do budownictwa (np. do zapraw tynkarskich).

* * *

Na mapie złóż i obszarów perspektywicznych zostały wskazane odcinki brzegu przewidziane do ochrony poprzez sztuczne zasilanie plaż piaskiem morskim – zgodnie z Ustawą o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich” (Dziennik Ustaw Nr 67 poz. 621 z 18 kwietnia 2003 r.). Za realizację Ustawy odpowiedzialne są Urzędy Morskie. Zgodnie z podziałem kompetencji odcinek brzegu od granicy z Obwodem Kaliningradzkim (Rosja) do 175 km wybrzeża oraz brzegi Półwyspu Helskiego podlegają Urzędowi Morskiemu w Gdyni, odcinek między 175 a 346,5 km – Urzędowi Morskiemu w Słupsku i odcinek od km 346,5 do granicy z Niemcami podlega Urzędowi Morskiemu w Szczecinie. Na mapie zaznaczono również obszary wskazane przez OGM PiG Urzędowi Morskim jako perspektywiczne rejonu dla występowania nagromadzeń piasków odpowiednich do zasilania najbliższych odcinków plaży. Obecnie jest wykonywane, na potrzeby Urzędu Morskiego w Szczecinie, szczegółowe zdjęcie geologiczne dna w obszarze zlokalizowanym na zachód od Kołobrzegu, mające na celu okonturowanie pól piasku o jakości odpowiedniej do zasilania brzegu na odcinku 350–352 km. Wyniki tych prac, a także ewentualne rozpoznanie kolejnych obszarów mogą dostarczyć niezwykle cennych danych dla weryfikacji i uzupełnienia mapy obszarów perspektywicznych i prognoz surowcowych w zakresie kruszyw. Dotychczas piaski do zasilania plaż rozpoznane były w kilku rejonach po podmorskiej stronie Półwyspu Helskiego i w jednym rejonie w Zatoce Pomorskiej (por. Tablica 17). Czerpane z tych miejsc piaski na zasadzie ukopu refulowane były na plażę Półwyspu Helskiego i plażę Mierzei Dziwnowskiej.

5.3. PIASKI SZKLARSKIE I FORMIERSKIE

Perspektywiczny obszar występowania piasków szklarskich położony jest w południowej części Ławicy Odrzanej w bezpośrednim sąsiedztwie z obszarem morskim Niemiec (KRAMARSKA, JUROWSKA, 1991). Charakterystyka surowca przedstawiona jest w tabeli 3. Powierzchnia rejonu dla którego ustalono zasoby prognostyczne wynosi 115 km². Piaski odznaczają się dużą jednorodnością uziarnienia (stopień wysortowania (σ_1) mniejszy od 0,35

lub 0,35–0,5). Zawartość frakcji podstawowej 0,5–0,1 mm waha się od 93 do 99,9% (średnio 99,2), przy czym najczęściej ponad 80% przypada na frakcję 0,25–0,125 mm. Piaski zawierają 92,99–97,21% SiO₂ (średnio 94,91%) i nieco podwyższone zawartości tlenków barwiących: Fe₂O₃ – 0,08–0,79 (średnio 0,27%), Al₂O₃ – 1,26–2,8% (średnio 1,87%), TiO₂ – 0,06–0,55% (średnio 0,17%) oraz 0,11–0,68% (średnio 0,32%) CaO. Tlenki barwiące – jak wykazały badania technologiczne – gromadzą się w drobniejszej klasie ziarnowej i mogą być łatwo usunięte drogą odsiewu tej frakcji (JUSKOWIAK i in., 1976).

5.4. MINERAŁY CIĘŻKIE

Perspektywiczne obszary występowania koncentracji minerałów ciężkich związane są z Ławicą Odrzańą i Ławicą Słupską.

Ławica Odrzana jest rejonem, gdzie zasoby minerałów ciężkich szacowane były kilkakrotnie, na różnym etapie geologicznego rozpoznania (JUROWSKA i in., 1978; WAJDA, 1980; KRAMARSKA, 1993). Najwyższe koncentracje minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej występują na powierzchni dna w miejscach największej miąższości morskiej pokrywy piaszczystej, która jest reliktem wału mierzejowego z okresu transgresji litorynowej. Koncentracje tworzą pasmowo wydłużone strefy lub niewielkie izolowane pola na płyciznach położonych powyżej izobaty 10 m. Wzbogacone piaski zawierają z reguły ponad 80% frakcji bardzo drobno- i drobnoziarnistej (0,063–0,25 mm) i są dobrze lub bardzo dobrze wysortowane. Warstwa wzbogacona w minerały ciężkie składa się z lamin i smug lub warstewek grubości kilku cm, przemiennie wzbogaconych i ubogich w minerały ciężkie. Najwyższe wzbogacenia w minerały ciężkie występują na powierzchni dna. Wraz z głębokością pod dnem zawartość minerałów sukcesywnie maleje – warstwa wzbogacona ma najczęściej miąższość 15–20 cm, rzadziej około 40 cm, maksymalnie dochodzi do 1 m (KRAMARSKA 1991b, 1993).

