

Czwartorzęd Zatoki Pomorskiej i perspektywy surowcowe

Regina Kramarska¹, Wojciech Jegliński¹, Dorota Kaulbarsz¹, Urszula Pączek¹,
Piotr Przezdziecki¹, Izabela Bojakowska², Dorota Koszka-Maróń¹,
Justyna Relisko-Rybak³, Szymon Uścińowicz¹

The Quaternary of the Pomerania Bay and prospects of raw materials. Prz. Geol., 64: 552–563.

Abstract. This paper summarizes four years of geological research in the Pomerania Bay and Oder Bank. As a result of the synthesis of new and archival data, we have compiled maps, cross-sections and models depicting the geological structure of the Quaternary and its basement, and the relief of structural surfaces. Two main seismostratigraphic sedimentary complexes are distinguished. The first corresponds to Pleistocene glacial and interstadial deposits. The second one is composed of Late Glacial and Holocene lacustrine-swamp and marine sediments. The outline of geochemical condition of the sea bottom is also presented. The content of the elements is always below the acceptable concentration and the origin of the elements is geogenic. Special attention has been given to mineral resources on the bottom surface and to documenting deposits of sand containing heavy minerals. The characterization of areas with sands suitable for beach nourishment and valorization of deposits and prospective areas have also been of great importance. The history of the development of the geological structure and palaeogeography of the area is the summary of the results.

Keywords: marine geology, Quaternary, Southern Baltic Sea

Prace badawcze, prowadzone w latach 2009–2013 przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) przy udziale Instytutu Morskiego w Gdańsku w zachodniej, płytkowodnej części polskich obszarów morskich, dostarczyły nowych danych pozwalających na dokładniejsze rozpoznanie budowy geologicznej pokrywy czwartorzędowej i rozwoju paleogeograficznego obszaru, określenie stanu geochemicznego osadów oraz weryfikację perspektyw w zakresie surowców okrucowych. Rozpoznanie obszaru obejmującego polską część Zatoki Pomorskiej i Ławicy Odrzanej zostało dostosowane do skali 1 : 100 000. Szczegółowe badania dna, z wizualizacją w skali 1 : 25 000, przeprowadzono na dwóch poligonach. Na poligonie Ławica Odrzana, o powierzchni 45 km² wykonano kontrolne badania stabilności koncentracji minerałów ciężkich i określono ich zasoby w kat. D (Dokumentacja..., 2013). W części wschodniej, w rejonie występowania na dnie dużych form typu fal piaszkowych został wyznaczony poligon Mrzeżyno o powierzchni 65 km², a badania skoncentrowano na zagadnieniach sedymentologicznych.

CEL PRACY

Dotychczasowe rozpoznanie dna było oparte na zdjęciu geologicznym wykonanym w latach 70. minionego wieku i stanowiło początek edycji seryjnej Mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1 : 200 000. Obszar znajduje się w obrębie arkuszy Dziwnów-Szczecin (Kramarska & Jurowska, 1991) i Kołobrzeg (Uścińowicz, 1989) tej mapy. W 1999 r. została wydana Mapa geologiczna dna Bałtyku bez utworów czwartorzędowych, opracowana na podstawie profili wysokorozdzielczej sejsmiki refleksyjnej (Kramarska i in., 1999). Odcinki trzech linii profilowych o łącznej długości 135,8 km objęły Zatokę Pomorską. Danych

o budowie płytkowodnej, przybrzeżnej strefy dostarczyły wyniki pozyskane w latach 1991–2003 w trakcie sporządzenia mapy geodynamicznej strefy brzegowej (Geologiczne..., 1991–2003). Wiele uwagi poświęcano nagromadzeniom minerałów ciężkich na Ławicy Odrzanej. Prace miały zarówno charakter badań podstawowych, jak i dotyczyły problematyki surowcowej (m.in. Wajda, 1977, 1980; Jurowska & Kramarska, 1991; Kramarska i in., 2005). Szczegółowe badania koncentrowały się na rozpoznawaniu nagromadzeń piasków odpowiednich do zasilania brzegów. Obejmowały one rejony Dziwnowa (Masłowska & Przezdziecki, 1998), Mrzeżyna (Zachowicz i in., 2005) i Rewala (Kramarska & Przezdziecki, 2010).

Celem artykułu jest charakterystyka rzeźby dna, budowy geologicznej kenozoiku i jej rozwoju na podstawie najnowszych badań i dotychczasowego rozpoznania obszaru oraz opisanie perspektyw w zakresie surowców mineralnych występujących na powierzchni dna.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniami w latach 2009–2013 została objęta polska część Zatoki Pomorskiej i Ławicy Odrzanej, o powierzchni 2000 km² (ryc. 1). Wzdłuż linii brzegowej obszar ciągnie się od granicy państwowej polsko-niemieckiej do Jeziora Resko. Około 88% obszaru leży na głębokości morza 9–18 m, w tym blisko 20% całkowitej powierzchni dna charakteryzuje się rzędnymi od 13 do 14 m p.p.m. Maksymalna głębokość morza stwierdzona w lokalnym, izolowanym zagłębieniu dna wynosi 20,6 m.

W badaniach terenowych zastosowano nowoczesne metody morskich badań geofizycznych i geologicznych. Wszystkie prace morskie wykonał Instytut Morski w Gdańsku z pokładu statku badawczego r/v IMOR w ramach umowy konsorcjum.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; regina.kramarska@pgi.gov.pl.

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa.

³ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Pomorski, ul. Wieniawskiego 20, 71-130 Szczecin.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the study area

Za pomocą zestawu pomiarowego złożonego z sondy jednowiązkowej DESO 15 i sonaru bocznego EgeTech 4200 wykonano ok. 1894 km profili rozmieszczonych w rozstępach co 1 km. Wyniki ciągłego sondowania posłużyły do konstrukcji mapy batymetrycznej i modelu rzeźby dna, a mozaika sonarowa umożliwiła m.in. korektę granic wydzieli geologicznych.

Na 35 stacjach wytypowanych na podstawie dokładnego planu batymetrycznego i mozaiki sonarowej wykonano inspekcję dna przy użyciu zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego firmy SEA-EYE MARINE z zamontowaną kamerą TV.

Pomiary sejsmoakustyczne realizowano z zastosowaniem dwóch różnych zestawów aparaturowych, zapewniających różne zakresy częstotliwości sygnału, a co za tym idzie różną rozdzielczość rejestracji i głębokość penetracji sygnału. Do rozpoznania płytkich warstw dna użyto profilomierza sejsmoakustycznego typu pinger (Subbottom Profiler - SBP) ORETECH 3010. Pomiary wykonano przy częstotliwości 5 kHz. Łączna długość linii profilowych wyniosła ok. 1448 km przy rozstępach co 1 lub co 2 km.

Zastosowano profilomierz sejsmoakustyczny typu boomer SIG Energy w celu rozpoznania głębszych warstw geologicznych (strop podłoża czwartorzędu). W trakcie pomiarów stosowano zakres częstotliwości od 300 Hz do 2,5 kHz. Profilowanie wykonano wzdłuż 15 linii o łącznej długości ok. 446 km i rozstępach między liniami 5 km.

Wyznaczono punkty dokumentacyjne rozmieszczone w regularnej siatce 3 × 3 km do opróbowania osadów do badań geochemicznych. Do poboru próbek został użyty próbnik skrzynkowy o długości do 50 cm i średnicy 30 cm, umożliwiający uzysk rdzeni o nienaruszonej strukturze. W próbkach osadów zbadano zawartość całkowitego węgla organicznego (TOC), fosforu, siarki i metali ciężkich oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Zawartość pierwiastków oznaczono w 196, a WWA w 100 próbkach. Analizy geochemiczne wykonano w akredytowanym Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG-PIB.