Ostatnie prace o charakterze dokumentacyjnym zostały przeprowadzone na Ławicy Odrzanej w latach 1992–1993 przez Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych w oparciu o projekt badań geologicznych wykonany w Państwowym Instytucie Geologicznym. Badaniami objęty był obszar o powierzchni około 150 km², położony na wschodnim krańcu Ławicy Odrzanej i skłonie ławicy do Basenu Bornholmskiego, w przedziale głębokości morza 9–17 m. W obszarze tym opróbowano osady w regularnej siatce 400x400 m. Wykonano 73 sondowania do głębokości 3 m i 454 sondy rdzeniowe do głębokości 1 m. Uzyskano łącznie 665 mb rdzeni osadów. Badania laboratoryjne próbek na zawartość minerałów ciężkich zostały wykonane w Laboratorium Metalurgicznym firmy Micron Research w Osborne Park w Australii. Na podstawie uzyskanych wyników wykonano trzy oceny złoża: w Australii, na modelu wielobocznym i na modelu blokowym dla klas zawartości minerałów ciężkich >2%, >2,5% i >3% (JONES, 1994) oraz w Polsce metodą średniej arytmetycznej dla klasy zawartości minerałów ciężkich >3% (KRAMARSKA, 1993). Wszystkie oceny są podobne, chociaż dla klasy >3% metodą poligonalną uzyskano wyższą zawartość minerałów niż

metodą blokową, a najniższą zawartość uzyskano metodą średniej arytmetycznej. Różnica między maksymalną a minimalną zawartością minerałów ciężkich wynosi 20%. Dla klasy >2% oceny metodą poligonalną i blokową są prawie takie same. Z wyliczeń wynika, że zasoby piasków zawierających minerały ciężkie w ilości >2% są prawie dwukrotnie wyższe niż zasoby zawierające minerały ciężkie w ilości >3%.

Na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17) zaznaczono obszary o najwyższej zawartości minerałów ciężkich, dla których zostały ustalone zasoby prognostyczne w wyniku prac dokumentacyjnych wykonanych w latach 1992–1993 (wg obliczeń wykonanych w Polsce; KRAMARSKA, 1993). W wyróżnionych obszarach I i II o łącznej powierzchni 7,7 km² zasoby prognostyczne zostały ustalone w ilości 424 400 Mg minerałów ciężkich przy zawartości minerałów ciężkich od około 3% wag. do około 20% wag. oraz miąższości warstwy złożowej 0,5 m i 1 m. Dokładniejsze dane o zasobach prognostycznych dla poszczególnych obszarów podano w tabeli 3. Podstawą wyliczenia ilości poszczególnych minerałów użytecznych były australijskie wyniki separacji i odzysku minerałów, które dały w przybliżeniu następujący zestaw: ilmenit 31%, leukoksen 4%, rutyl 4%, cyrkon 5%, granaty 32%.

Tabela 3

Wykaz obszarów prognostycznych występowania minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej

Numer obszaru na mapie	Pow. obszaru (km ²)	Rodzaj kopaliny	Wiek kompleksu litolog.-surowcow.	Parametry jakościowe	Średnia grubość nadkładu (m)	Grubość kompleksu litologiczno-surowcowego (m)	Zasoby w kat. D ₁ (tys. Mg)
1	2	3	4	5	6	7	8
I	5,8	minerały ciężkie	Holocen	zawartość min. ciężkich 3,02–20,84% wag. (śr. 6,2% wag.)	bez nadkładu	0,5–1,0	290,5
II	1,9	minerały ciężkie	Holocen	zawartość min. ciężkich 3,31–9,17% wag. (śr. 5,5% wag.)	bez nadkładu	0,5	75,7
Razem w obszarach prognostycznych I i II zasoby w kat. D ₁ wynoszą 366,2 tys. Mg, w tym:						ilmenit 113,5 tys. Mg leukoksen 14,6 tys. Mg rutyl 14,6 tys. Mg cyrkon 18,3 tys. Mg granaty 117,2 tys. Mg	

Perspektywiczną dla poszukiwań koncentracji minerałów ciężkich jest również **Ławica Słupska**, gdzie obszary piasków o znacznej zawartości minerałów ciężkich występują w pobliżu pól złożowych kruszywa naturalnego. Badania geologiczne przeprowadzone w latach 1974–1977 miały charakter wstępnych prac rozpoznawczych (KOTLIŃSKI, KRAMARSKA, 1977). Według ówczesnego rozpoznania Ławicy Słupskiej perspektywiczne obszary koncentracji minerałów ciężkich związane są z występowaniem na dnie bardzo dobrze wysortowanych piasków drobnoziarnistych o średniej średnicy ziarn (Mz) 0,19 i 0,18 mm. Zawartość frakcji 0,063–0,25mm wynosi tu ponad 90 %. Wzbogacenia w minerały ciężkie układają się w laminy grubości 2–10 mm i wiążą się głównie z przypowierzchniową warstwą piasków o miąższości około 30 cm.

Wyróżnione trzy obszary perspektywiczne zajmują niewielkie powierzchnie, rzędu kilkunastu km². W obszarze położonym pomiędzy złożami kruszywa piaskowo-żwirowego średnia zawartość minerałów ciężkich – obliczona na podstawie wyników z 11 próbek osadów – wynosi 13,1% (maks. 45%). W obszarze perspektywnym położonym na południowy wschód od złóż kruszywa średnia zawartość minerałów ciężkich – obliczona na podstawie wyników z 6 próbek osadów – wynosi 3,1% wag. (maks. 5%). Trzeci obszar, położony w terenie górniczym, wyróżniony został na podstawie dwóch punktów dokumentacyjnych o zawartości minerałów ciężkich 6,5 i 17,4% wag. Według wstępnych szacunków w tonie piasku w pierwszym z wymienionych obszarów perspektywnych występuje około 40 kg ilmenitu, 3,5 kg cyrkonu, rutyłu i monacytu oraz 30 kg granatów, w obszarze drugim około 17 kg ilmenitu, 2,5 kg cyrkonu, rutyłu i monacytu oraz 9,5 kg granatów. Ogólne zasoby piasków wzbogaconych w minerały ciężkie nie były szacowane.