W celu rozpoznania geologicznego dna morskiego pobrano rdzenie osadów wibrosondą VKG-4 o długości rury rdzeniowej 3 m przy wewnętrznej średnicy rury osłonowej 91 mm. Ogółem przeanalizowano materiał ze 133 rdzeni osadów o długości od 1,5 do 3,0 m (łącznie 346,65 mb rdzeni). W dziewięciu rdzeniach reprezentujących różne środowiska sedymentacji zbadano spektrum pyłkowe, florę krzemkową oraz faunę mięczaków i małżoraczków. Dla 19 próbek osadów torfowych i gytii oraz sześciu muszli morskich mięczaków określono wiek radiowęglowy metodą AMS. Datowania wykonano w Poznańskim Laboratorium Radiowęglowym.

RZEŻBA DNA

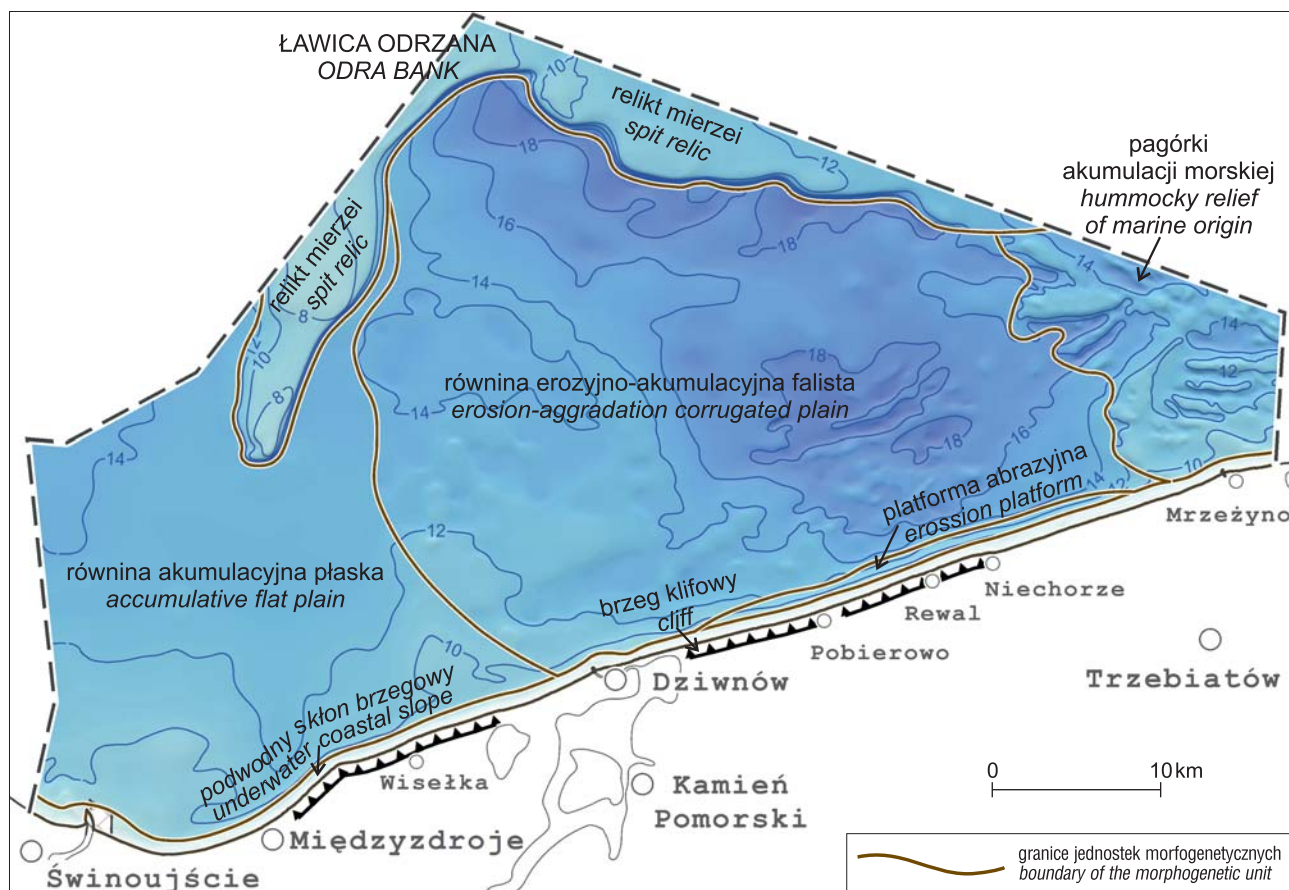
W morfologii dna dominują elementy rzeźby subaeralnej przekształcone w warunkach płytkomorskich oraz formy ukształtowane przez abrazję morską i akumulację (ryc. 2).

Centralną część obszaru zajmuje rozległa falista równina erozyjno-akumulacyjna. Deniwelacje wynoszą przeważnie 1–2 m, lokalnie dochodzą do 4–5 m. Czynnikiem morfogenetycznym decydującym o rozwoju form rzeźby dna była arealna deglacjacja obszaru z licznymi wytopiskami brył martwego lodu. Reliktem rzeźby glacialnej jest zrównana erozyjnie wysoczyzna morenowa, w zachodniej części zbudowana przeważnie z gliny zwałowej, w części wschodniej i północnej charakteryzująca się równinną paleorzeźbą torfowisk i mis jeziornych. Na obszarze wysoczyznowym jest rozwinięta morska pokrywa piaszczysta o miąższości przeważnie do 1–2 m. Nieco większa grubość osadów akumulacji morskiej jest związana z lokalnymi pagórkami piaszczystymi. Południowo-zachodnią część obszaru, położoną na bloku Wolina, zajmuje równina akumulacyjna. Powierzchnia tej formy jest płaska, lekko nachylona w kierunku północnym i północno-zachodnim. Rzeźba ta jest prawdopodobnie wynikiem wyrównania terenu przez spływające wody z topniejących brył lodu wraz z wodami rzek przedpola (?Praodry).

Najbardziej charakterystycznym elementem morfologicznym jest paleomierzeja Ławicy Odrzanej, stanowiąca relikty dawnego wybrzeża akumulacyjnego. W polskim obszarze morskim znajduje się południowy i wschodni fragment ławicy. Forma posiada nieomal płaską powierzchnię, wyniesioną 6–10 m ponad otaczający teren. Rzędne powierzchni wahają się od 7–8 m p.p.m. w części południowej do 9–10 m p.p.m. w części północnej.

Ławica Odrzana jest w sposób wyraźny odseparowana od sąsiednich obszarów dna wąskim pasem skłonu podwodnego, którego nachylenie osiąga maksymalnie wartości bliskie 1,5°. Profil skrajnie południowego fragmentu ławicy jest asymetryczny. Zachodnie stoki wznoszą się znacznie łagodniej (0,1–0,3°) w porównaniu do stoków wschodnich i południowych. Dane archiwalne i literaturowe (Meeresbodenrelief..., 2012) potwierdzają taki model wykształcenia zboczy Ławicy Odrzanej, również jej niemieckiej części.

Na wschodnim przedłużeniu ławicy występują pagórki akumulacji morskiej. Pagórkowaty typ rzeźby tworzą rozległe wały piaszczyste o rozstępie 1,2–2 km, układające się przeważnie w kierunkach W–E i SSW–NNE. Górna powierzchnia wałów najczęściej znajduje się na głębokości 10–12 m p.p.m. Rozmiary największych form osiągają



Ryc. 2. Jednostki morfogenetyczne na tle modelu 2D rzeźby dna (dodano izobaty co 2 m)
 Fig. 2. Morphogenetic units on 2D model of the sea bottom relief (isobaths every 2 m added)

6 km długości i 1,7 km szerokości, a nachylenie stoków rzadko przekracza 1° .

Pomiędzy wałami piaszczystymi występują podłużne zagłębienia dna. Deniwelacje terenu sięgają 8 m. Formami drugorzędnymi są fale piaszczyste i megariplemarki układające się z reguły blisko kierunku NW–SE oraz rzadziej NNE–SSW. Typowe deniwelacje tych form mieszczą się w zakresie 0,5–1,2 m.

Podwodny skłon brzegowy rozciąga się wąskim pasem o szerokości 0,5–1,4 km wzdłuż całego odcinka brzegu morskiego. Nachylenie powierzchni dna tej formy wynosi przeważnie $0,5\text{--}1,0^\circ$ i tylko lokalnie, na przedpolu klifu wolińskiego w rejonie Międzyzdrojów, przekracza $1,2^\circ$. Podnóże skłonu brzegowego sięga do głębokości ok. 8–10 m p.p.m. Lokalnie w rejonie Świnoujścia skłon brzegowy jest nieco słabiej wykształcony, a jego nachylenie nie przekracza $0,6^\circ$ i przechodzi bez wyraźnej granicy morfologicznej w niżej położone równinne obszary dna morskiego. Podwodny skłon brzegowy obejmuje strefę rew, które na mierzejowym odcinku wybrzeża w bramie Świny tworzą regularny ciąg (Kramarska & Jurowska, 1991). Odcinek sąsiadujący z wysoczyzną wolińską jest praktycznie pozbawiony rew. Na pozostałym odcinku rewy są nieciągłe i nieregularne.

Na odcinku klifowego wybrzeża, ciągnącego się od Dziwnówka do Niechorza, bezpośrednio do skłonu brzegowego przylega przybrzeżna platforma abrazyjna. Jest to pas dna o średniej szerokości ok. 0,7 km, który charakteryzuje się głębokościami morza od 8–9 do 12–13 m oraz niewielkim nachyleniem powierzchni od $0,2$ do $0,4^\circ$. Forma ta

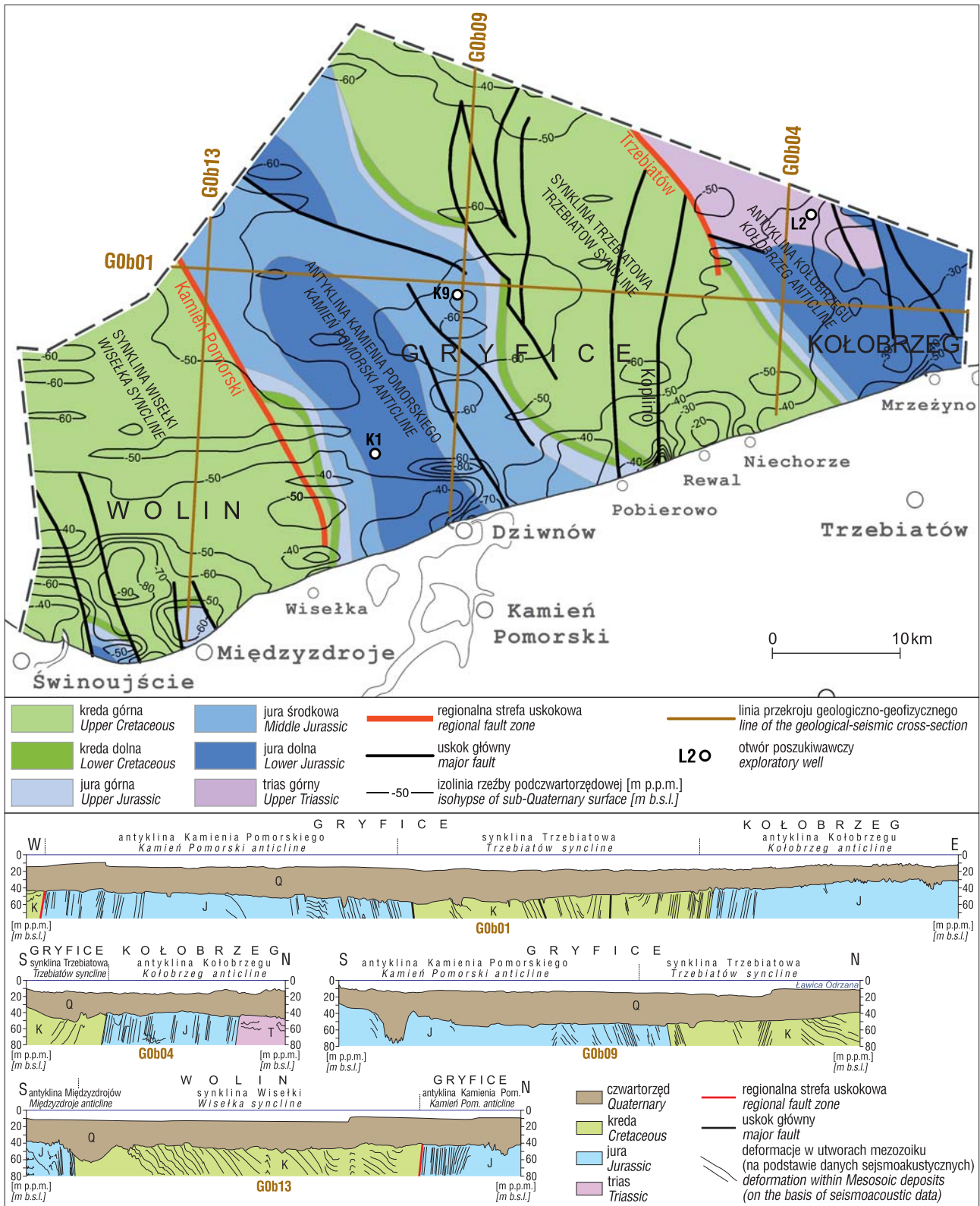
jest wykształcona na dnie zbudowanym z gliny zwałowej przykrytej cienką warstwą grubookruchowych osadów rezydualnych.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Obszar badań jest usytuowany na bałtyckim odcinku wału śródpolskiego i rozciąga się od strefy granicznej z niecką szczecińską w rejonie Świnoujścia przez blok Wolina i Gryfic do południowo-zachodniego skraj bloku Kołobrzegu (ryc. 3). Bezpośrednie podłoże czwartorzędu stanowi kompleks cechsztyński-mezozoiczny ujęty w system synklin i antyklin, których osie układają się w kierunku NW–SE (Dadlez, 1990; Kramarska i in., 1999; Dadlez i in., 2000). Synkliny są wypełnione utworami kredy górnej, a w jądrach antyklin występuje jura dolna (blok Wolina i Gryfic) lub najwyższy trias (blok Kołobrzegu).

Powierzchnia podczwartorzędowa, wyrażona w zapisie sejsmoakustycznym wyraźną niezgodnością kątową, występuje na przeważającym obszarze na głębokości 40–60 m poniżej powierzchni morza. Skrajne wartości obejmują przedział od ok. 20 do 90 m p.p.m. Najwyższe położenie stropu podłoża zanotowano w rejonie Rewala, a największe obniżenie występuje na bloku Wolina oraz w strefie brzegowej, w rejonie Dziwnowa i między Pobierowem a Rewalem.

Miąższość osadów czwartorzędowych wykazuje dość wyraźną zależność od ukształtowania powierzchni mezozoicznej. Na ogół grubość pokrywy wzrasta w obniżeniach stropu podłoża i maleje w miejscach jego wypłymania.