5.5. BURSZTYN

Potencjalnym źródłem bursztynu w polskiej strefie Bałtyku mogą być rozsypiska przybrzeżno-morskie związane z transgresją holoceniową morza litorynowego, zaś obszarem perspektywnym – według obecnego stanu wiedzy – można uznać Zatokę Gdańską, a ściślej paleodeltę Wisły znajdującą się obecnie na dnie zatoki. Uważa się, że obszarem alimentacji przybrzeżno-morskich rozsypisk bursztynu były wychodnie trzeciorzędowych bursztynonośnych utworów na Półwyspie Sambijskim. Decydującym zaś czynnikiem tworzenia się nagromadzeń była abrazja klifu sambijskiego, redepozycja bursztynonośnych osadów wzdłuż zmieniającego swe położenie brzegu morskiego Zatoki Gdańskiej i wreszcie akumulacja materiału na brzegu. Nagromadzenia bursztynu związane są zatem z procesami sedymentacji plażowej na granicy dwóch środowisk – morskiego i deltowego (m.in. LISTKOWSKI, ŁAZOWSKI, 1975; KRAMARSKA, ZACHOWICZ, 2003).

Przesłanką dla wyznaczenia paleodelty Wisły jako obszaru perspektywnego są udokumentowane wystąpienia i wieloletnia eksploatacja bursztynu wzdłuż wybrzeży Zatoki Gdańskiej – na obszarze współczesnej delty Wisły i na Mierzei Wiślanej (por. KRAMARSKA, 2000a, b). Geologiczne warunki występowania nagromadzeń bursztynu – nierównomierne i

zróznicowane ilościowo koncentracje bursztynu w osadach – powodują duże trudności w formułowaniu prognoz surowcowych, zwłaszcza przy obecnym stanie rozpoznania geologicznego obszaru, bazującym na zdjęciu w skali 1:200 000. Z tego powodu zaznaczony na mapie obszar perspektywiczny obejmuje całą paleodeltę. Dla dwóch rejonów położonych na wschód od Portu Północnego i na wschód od ujścia Wisły Śmiałej zostały opracowane pakiety informacyjne dot. potencjalnej bursztynoności (KRAMARSKA, 2000a, b), a następnie zostały wydane przez Ministra Środowiska koncesje na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż bursztynu w tych rejonach. Wyniki prac poszukiwawczo-rozpoznawczych mogą posłużyć do weryfikacji perspektywiczności obszaru paleodelty. Istotne znaczenia dla prognozy surowcowej będą miały również wyniki prac rozpoczętych przez Państwowy Instytut Geologiczny w 2005 r. i planowanych do roku 2008, w ramach zadania zamawianego przez Ministra Środowiska pn. „Rozpoznanie i wizualizacja budowy geologicznej Zatoki Gdańskiej dla potrzeb gospodarowania zasobami naturalnymi”.

5.6. PROPONOWANE GRANICE BLOKÓW KONCESYJNYCH

Na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17) zostały zaproponowane bloki koncesyjne dla poszukiwania i rozpoznawania surowców okruchowych. Granice bloków tworzy regularna siatka kwadratowa oparta na kilometrowej siatce geodezyjnej. Standardowy blok koncesyjny ma wymiary 10x10 km. Przy granicy obszarów perspektywicznych niektóre kwadraty siatki zostały połączone. Proponując sposób tak regularnego podziału brano pod uwagę ogólnie słaby stopień rozpoznania geologicznego obszaru, szczególnie dla celów surowcowych. Niektóre obszary perspektywiczne, zwłaszcza kruszywa piaskowo-żwirowego, wyznaczone są na podstawie nielicznych próbek czerpakowych i nie posiadają rozpoznania sondowaniami. Odległości pomiędzy punktami opróbowania osadów, miejscami znaczne, powodują, że część pól jest nierozpoznana. Taką ewentualność sugerować może porównanie powierzchni pól złożowych kruszywa w udokumentowanych złożach z gęstością opróbowania obszarów perspektywicznych położonych poza obszarami dokumentowanych złóż. Pola te są częstokroć zdecydowanie mniejsze niż odległości pomiędzy punktami dokumentacyjnymi w obszarach poza rejonami złóż.

Zaproponowana regularna siatka bloków koncesyjnych ułatwia ewentualny podział na bloki mniejsze lub łączenie bloków, stosownie do potrzeb i możliwości koncesjodawcy. Powierzchnia bloku 100 km² zdaje się być optymalna w świetle doświadczeń w pracach geologiczno-rozpoznawczych surowców okruchowych w akwenie Morza Bałtyckiego. Dokumentowany obszar Zatoki Koszalińskiej miał powierzchnię ponad 100 km² (powierzchnia pól złożowych kruszywa wyniosła 20,7 km²), wielkość obszaru objętego pracami rozpoznawczo-dokumentacyjnymi minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej wynosiła około 150 km² (por. rozdz. 5.4.). Obszar położony na wysokości 345–360 m brzegu, na którym prowadzone jest obecnie rozpoznanie nagromadzeń piasku do zasilania brzegu, ma powierzchnię 70 km².