Ryc. 3. Budowa geologiczna i rzeźba powierzchni podczwartorzędowej (budowa geologiczna wg Kramarskiej i in., 1999; uzupełnione i częściowo zmienione)
Fig. 3. Geological structure and the sub-Quaternary surface relief (geological structure after Kramarska et al., 1999; supplemented and partly modified)

W środkowej części obszaru, na bloku Gryfice, ma to związek z obniżonym północno-wschodnim skrzydłem antykliny Kamienia Pomorskiego i synkliną Trzebiatów, natomiast w sąsiedztwie brzegu morskiego z lokalnymi obniżeniami egzaracyjnymi lub dolinami erozyjnymi. Naj-

mniej grubsza pokrywa jest związana z wysoko położonym podłożem na bloku Kołobrzegu.

W profilu osadów czwartorzędowych wyróżniono kompleks plejstocenijskich osadów glacialnych i interglacialnych (kompleks A) oraz kompleks osadów postglacialnych

późnego glacjału i holocenu (kompleks B). W każdym z nich wyróżniono subkompleksy sejsmo- i litostratygraficzne.

Subkompleks A1 – gliny zwałowe dolne – został rozpoznany jedynie profilowaniem sejsmoakustycznym średniej częstotliwości (*boomer*). Jest on prawie ciągły i występuje bezpośrednio na podłożu mezozoicznym. Miąższość glin wynosi najczęściej kilka metrów, lokalnie w obniżeniach powierzchni podłoża może być większa. Strop warstwy jest lekko falisty bez większych deniwelacji i występuje na głębokości 15–35 m pod dnem (ok. 20–40 m p.p.m.).

Przez korelację z przyległym łądem poziom gliny ma związek ze zlodowaceniami środkowopolskimi (Kramarska, 1999), chociaż nie można wykluczyć, że w lokalnych zagłębieniach powierzchni podczwartorzędowej zachowały się utwory starszych zlodowaceń.

Subkompleks A2 – osady glacialne i interglacialne nierozdzielone. Jego wydzielenie ma słabe podstawy dokumentacyjne, ze względu na brak wyraźnych refleksów w zapisie sejsmoakustycznym i brak głębszych otworów wiertniczych. Dane o strukturze i litologii są ograniczone do kilku sondowań, którymi osiągnięto strop po przebiciu cienkiego poziomu górnych glin zwałowych. Już to lokalne rozpoznanie wskazuje na zróżnicowanie budowy geologicznej tego subkompleksu. Na antyklinie Kamienia Pomorskiego jego strop jest zbudowany z piasków średnio- i drobnoziarnistych, a lokalnie występują piaski średnioziarniste ze żwirem i toczeńcami gliny. We wschodniej części obszaru subkompleks reprezentują piaski drobno- lub bardzo drobnoziarniste ze śladami laminacji podkreślonej przemazami materii organicznej, miejscami występują laminy mułków piaszczystych.

Subkompleks A3 – gliny zwałowe górne udokumentowano licznymi sondowaniami dna w środkowej i wschodniej części obszaru. Grubość poziomu glin często jest mniejsza niż 1 m, a miejscami zachował się jedynie bruk pochodzący z rozmycia gliny.

Na dużym obszarze antykliny Kamienia Pomorskiego – na SE od Ławicy Odrzanej – oraz w strefie wybrzeża w rejonie Międzywodzia i między Dziwnowem a Pogorzelią gliny są bezpośrednim podłożem piasków morskich. Strop glin występuje tu bardzo płytko pod dnem, najczęściej od kilku centymetrów do 1–2 m. Powierzchnia stropowa zawsze nosi ślady rozmycia erozyjnego w postaci warstewki piasku gruboziarnistego ze żwirem. Gлина jest przeważnie szara, rzadziej brązowoszara, ilasta i silnie wapnista, ze żwirami skał krystalicznych i osadowych. Wśród ziaren

grubego piasku wyseparowanego z gliny okruchy skał osadowych przeważają nad krystalicznymi (Kramarska & Jurowska, 1991).

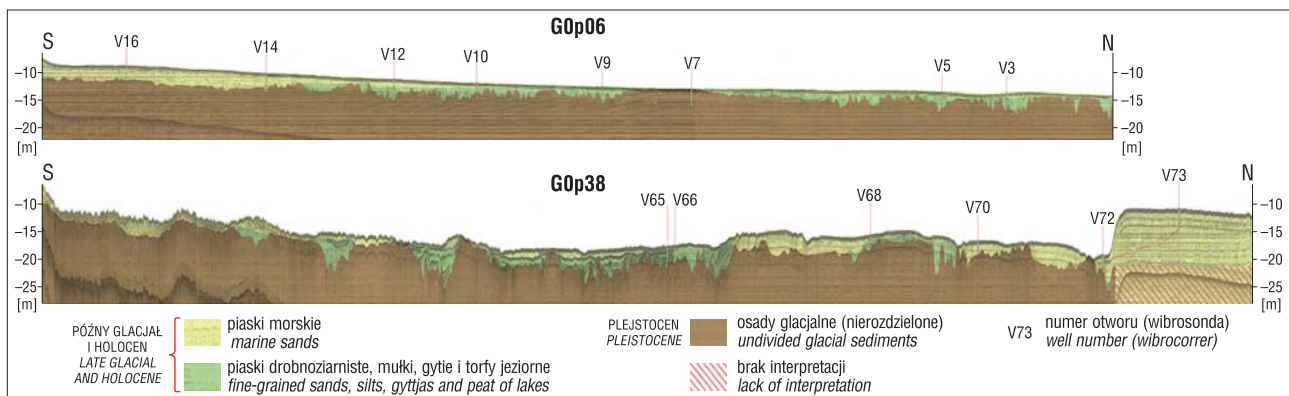
Na pozostałym obszarze bloku Gryfic i na bloku Kołobrzegu powierzchnia glin jest bardziej urozmaicona. Występują tu liczne zagłębienia w stropie warstwy, które są wypełnione osadami subkompleksu B1.

Na bloku Wolina gliny nie zostały osiągnięte w żadnym otworze (sondzie). Możliwe, że gliny zwałowe górne nie zachowały się w tym obszarze. Jak wynika z badań na przyległym łądzie (Matkowska i in., 1977) poziom glin najmłodszego zlodowacenia występuje w rejonie Świnoujście–Międzyzdroje tylko miejscami na głębokości od 0 do 10 m p.p.m. W podłożu glin leży seria piaszczysto-żwirowych osadów fluwioglacjalnych o miąższości 10–30 m, których strop znajduje się na głębokości ok. 10 m p.p.m.

Subkompleks B1 – piaski, mułki, utwory organiczne środowisk lądowych. Osady subkompleksu występują w zagłębieniach plejstoceniowego podłoża i zostały zidentyfikowane na każdym profilu sejsmoakustycznym (ryc. 4). Najlepiej są rozwinięte w rozległym obniżeniu dna otoczone izobata 15 m, pokrywającym się w ogólnym zarysie z synkliną Trzebiatowa. W niektórych zagłębieniach osady osiągają miąższość ponad 5 m. Równie rozległe są zagłębienia w zachodniej części obszaru, na bloku Wolina. Grubość wypełniającego je subkompleksu jest tu mniejsza, rzadko osiąga 5 m. W pasie odpowiadającym antyklinie Kamienia Pomorskiego w środkowej części obszaru badań i na antyklinie Kołobrzegu na wschodzie zagłębienia wypełnione utworami środowisk lądowych są mniej powszechne i płytsze.

Osady subkompleksu B1 są reprezentowane przez kilka typów litogenetycznych, których powstanie jest związane z różnymi fazami wytapiania brył martwego lodu zalegającego w rozległych obniżeniach oraz z lokalnymi zmianami poziomu wód gruntowych, wywołanymi wahaniem klimatu w późnym glacjału i wczesnym holocenie (Kramarska i in., 2013; Krzymińska i in., 2016).