6. OCHRONA PRZYRODY

Niezależnie od zastosowanej metody i skali eksploatacji nagromadzeń złóż surowców okruchowych następuje naruszenie istotnej składowej środowiska morskiego, jaką są osady denne, co może pociągnąć za sobą następujące skutki dla biocenozy:

- zniszczenie tarlisk gatunków ryb, które składają ikrę przy dnie,
- zniszczenie środowiska bytowania gatunków bentosowych,
- zakłócenie cyklu wędrówek ptaków.
- zmniejszenie produkcji biologicznej fauny dennej stanowiącej składnik pożywienia poławianych ryb,
- pogorszenie warunków tlenowych w warstwie wody nad dnem,
- wtórne wprowadzenie niektórych zanieczyszczeń w biogeochemiczny obieg akwenu.

Określając uwarunkowania środowiskowo-biocenotyczne obszarów morskich w aspekcie rozpoznania i eksploatacji złóż surowców okruchowych konieczne jest wzięcie pod uwagę konfliktów wynikających z tej działalności w odniesieniu do funkcjonowania obszarów chronionych. Obecnie w obszarze morza terytorialnego i wód wewnętrznych znajdują się obszary chronione w systemie HELCOM BSPA (Bałtycki System Chronionych Obszarów). Są to: Zalew Pucki oraz wody morskie graniczące z Wolińskim Parkiem Narodowym i Słowińskim Parkiem Narodowym do izobaty 10. Wśród obszarów zaproponowanych do sieci BSPA z obszaru polskiej strefy ekonomicznej należą:

- wody przylegające do Parku Krajobrazowego Mierzeja Wiślana,
- wody przylegające do rezerwatu przyrody „Kępa Redłowska”,
- wody przylegające do Nadmorskiego Parku Krajobrazowego,
- Ławica Słupska,
- Ławica Odrzana.

Obok Bałtyckiego Systemu Obszarów Chronionych powołanego w celu ograniczenia przemian antropogenicznych w najcenniejszych obszarach Bałtyku powołano Europejską Sieć Ekologiczną NATURA 2000 w celu ochrony poszczególnych cennych i zagrożonych składników różnorodności biologicznej kontynentu, obejmującą ochronę siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (dyrektywa siedliskowa) a także ochrony dzikich ptaków (dyrektywa ptasia).

Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2004 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 (art. 28 ust. 1 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody; Dz. U. Nr 92, poz. 880) wyznaczono następujące obszary specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 pod nazwą:

- Ujście Wisły (kod obszaru PLB220004), obejmujące obszar 1.014,7 ha, w tym: 174,5 ha położonych na wodach przybrzeżnych Morza Bałtyckiego;

- Zatoka Pucka (kod obszaru PLB220005), obejmująca obszar 62.045,5 ha o współrzędnych 18° 39' długości geograficznej wschodniej i 54° 36' szerokości geograficznej północnej, w tym: 61.107,6 ha położonych na wodach przybrzeżnych Morza Bałtyckiego
- Ławica Słupska (kod obszaru PLB990001), obejmująca obszar 76.594,0 ha położony na Morzu Bałtyckim o współrzędnych 16° 57' długości geograficznej wschodniej i 54° 57' szerokości geograficznej północnej;
- Przybrzeżne Wody Bałtyku (kod obszaru PLB990002), obejmujące obszar 211.741,2 ha o współrzędnych 18° 17' długości geograficznej wschodniej i 54° 49' szerokości geograficznej północnej w tym: 211.735,9 ha położonych na wodach przybrzeżnych Morza Bałtyckiego;
- Zatoka Pomorska (kod obszaru PLB990003), obejmująca obszar 591.112,8 ha o współrzędnych 14° 32' długości geograficznej wschodniej i 54° 24' szerokości geograficznej północnej, w tym: 591.063,7 ha położonych na wodach przybrzeżnych Morza Bałtyckiego.
- Zatoka Pucka (kod obszaru PLH 220032) należy do Specjalnych Obszarów Ochrony (została uznana za ostoję siedliskową).

Wymienione powyżej obszary HELCOM BSPA, NATURA 2000 oraz rezerваты, parki narodowe i krajobrazowe zostały uwidocznione na mapie złóż i obszarów perspektywicznych surowców okruchowych (Tablica 17).

7. ELEMENTY INFRASTRUKTURY TECHNICZNEJ

Elementem, który może ograniczać pozyskiwanie surowców okruchowych z dna morskiego jest infrastruktura techniczna istniejąca w obszarach morskich. Składają się na nią wydzielone akwenty, obiekty hydrotechniczne kubaturowe oraz liniowe jak kable energetyczne i rurociągi a także występowanie na dnie wszelkiego rodzaju przeszkód. Mogą to być wraki, pozostałości po usuniętych wrakach, zatopiona amunicja, jak również głazy, pnie, korzenie oraz pozostałości różnorodnych urządzeń czy budowli hydrotechnicznych. Większa część obiektów i przeszkód przedstawiana jest na mapach nawigacyjnych, ze względu na bezpośrednie zagrożenia dla żeglugi, połowów trałowych i środowiska morskiego, a lokalizacja wraków znajduje się w Wykazie Wraków Urzędu Morskich w Gdyni, Słupsku i Szczecinie. Natomiast znaczna część pojedynczych elementów wraków, głazów, zanieczyszczeń lub innych tzw. zaczepów nie jest opisana. Tego rodzaju przeszkody mogą stanowić pewne zagrożenie przy wydobywaniu osadów, przy czym tylko niewielka część z tych przeszkód znajduje się w strefie do 30 m głębokości. Ważniejsze elementy związane z działalnością człowieka przedstawione są na mapie złóż i obszarów perspektywicznych (Tablica 17).