Piaski i piaski pylaste występują powszechnie w podłożu morskiej pokrywy piaszczystej w zachodniej części obszaru oraz w licznych otworach na północnym wschodzie i wschodzie badanego akwenu. Kontakt z piaskami morskimi jest przeważnie nieostry. Osady odznaczają się oliwkowoszarą barwą, wapnistością i przeważnie są laminowane oraz zawierają przemaży i wtrącenia materii organicznej. Rzadko bywają bezstrukturalne o jednorodnym



Ryc. 4. Subkompleks B na regionalnych przekrojach geologiczno-sejsmoakustycznych (lokalizacja na ryc. 5)
Fig. 4. Sub-complex B on the regional geological-seismoacoustic cross-sections (for location see Fig. 5)

uziarnieniu w całym profilu. Sedymentacja osadów mogła następować na połączonych stokach wysoczyzny w rozlewiskach położonych przy rzekach i jeziorach.

Na zachodnim skraju oraz w części środkowej obszaru badań wśród piasków pylastych pojawiają się strefy osadów o grubszym ziarnie, które prawdopodobnie utworzyły się w środowisku wód płynących.

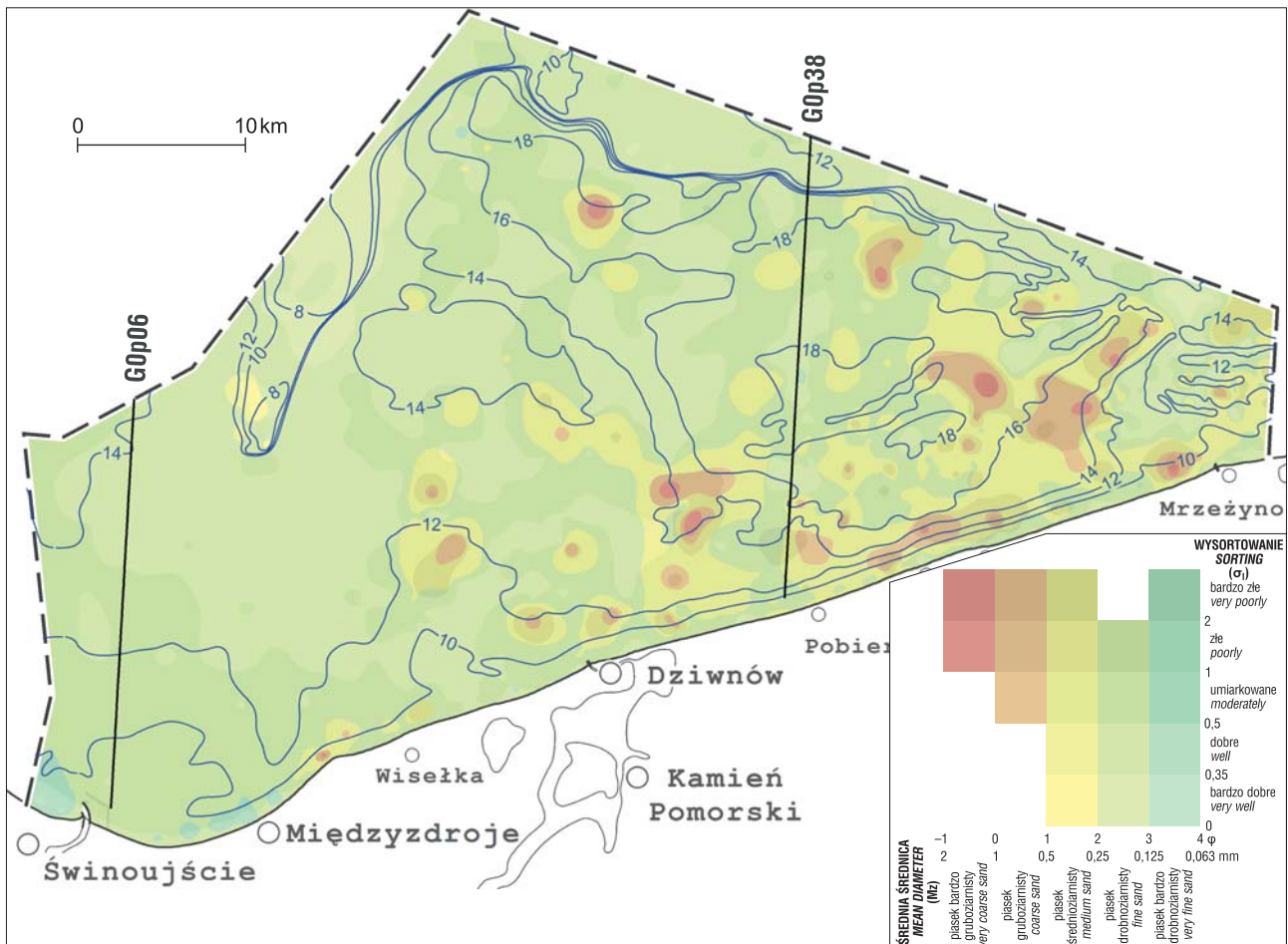
Osady laminowane mułkowo-ilaste i mułkowo-piaszczyste zinterpretowano jako powstałe w pojedynczych izolowanych zbiornikach limnoglacialnych. Występują bardzo płytko pod dnem, przykryte zaledwie 10–20-centymetrową warstwą piasków morskich. Są to ropy mułowe, silnie wapienste, plastyczne, laminowane substancją organiczną z makroszczątkami. Miejscami zawierają wkładki bardzo drobnego piasku. Barwa osadów jest oliwkowoszara lub ciemnoszara.

Osady akumulacji jeziornej oraz torfy, stwierdzone w licznych rdzeniach, są reprezentowane przez sekwencje mułkowo-piaszczyste, mułkowo-ilaste, gytie i torfy. Miąższość i następstwo warstw w profilach pionowych jest zmienna w zależności od lokalnych warunków depozycji w poszczególnych paleozbiornikach. W niektórych profilach utwory mułkowo-piaszczyste stopniowo przechodzą ku górze w organiczne, gdzie indziej torfy i gytie są nimi przykryte.

Subkompleks B2 – piaski morskie tworzą najmłodszą pokrywę osadów akumulowanych w morzu litorynowym i politorynowym w środkowym i późnym holocenie. Miąższość morskiej pokrywy piaszczystej na dużym

obszarze jest nikła i nie przekracza 1 m. Jest bardzo wiele miejsc, gdzie grubość pokrywy wynosi zaledwie kilka lub kilkanaście centymetrów. Poza Ławicą Odrzańą osady morskie o grubości 3–4 m występują w nielicznych, niewielkich izolowanych polach i z reguły tworzą lokalne wypukłości dna w środkowej części obszaru badań. Również pagórki na zachodnim skraju są zbudowane z piasków akumulacji morskiej, których miąższość może miejscami przekraczać 5 m. Największa grubość piasków jest związana z płycizną Ławicy Odrzanej i jej wschodnim przedłużeniem. Wynosi ona od 3 m przy krawędziach ławicy do ponad 7–8 m w szczytowej części tej formy.