Rurociągi, kolektory i kable, podmorskie. Z północy do rejonu portu we Władysławowie dochodzi rurociąg gazowy doprowadzający do miasta gaz ziemny z platformy wydobywczej „Petrobaltic”. Inny rurociąg znajduje się w południowej części Zatoki Gdańskiej. Jest to kolektor oczyszczalni ścieków Gdańsk-Wschód. Kolektor ten wchodzi w morze z Wyspy Sobieszewskiej, między 53 i 54 km brzegu, na odległość około 3 km w głąb morza. Obecnie planowane są dwa kolektory w południowo-zachodniej części Zatoki Gdańskiej na wysokości miejscowości Mechelinki. Jeden kolektor ma odprowadzać oczyszczone ścieki z oczyszczalni „Dębogórze” na odległość około 3 km w morze zaś drugi, który biegnie równoległe do poprzedniego będzie odprowadzał solankę wyplukaną ze złóż soli kamiennej.

Przewiduje się budowę rurociągu na Bornholm, jednak jest ona jeszcze na etapie uzgodnień. Prawdopodobne są dwie wersje dojścia rurociągu do brzegu: w pobliżu Mrzeżyna (350 km brzegu) lub na wschód od Niechorza (361 km brzegu).

Duża ilość kabli położona jest na dnie Zatoki Gdańskiej, między portami Gdańska, Gdyni i Helem. Kilka kabli łączy Półwysep Helski z rejonem Gdyni Oksywie, dochodząc do brzegu pomiędzy 89 i 91 km brzegu. Kolejny kabel łączy porty Gdańska i Gdyni. W rejonie na zachód od Władysławowa i dalej w kierunku północno-wschodnim planowana jest budowa kabla światłowodowego, który dochodzi do brzegu w sąsiedztwie km 126. Kable telekomunikacyjne łączące Bornholm z wybrzeżem polskim dochodzą do brzegu w rejonie Kołobrzegu (około 335 km) i w okolicy południowego krańca jeziora Jamno (300km). Przez Ławicę Słupską w kierunku Ustki biegnie kabel energetyczny ze Szwecji. Wyjście tego kabla na ląd znajduje się w okolicach 238 km brzegu. W rejonie podległym Urzędowi Morskiemu w Słupsku obiekty typu rurociągi podmorskie (kolektory) dotychczas nie były budowane.

Farmy wiatrowe. W bezpośrednim sąsiedztwie brzegu między Władysławowem a Łebą planowana jest budowa dwu farm wiatrowych. Jedna z nich lokalizowana jest pomiędzy 140 i 149 km brzegu. Obszar zajmuje pas o szerokości 1,5 km i oddalony jest 2–3 km od brzegu. Położenie drugiej z farm planowane jest pomiędzy 161 i 174 km brzegu, również w pasie o szerokości około 1,5 km położonym około 2 km od brzegu.

Budowa kolejnych dwu farm wiatrowych planowana jest na wybrzeżu środkowym. Jedna ma być zlokalizowana naprzeciw mierzei Jeziora Jamno (na NW od 294 km brzegu), w odległości około 8 km od wybrzeża. Jest to obszar o wymiarach około 4x4 km. Druga farma ma być zlokalizowana na południowy zachód od poprzedniej (pomiędzy 307 i 311 km brzegu) w odległości około 3 km od wybrzeża.

Brak na razie planów posadowienia farm wiatrowych w rejonie podległym Urzędowi Morskiemu w Szczecinie.

Tory wodne, kotwicowiska i redy. We wschodniej części wybrzeża, podlegającej kompetencji Urzędu Morskiego w Gdyni (km brzegu 0–175), znajdują się redy portów Gdańska, Gdyni i Władysławowa. Reda portu Gdańsk i Portu Północnego rozciąga się na północ i wschód od wejść do tych portów. Reda rozciąga się pasem szerokości 6,5 km na

odległość 6 km od brzegu. W obrębie redy wyznaczono pięć kotwiczowisk. Obszar przecinają tory podejściowe do portu Gdańskiego, portu Północnego i wejścia na Wisłę Śmiałą.

Reda portu Gdynia rozciąga się od brzegu w kierunku wschodnim pasem szerokości 3,5 km, pomiędzy 85 i 89 km brzegu. W jej obrębie znajduje się tor podejściowy do Gdyni i dwa kotwiczowiska. Trzecie kotwiczowisko portu Gdynia znajduje się dalej na wschód poza torem wodnym łączącym porty Gdańsk i Gdynia i zajmuje obszar 1x4 km.

Reda portu Władysławowo zlokalizowana jest pomiędzy 123 i 126 km brzegu i oddalona jest maksymalnie 2 km od linii brzegowej.

Oprócz wspomnianych torów podejściowych do portów i toru wodnego łączącego port Gdyni i Gdańska w omawianym rejonie znajdują się tory wodne od portów do boi GN zlokalizowanej naprzeciwko cypla Półwyspu Helskiego. Po torach tych odbywa się intensywny ruch statków.

W obszarze działania Urzędu Morskiego w Słupsku (km brzegu 175–346,5) znajdują się redy sześciu portów morskich. Redy portów Kołobrzeg, Darłowo, Ustka, i Łeba to akweny ograniczone linią kołową o promieniu 1,5 Mm, natomiast redy Dźwirzyna, Rowów to akweny ograniczone linią kołową 0,5 Mm (licząc od jednej z latarni wejściowej do portu). Podobnie kotwiczowiska dla tych portów wyznaczone są jako rejony o głębokości 12–14 do 16–17 m w bezpośrednim sąsiedztwie punktów wyznaczonych z namiarów na brzeg. Wobec warunków pogodowych na południowym wybrzeżu Bałtyku (niebezpieczeństwo silnych wiatrów i falowania z sektora północnego i zachodniego) nieosłonięte kotwiczowiska są rzadko wykorzystywane. Niewielkie rozmiary tych akwenów i zlokalizowanie w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu (redy znajdują się niemal w całości w obrębie strefy ochrony brzegu) powodują, że ich położenie nie stanowi istotnej przeszkody dla zlokalizowania obszarów perspektywicznych występowania piasków do zasilania brzegu. Tory podejściowe do tych portów są wyznaczone jako linie łączące odpowiednie boje z wejściem do portu lub namiary na obiekty lądowe i światła. Podobnie jak redy i kotwiczowiska znajdują się one w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu, w strefie w której nie przewiduje się eksploatacji surowców z dna morskiego.

W obszarze podległym administracyjnie Urzędowi Morskiemu w Szczecinie (km brzegu od km 346,5–428) znajdują się redy portów Szczecin i Świnoujście. Redy te zgrupowane są w zachodniej części obszaru wzdłuż toru podejściowego do portu w Świnoujściu. Po tym torze podejściowym odbywa się najbardziej intensywny ruch statków w całym rejonie. Ze względu na niewielki ruch jednostek reda portu w Dziwnowie i tor podejściowy do tego portu mają niewielkie znaczenie.

Akweny okresowo zamykane. Są to przeważnie poligony wojskowe, gdzie odbywają się strzelania amunicją, której resztki mogą pozostać na dnie. Największy akwen niedostępny okresowo dla żeglugi i rybołówstwa znajduje się na północ od Mierzi Wiślanej i leży on niemal w całości poza obszarami perspektywicznymi występowania surowców okruchowych.

W obrębie Zatoki Puckiej dwa akweny okresowo zamykane ciągną się od portu wojennego w Helu po okolice Jastarni. Po drugiej stronie Zatoki Puckiej położony jest kolejny akwen często zamykany, ciągnący się pasem o szerokości 1 km od tzw. torpedowni (89–90 km brzegu) ku NE na odległość 9 km.

Po zewnętrznej stronie Półwyspu Helskiego znajdują się dwa duże poligony: akwen 10 i 11. Szczególnie akwen 11 jest obszarem gdzie znajdują się liczne wraki oraz miny i amunicja.

Akweny niebezpieczne i okresowo zamykane w obszarze działania Urzędu Morskiego w Słupsku to przeważnie poligony wojskowe, gdzie odbywają się strzelania amunicją, której resztki mogą pozostać na dnie. W rozważanym rejonie mieści się ważny i często używany wojskowy poligon morski. W zależności od rodzaju zadań wykonywanych przez wojsko poligon zamykany jest na odległości około 10 lub 15 km od brzegu, i dodatkowo otoczony obszarami niebezpiecznymi dla żeglugi. Akwen zamykany i niebezpieczny rozciąga się na zachód od portu Ustka (linia ograniczająca go biegnie w kierunku północy z niewielkim odchyleniem na zachód począwszy od 234 km brzegu) do połowy mierzei jeziora Kopań (tu linia ograniczająca akwen biegnie od około 236,5 km brzegu w kierunku północno-zachodnim). Prócz tego są dwa mniejsze obszary. Pierwszy pomiędzy Ustką a Jarosławcem (od 240,5 km do 244 km sięgając w morze około 3,5 km). Kolejny na wschód od Kołobrzegu. Jest to obszar, na którym zabronione jest kotwiczenie i rybołówstwo. Akwen ten zaczyna się około 11 km od brzegu w rejonie 327 km i rozciąga się w kierunku NWN na odległość około 12 km pasem o szerokości około 2 km.

W obszarze działania Urzędu Morskiego w Szczecinie znajdują się dwa akweny niebezpieczne i okresowo zamykane. Pierwszy z tych obszarów znajduje się pomiędzy Międzyzdrojami a Międzywodziem w odległości około 5 km od brzegu – ma kształt czworokąta o długości około 10 km i szerokości około 5 km. Drugi obszar pomiędzy Dziwnowem a Pobierowem (pomiędzy 381 i 388 km brzegu). Obszar ten zbliżony jest kształtem do kwadratu i rozciąga się od samego brzegu na odległość około 8 km.

Wysypiska. W Zatoce Gdańskiej wydzielone są dwa obszary klapowisk (wysypiska). Wysypisko Gdańska tworzy kolistą obszar o średnicy 2 km położony 16 km na północ od 55 km brzegu. Wysypisko Gdyni o powierzchni 1,5x4 km, zlokalizowane jest na północ od toru wodnego łączącego redę Gdyni z boją GN. Wysypiska znajdują się na głębokości około 30 m. Na pozostałych obszarach administrowanych przez Urzędy Morskie w Słupsku i Szczecinie nie ma wyznaczonych obszarów klapowisk.