Piaski morskie są bezwapniste, przeważnie oliwkowo-szare, zawierają muszle i fragmenty muszli mięczaków *Macoma baltica*, *Cerastoderma glaucum*, *Mytilus edulis*, *Hydrobi aulvae* i *H. ventrosa*, rzadziej *Mya* sp., której skorupy były spotykane w bezpośrednim podłożu dna lub na jego powierzchni. Dolna granica pokrywy piasków morskich jest wyrażona warstwą odsypu muszlowego, w przypadku zalegania na podłożu piaszczystym lub na utworach organicznych. Jeśli bezpośrednim podłożem jest glina zwałowa wówczas w spągu pokrywy morskiej występuje warstwa erozyjna złożona z piasku różnoziarnistego z okruciami żwiru o średnicy do kilku cm i licznymi fragmentami muszli morskich mięczaków. W stropie warstwy (najwyższe odcinki rdzeni do głębokości 10–20 cm pod dnem) piaski są utlenione, żółtawej barwy, miejscami z ciemnoszarymi



Ryc. 5. Osady powierzchni dna
Fig. 5. Sea bottom sediments

plamami związanymi z szczątkami obumarłych organizmów bentosowych.

W budowie morskiej pokrywy osadowej zdecydowanie dominują piaski drobnoziarniste, umiarkowanie, dobrze i bardzo dobrze wysortowane, a osady grubsze i drobniejsze występują podrzędnie i zajmują ograniczoną powierzchnię dna (ryc. 5).

STAN GEOCHEMICZNY OSADÓW DNA

Piaszczyste osady Zatoki Pomorskiej zawierają niskie stężenia pierwiastków śladowych. Według klasyfikacji osadów wodnych (Bojakowska & Sokołowska, 1998) mieszczą się w klasie I. Zawartości oznaczanych pierwiastków są wielokrotnie niższe od ich zawartości w osadach Zatoki Gdańskiej (Uścińowicz i in., 2011) oraz Zatok Ryskiej i Fińskiej (Müller, 1999; Leivuori i in., 2000), a także południowego Bałtyku (Szczepańska & Uścińowicz, 1994). Zawartość pierwiastków śladowych, takich jak arsen, kadm i rtęć uznawanych za szczególnie niebezpieczne, była poniżej granicy ich oznaczalności, co świadczy o braku zanieczyszczenia tymi pierwiastkami. Także wykonane analizy WWA wykazały stężenia wyższe od granicy oznaczalności tylko w pojedynczych próbkach. Badane osady charakteryzują się bardzo niską zawartością materii organicznej, a obecność WWA jest z tym związana.

Wykonane analizy statystyczne (macierz korelacji, analiza czynnikowa) wykazały obecność trzech czynników. Pierwszy obejmuje współwystępowanie chromu, manganu, tytanu, wanadu i żelaza. Najwyższe zawartości tych pierwiastków oznaczono w północnej części badanego obszaru – w rejonie Ławicy Odrzanej. Jest to związane z występującymi tu nagromadzeniami minerałów ciężkich (Wajda, 1977, 1980; Jurowska & Kramarska, 1991; Kramarska i in., 2005). Dodatkowo w tym miejscu zanotowano zwiększone stężenie glinu, które może być spowodowane koncentracją najczęściej spotykanych w piaskach bałtyckich odmian granatów glinowych – pirophu, almandynu, spessartynu (Kramarska i in., 2005). Zwiększona zawartość żelaza oraz manganu została również oznaczona u wybrzeży miejscowości Niechorze, Rewal i Pobierowo. W rejonie tym obserwowano także podwyższoną koncentrację minerałów ciężkich, których źródłem alimentacyjnym są eksponowane w klifach i abradowane osady plejstocenijskie (Wajda, 1977, 1980).

Drugi czynnik, łączący bar, potas, magnez i stront z wapniem, wskazuje, że występowanie baru i strontu w utworach jest spowodowane obecnością w nich węglanu wapnia, która, w osadach deponowanych we współczesnym Bałtyku, jest zależna od płytko zalegających wapnistych glin zwałowych plejstocenu. Zwiększone zawartości wapnia (>0,20%) w osadach południowego Bałtyku są także obserwowane w okolicach ujścia rzek oraz klifów (Szczepańska & Uścińowicz, 1994).

Trzeci czynnik łączy miedź i cynk przy stosunkowo wysokim udziale niklu, węgla organicznego i siarki, co wskazuje, że wymienione metale są związane z materią organiczną. Jej źródłem w piaszczystych osadach analizowanych próbek mogą być płytko zalegające, bogate w tę materię osady paleojezior. Zwiększona koncentracja węgla organicznego i siarki w okolicach ujścia Odry wynika z osadzania się w tym miejscu drobniejszego materiału

rzeczno bogatego w te składniki. W osadach Zalewu Szczecińskiego została stwierdzona największa ilość węgla organicznego spośród zalewów obszaru południowego Bałtyku (Emeis i in., 2002).

KOPALINY

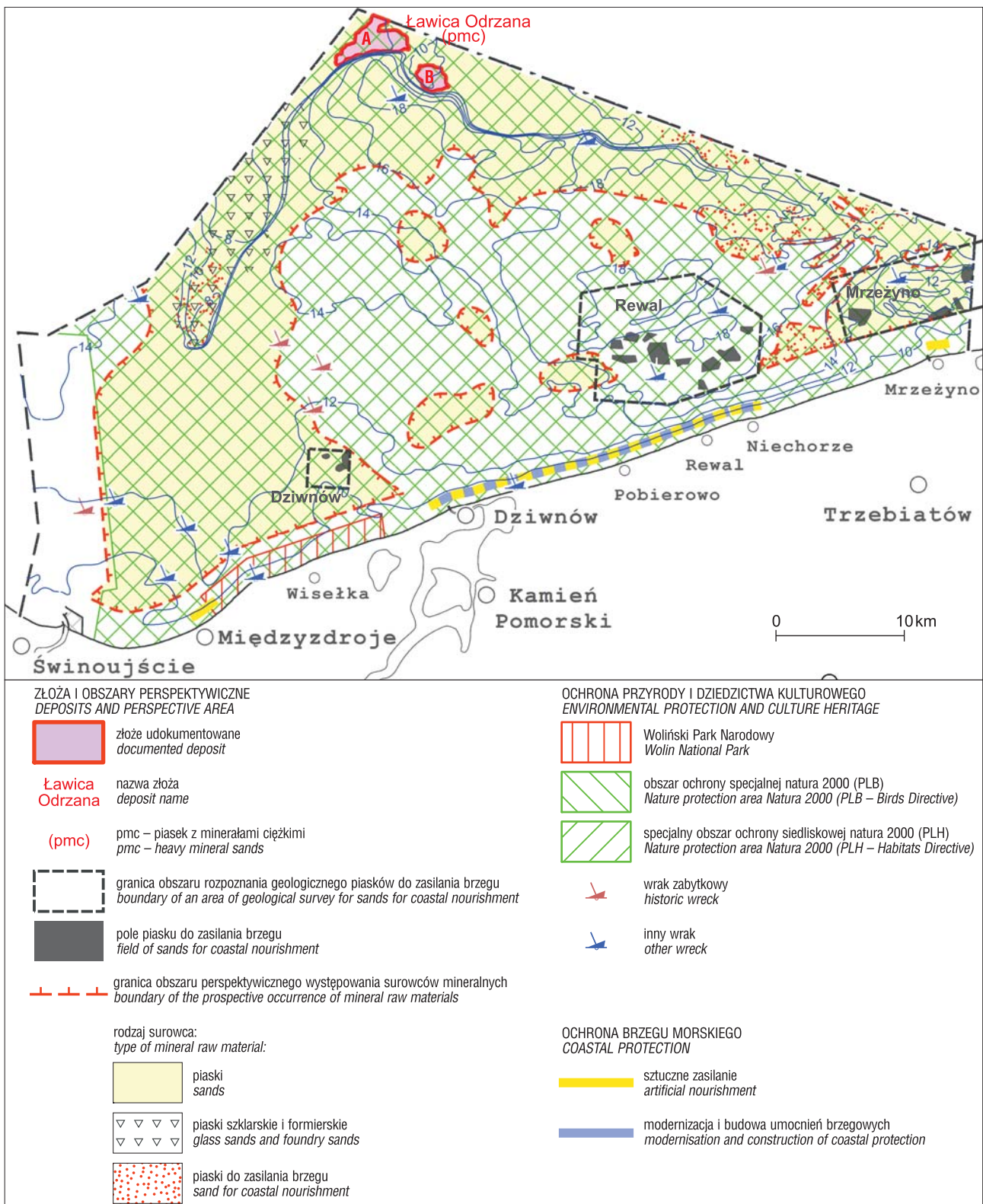
Na dnie Zatoki Pomorskiej występują kopaliny okruczowe reprezentowane przez piaski. Są to piaski morskie związane z akumulacją w morzu litorynowym i politorynowym oraz piaski środowisk lądowych z okresu poprzedzającego transgresję morską. Sumaryczna miąższość piasków wynosząca ≥ 1 m decydowała o perspektywiczności surowcowej (ryc. 6).

Obszar perspektywnego występowania piasków obejmuje południowo-zachodnią, północną i wschodnią część badanego akwenu. Piaski tego obszaru w zależności od składu ziarnowego i mineralnego mogą być wykorzystane do różnych celów. Piaski Ławicy Odrzanej i pagórków występujących we wschodniej części obszaru badań mogą być źródłem surowców metalicznych oraz mieć zastosowanie jako piaski: szklarskie i formierskie, budowlane (do zapraw murarskich i produkcji cegły silikatowej) i do zasilania brzegu morskiego. W pozostałej części obszaru perspektywnego dominują piaski bardzo drobnoziarniste i pylaste, miejscami z domieszką piasków mułkowatych. Są to surowce niskiej jakości i mogą być używane jako refulaty i podsypki.

Piaski wzbogacone w minerały ciężkie występują w północnej części Ławicy Odrzanej. Osady zawierają ponad 80% frakcji od 0,063 do 0,250 mm i są dobrze wysortowane. Warstwa wzbogacona w minerały ciężkie składa się z lamin i smug lub warstewek grubości kilku centymetrów, 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 ok. 40 cm, maksymalnie dochodzi do 1 m (Kramarska i in., 2005). Zasoby piasków z minerałami ciężkimi były szacowane kilkakrotnie na różnym etapie prac rozpoznawczych (Kramarska i in., 2005). W ramach realizacji opisywanego projektu zostały podsumowane i zweryfikowane dotychczasowe wyniki badań. Na tej podstawie sporządzono dokumentację geologiczną złoża w kat. D (Dokumentacja..., 2013). Wydzielono dwa pola złożowe: Ławica Odrzana A i B.

Pole złożowe A o powierzchni 940,98 ha, znajduje się na głębokości morza 11,0–8,5 m. Pole złożowe B zajmuje powierzchnię 362,51 ha, a głębokość morza wynosi tu 10,7–9,6 m. Zawartość minerałów ciężkich w warstwie złożowej, występującej od powierzchni dna do głębokości 0,5 m, w polu A waha się od 1,4 do 21,7% wag. (średnio 4,4%), a w polu B od 2,0 do 9,2% (średnio 3,9%). W warstwie złożowej z głębokości 0,5–1,0 m zawartość minerałów wynosi odpowiednio 2,0–4,2% (średnio 4,5%) i 2,3–2,6% (średnio 2,5%) (tab. 1).

Minerały użyteczne (tab. 1) po separacji mogą być wykorzystane do produkcji pigmentów i powłok, produkcji stali o podwyższonej wytrzymałości, w inżynierii biomedycznej, przemyśle ceramicznym i szklarskim, w energetyce atomowej, przy produkcji materiału ściernego i włókien. Piaski po separacji minerałów ciężkich będą stanowić



Ryc. 6. Złoża i obszary perspektywiczne na tle zagospodarowania obszaru
Fig. 6. Deposits, prospective areas and land use

surowiec przemysłu szklarskiego, budowlanego i w produkcji mas formierskich.

W obrębie obszaru perspektywnego wyróżniono rejon występowania piasków, które mogą być wykorzystane jako piaski szklarskie i formierskie (Juskowiak i in., 1976; Kramarska & Jurowska, 1991). Jest to rejon dna w południowej i środkowej części Ławicy Odrzanej, gdzie

piaski odznaczają się maksymalną zawartością frakcji poniżej 0,25 mm (ponad 90%) i bardzo dobrym wysortowaniem. Były one badane pod kątem spełniania norm dla piasków szklarskich i formierskich (Juskowiak i in., 1976). Według archiwalnych wyników badań chemicznych zawierają one średnio 95% SiO₂, przy zawartości węglanów w ilości 0,39%. Tlenki barwiące występują w ilości:

Tab. 1. Udokumentowane zasoby geologiczne złoża piasków z minerałami ciężkimi Ławica Odrzana, wg stanu na dzień 31 grudnia 2012 r. (Dokumentacja..., 2013)**Table 1.** Inferred mineral resources of of the Ławica Odrzana heavy mineral deposit, as of December 31, 2012 (Dokumentacja..., 2013)

Kopalina Mineral deposit	Zasoby bilansowe w kat. D [tys. t] Anticipated economic resources, inferred resources [thousand Mg]		
	Razem pole A i B Sector A + B	POLE A Sector A	POLE B Sector B
Piaski z minerałami ciężkimi Heavy mineral sands	13 323,20	9898,41	3424,79
Kopalina ogółem Mineral in total	13 323,20	9898,41	3424,79
W tym: / Including:			
minerały ciężkie ogółem heavy minerals in total	505,74	377,25	128,49
minerały użyteczne useful minerals			
Ilmenit/Ilmenite	156,78	116,95	39,83
Leukoksen/Leucoxene	20,23	15,09	5,14
Rutyl/Rutile	20,23	15,09	5,14
Cyrkon/Zircon	25,28	18,86	6,42
Granat/Garnet	161,84	120,72	41,12

Złoże uwzględnione w Bilansie zasobów.... (Szufflicki i in., 2016)
Deposit included in Mineral Resources of Poland (Szufflicki et al., 2016)

Fe₂O₃ – 0,27%, Al₂O₃ – 1,87%, TiO₂ – 0,17% (wartości średnie z 16 analiz). Poprawę jakości piasku jako surowca do przemysłu szklarskiego można uzyskać przez odsiew najdrobniejszej frakcji, w której głównie gromadzą się tlenki barwiące. Przy założeniu dwumetrowej miąższości serii piaszczystej i powierzchni występowania piasków ok. 100 km² zasoby piasków kwarcowych wynoszą 200 mln m³ (290 mln Mg przy założeniu gęstości objętościowej piasków kwarcowych 1,45 t/m³).

Piaski do zasilania brzegu morskiego rozpoznano w trzech rejonach i jak dotychczas są w badanym obszarze jedyną kopaliną wykorzystywaną praktycznie. Są one używane do sztucznego zasilania plaż, które jest ustawowym zadaniem Urzędów Morskich (Ustawa o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich”; D.U. Nr 67 poz. 621 z 18 kwietnia 2003 r. z późniejszymi zmianami). W omawianych trzech rejonach wszystkie prace rozpoznawcze były przeprowadzone przez Urząd Morski w Szczecinie w ramach zamówień publicznych.

Rejon Dziwnów – obszar o powierzchni ok. 1,2 km² jest zlokalizowany ok. 7 km na północny-zachód od Dziwnowa, w strefie głębokości morza od 9,6 do 12,0 m. Badania były wykonane w 1998 r. (Masłowska & Przędziecki, 1998) w celu znalezienia materiału do zasilania mierzei dziwnowskiej. Piaski o medianie powyżej 0,2 mm okonturowano w dwóch polach. Średnia miąższość warstwy w poszczególnych polach wynosi 1,91 i 0,69 m. Powierzchnia pól ma odpowiednio 802 800 i 156 800 m². Uwzględniając powyższe dane, ustalono objętość piasków do zasilania brzegu w ilości ok. 1,6 mln m³.