Wraki i inne przeszkody. Główne wraki przedstawione są na mapach nawigacyjnych i w Wykazie Wraków Urzędów Morskich. W wykazach przeszkód Urzędów Morskich w całym obszarze rejestrowane są także liczne przeszkody na dnie nieznanego pochodzenia i nierozpoznanej wielkości, tzw. zaczepy, napotymane zwykle podczas połowów sieciowych. Tego typu przeszkody powinny być zlokalizowane w czasie szczegółowych prac geologiczno-dokumentacyjnych surowców okruchowych.

Zabytkowe wraki i inne stanowiska archeologiczne. Przy poszukiwaniu surowców należy zwracać uwagę na podwodne stanowiska archeologiczne. Na dnie morza występują zabytkowe wraki, których ewidencję prowadzi Centralne Muzeum Morskie w Gdańsku. Możliwe jest rozpoznanie nie odkrytych dotąd wraków. Ponadto mogą być rozpoznane stanowiska kultur mezo- i neolitycznych. Wskazują na taką możliwość doświadczenia duńskie i niemieckie, skąd znane są wystąpienia takich stanowisk w strefie głębokości morza do 10 m. Prawdopodobnym obszarem wystąpienia stanowisk archeologicznych związanych z osadnictwem jest Zatoka Pucka.

6. LITERATURA

- AKERMAN K., KRAJEWSKI J., 1959 – Studia nad selektywnym wzbogacaniem bałtyckich piasków cyrkononośnych, cz. II. *Przem. Chem.*, **38**.
- BAGDACH Z., LASKO S. 1989 – Technologia pozyskiwania ilmenitu, rutylu, cykonu i granatów z piasków morskich Ławicy Słupskiej i Odrzanej. *Technika i gospodarka morska*, Nr 7(452): 330–332.
- BLASCHISHIN A., 1976 – Typy donnych osadkow. W: Gudelis V. K., Emelianov E. M. (red.), *Geologia Bałtyjskiego Moria*, Izdatielstwo "Mosklas", Vilnius. 187–212.
- CIEŚLAK A., 2000 – Strategia ochrony brzegów morskich. Projekt Nr 9T 12C 069 97 C/3636. Inst. Morski, Gdańsk.
- CZEKAŃSKA M., 1927 – Podział i charakterystyka głębokościowa Bałtyku Południowego. *Bad. Geogr.*, 2/3: 15–25.
- JONES PH., 1994 – Baltic mineral sands project, Inferred mineral resource estimate. CAG PIG, OGM, Gdańsk. Nr arch. 338.
- JUROWSKA Z., MASŁOWSKA M., MICHAŁOWSKA M., TROKOWICZ D., 1978 – Mapa osadów dennych Ławicy Odrzanej w skali 1:200 000 z uwzględnieniem koncentracji 9 minerałów ciężkich. CAG PIG-OGM Gdańsk. Nr arch. 47.
- JUSKOWIAK O., GUSTKOWICZ S., SOKOŁOWSKA G., 1976 – Badania technologiczne frakcji piaszczystej morskich osadów Bałtyku Południowego. CAG PIG, Warszawa. Nr inw. 21172.
- KOLP O., 1966 – Rezente Fazies der westlichen und südlichen Ostsee. *Petermans geographische mittlungen* 110, 1 Quartalsheft, Leipzig. 1–18.
- KOTLIŃSKI R., 1985 – Osady dna Ławicy Słupskiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, Nr 352. Warszawa. 5–56.
- KOTLIŃSKI R., KRAMARSKA R., 1977 – Badania nad wytypowaniem najbardziej perspektywicznego rejonu dla poszukiwań złóż rozsypanych minerałów ciężkich w strefie szelfu południowego Bałtyku. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 49.
- KRAMARSKA R., 1990 – Dokumentacja zasobowa złóż minerałów ciężkich w rejonie Ławicy Odrzanej "Mapa nagromadzeń minerałów ciężkich w rejonie Ławicy Odrzanej w grupie D₁" CAG PIG-OGM Gdańsk. Nr arch. 208.
- KRAMARSKA R., 1991a – Objasnienia do mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200000, arkusze: Ławica Słupska i Ławica Słupska - północ. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R., 1991b – Badania mineralogiczne i analiza porównawcza składników użytecznych wybranych rejonów Ławicy Odrzanej. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 225.

- KRAMARSKA R., 1993 – Poszukiwanie i rozpoznanie złóż minerałów ciężkich w rejonie Ławicy Odrzanej – opracowanie i ocena wyników 1. i 2. fazy koncesji. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 338.
- KRAMARSKA R., 1995 – Osady powierzchni dna. Tablica XXIV. W: Atlas geologiczny południowego Bałtyku, 1:500 000. (red. J. E. Mojski et al.). Państw. Inst. Geol. Sopot – Warszawa
- KRAMARSKA R., 2000a – Pakiet informacyjny dla potencjalnie bursztynonośnych obszarów Zatoki Gdańskiej. Zatoka Gdańska – rejon 1. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 613.
- KRAMARSKA R., 2000b – Pakiet informacyjny dla potencjalnie bursztynonośnych obszarów Zatoki Gdańskiej. Zatoka Gdańska – rejon 2. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 614.
- KRAMARSKA R., JEGLIŃSKI W., 2001 – Cyfrowa mapa batymetryczna południowego Bałtyku. Prz. Geol., vol.49, nr 6: 504–507.
- KRAMARSKA R., JUROWSKA Z., 1991 – Objasnienia do mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200000, arkusze: Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R., ZACHOWICZ J., 2003 – Holocenijskie zmiany linii brzegowej morza i nagromadzenia bursztynu na obszarze delty Wisły. W: Bursztyn, poglądy, opinie. Materiały z seminariów Amberif 1994–2004, (red. B. Kosmowska-Ceranowicz, W. Gierłowski). Międz. Stow. Burszt., Muz. Ziemi PAN, Międz. Targi Gd. SA. Gdańsk–Warszawa 2005: 16–21.
- LISTKOWSKI W., ŁAZOWSKI L., 1975 – Wyniki badań złóż bursztynu w okolicach Gdańska. Prz. Geol., 23 (8): 385–388.
- ŁOMNIEWSKI K., MAŃKOWSKI W., ZALEWSKI J., 1975 – Morze Bałtyckie, PWN, Warszawa. 507.
- ŁOZIŃSKI J., MASICKA H., 1959 – Badania minerałów ciężkich w piaskach plażowych Zatoki Gdańskiej. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, **32**, 4: 579–599.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1984 – Technologiczna ocena możliwości wzbogacania piasków morskich Bałtyku. Pr. Nauk. Inst. Chemii Nieorg. i Metalurgii Pierw. Rzadkich Polit. Wrocław, Nr 51, Seria :Konferencje, Nr 10: 107–116.
- MAJEWSKI A., 1987 – Charakterystyka wód. w: B. Augustowski (red.) Bałtyk Południowy, Ossolineum, Wrocław. 173–217.
- MAPA GEOLOGICZNA dna Bałtyku w skali 1:200 000, 1989–1995, (red. J.E.Mojski). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MASŁOWSKA M., 2005 – Złoża kruszywa naturalnego w polskiej części Morza Bałtyckiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.* **416**: 5–43.
- MASŁOWSKA M., KRAMARSKA R., NOWAK B., UŚCINOWICZ SZ., ZAMORSKI J., 1985 – Dokumentacja zasobowa w kategorii C₁ i C₂ złoża kruszywa naturalnego *Ławica Słupska*. CAG PIG-OGM, Gdańsk. Nr arch. 205.
- MASŁOWSKA M., MICHAŁOWSKA M., 1988 – Dokumentacja zasobowa w kategorii C₂ złoża kruszywa naturalnego *Zatoka Koszalińska*. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 204.

- MASŁOWSKA M., MICHAŁOWSKA M., 1991 – Dokumentacja zasobowa w kategorii C₂ złoża kruszywa naturalnego *Południowa Ławica Środkowa*. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 155.
- MASŁOWSKA M., MICHAŁOWSKA M., 1995 – Geological structure of South-Middle Bank, South Baltic, Poland. *Prace Państw. Inst. Geol.*, **149**: 215–219.
- MĄCZKA L., RACINOWSKI R., 1960 – Formy występowania skupień minerałów ciężkich na plażach Pomorza Zachodniego. *Kw. Geol.*, **13**, 1: 221–232.
- PIKIES R., 1995 – Morfogeneza dna. W: Atlas geologiczny południowego Bałtyku, 1:500 000. (red. J. E. Mojski et al.). Państw. Inst. Geol. Sopot – Warszawa: 34–36.
- PRATJE O., 1948 – Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee und ihre Bedeutung für die Ausdeutung fossiler Sedimente. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, Bd. 1, Heft 2/3: 45–61.
- ROSA B., 1967 – Analiza morfologiczna dna południowego Bałtyku. UMK, Toruń: 152
- SAWICKA E., 1953 – Minerale ciężkie w piaskach plażowych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Biul. Inst. Geol.*, [bez nr]: 29–35.
- UŚCINOWICZ SZ., 1995, – Ewolucja południowego Bałtyku podczas późnego glacjału I holocenu. W: Atlas geologiczny południowego Bałtyku, 1:500 000. (red. J. E. Mojski et al.). Państw. Inst. Geol. Sopot–Warszawa.
- UŚCINOWICZ SZ., 1985 – Litodynamika podwodnego skłonu brzegowego na odcinku Mrzeżyno–Rowy. *Prz. Geol.*, **33** (12): 683–688.
- UŚCINOWICZ SZ., 2000 – Litofacje osadów dna południowej części Basenu Bornholmskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **173**: 49ss.
- UŚCINOWICZ SZ., ZACHOWICZ J., 1991a – Objasnienia do mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200 000, arkusze: Røne, Nexø. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- UŚCINOWICZ SZ., ZACHOWICZ J., 1991b – Objasnienia do mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200 000, arkusze: Łeba, Słupsk. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WAJDA W., 1970 – Minerale ciężkie piasków dennych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, **40**, 1: 131–149.
- WAJDA W., 1977 – Badania litologiczne i mineralogiczne osadów dennych rejonu Ławicy Odrzanej. *Stud. i Mater. Ocean.*, **19**: 265–270.
- WAJDA W., 1980 – Osady piaszczyste południowego Bałtyku w aspekcie badań przydatnych gospodarczo koncentracji minerałów ciężkich. *Peribalticum I*, GTN, Gdańsk. 59–78.
- WAJDA W., 1982 – Banka Odry po rezultatach nowych geologicznych issledowanij. *Peribalticum II*, GTN, Gdańsk. 171–183.
- ZWIERZYCKI J., 1947 – Złóża cyrkonu na Pomorzu Zachodnim. Hutnik.
- ZACHOWICZ J., 2005 – Raport o oddziaływaniu na środowisko morskie przedsięwzięcia polegającego na eksploatacji złoża kruszywa naturalnego „Południowa Ławica Środkowa”. CAG PIG, OGM Gdańsk. Nr arch. 735.