Rejon Mrzeżyno jest zlokalizowany na głębokości morza 8–16 m. Szczegółowymi badaniami w 2005 r. objęto obszar o powierzchni 70 km², położony 3 do 8 km od wybrzeża ciągnącego się między Dźwirzynem a Mrzeżynem (pomiędzy 346 a 358 km wybrzeża). Rozpoznano pięć pól z nagromadzeniami piasków średnioziarnistych, odpowiednimi do zasilania brzegu na 350,5–352,2 km (Zacho-

wicz i in., 2005). Miąższość piasków zakwalifikowanych do wydobycia wynosi w czterech obszarach 2 m, a w jednym (Mrzeżyno IVa) ma 1 m. Przy wielkości pól nagromadzeń piasków średnioziarnistych od ok. 0,36 do 3,1 km² (łącznie 3,15 km²) objętość osadów możliwych do czerpania została oszacowana na ok. 12 mln m³ (pole II oraz większa część pola I znajduje się poza omawianym obszarem).

Rejon Rewal – obszar wykonanych badań o powierzchni 113,95 km² jest położony w płytkowodnej strefie Bałtyku, na wysokości Niechorza, Rewala i Pobierowa – od 364 do 378 km wybrzeża. Południowa granica obszaru jest oddalona od brzegu od 3 km (rejon Niechorze–Rewal) do ok. 5,5 km (rejon Pobierowa). Głębokość morza tego obszaru wynosi 12,5–20,5 m. Szczegółowe badania rozpoznawcze nagromadzeń piasków do zasilania brzegu były wykonane w 2010 r. (Kramarska & Przędziecki, 2010).

Wyznaczono 10 pól piasków o miąższości warstwy złożowej co najmniej 0,5 m i wartości mediany od 0,25 mm. Pola występują na ogół w południowej części zbadanego obszaru, ciągną się pasem o szerokości ok. 3 km w strefie największej miąższości warstwy piaszczystej, wynoszącej przeważnie 2–3 m. Powierzchnia pól jest niewielka, waha się od ok. 0,36 do 2,2 km² (łącznie 8,3 km²), a objętość osadów możliwych do wydobycia ze wszystkich pól łącznie wynosi 8 549 493,60 m³.

Perspektywy powiększenia zasobów piasków do zasilania brzegu są bardzo ograniczone. Piaski morskie o medianie >0,20 mm, które mogą odpowiadać parametrom piasków na mierzejowych odcinkach plaż, występują w południowej części Ławicy Odrzanej. Niewielkie pola piasków średnioziarnistych z domieszką drobnoziarnistych są też rozpoznane lokalnie we wschodniej części obszaru. Między zbadanymi rejonami Mrzeżyno i Rewal jest możliwe występowanie pól piasków średnio- i gruboziarnistych o medianie powyżej 0,25 mm.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Rozwój budowy geologicznej

Podkenozoiczna powierzchnia strukturalna ma złożoną genezę. Jej ukształtowanie jest wynikiem procesów neotektonicznych i erozyjno-denudacyjnych zachodzących w kilku okresach. Jakkolwiek powierzchnia ta ma charakter prawie płaskiej penepłeny, to można dostrzec związki jej ukształtowania z układem głównych elementów strukturalnych, a miejscami z lokalnymi strukturami podłoża. Nieco płytsze w stosunku do otoczenia położenie jest związane z podniesionym południowo-zachodnim skrzydłem antykliny Kamienia Pomorskiego w stosunku do północno-wschodniej części bloku Gryfic. Z kolei maksymalne wypłylenie powierzchni na antyklinie Kołobrzegu może wynikać z relatywnie silniejszego wypiętrzenia tego obszaru niż sąsiedniego bloku. W przybrzeżnej strefie bloku Wolina, lokalne wyniesienia podłoża do rzędnej 40–50 m p.p.m., rozdzielone obniżeniem do 80–90 m p.p.m. mogą mieć związek z przedłużeniem na akwen struktur solnych, które na powierzchni podczwartorzędowej wyznaczają wychodnie utworów jury (Dadlez, 1990).

Związki rzeźby powierzchni podczwartorzędowej z budową strukturalną podłoża wynikają zapewne z neotektonicznej aktywności obszaru. Dokładną analizę ruchów neotektonicznych na pomorskim odcinku niecki szczecińskiej i wału pomorskiego odzwierciedloną w zróżnicowaniu profilu stratygraficznego i miąższości osadów plejstocenских przedstawił Kurzawa (2004). Autor wskazał na znaczenie glaciostazy w procesie pionowych przemieszczeń między elementami tektonicznymi, które z kolei miały wpływ na przebieg i tempo migracji soli cechsztyńskich. Na łądzie, zróżnicowanie osadów plejstocenu wykazuje wyraźniejszy związek z rozmieszczeniem lokalnych elementów strukturalnych niż z głównymi jednostkami tektonicznymi permo-mezozoiku (Kurzawa, 2004). Prześledzenie tych tendencji na morskim odcinku odpowiednich jednostek strukturalnych wymagałoby znacznie dokładniejszego zdjęcia sejsmoakustycznego niż wykonane dotychczas.

Powierzchnia podczwartorzędowa była kształtowana również przez egzaracyjną działalność łądolodów. O intensywności tych procesów świadczy całkowity brak osadów paleogenu i neogenu w badanym obszarze. Wynikiem egzaracji jest prawdopodobnie obniżenie do 90 m p.p.m. podatnego na erozję podłoża kredowego na przedpolu Bramy Świny (południowa część Zatoki Pomorskiej). Rozległa niecka egzaracyjna ma kontynuację na wyspie Wolin, na zachód od Międzyzdrojów (Matkowska i in., 1977).

W strefie wybrzeża paleorzeźbę podczwartorzędową urozmaica sieć dolinnych rozcięć erozyjnych. Dna dolin miejscami sięgają podłoża mezozoicznego (Kopczyńska-Żandarska, 1970; Kurzawa, 2004). W rejonie Niechorza Kopczyńska-Lamparska (1979) wyróżniła trzy podstawowe generacje dolin rzecznych: z okresu poprzedzającego zlodowacenia południowopolskie, związaną z interglacjałem mazowieckim (wielkim) i utworzoną w czasie interglacjału eemskiego. Dane z profilowania sejsmoakustycznego na akwencie Bałtyku nie wskazują na obecność sieci głębokich rozcięć erozyjnych w dnie morskim lub nie zostały one zidentyfikowane ze względu na zastosowaną siatkę pomiarową. Jedyne doliny widoczne w obrazie powierzchni pod-

czwartorzędowej występują w pobliżu brzegu w rejonie Dziwnowa i między Pobierowem a Rewalem. Mają one kontynuację na łądzie, gdzie są lepiej poznane dzięki otworom wiertniczym (Dobrcka i in., 1977; Ruszała i in., 1979). Doliny te występują w strefach naduskokowych, wskazując na tektoniczno-erozyjną genezę form. Szczególnie silne powiązanie z neotektonicznymi ruchami podnoszącymi wykazuje dolina związana z uskokiem Koplina i dochodzącymi do niego uskokiemi bocznymi. O silnej erozji rzecznej świadczy pierwotne położenie dna na głębokości 200 m i wypełnienie doliny serią interglacialną o miąższości 125 m, z okazałą (54 m) warstwą osadów grubookruchowych w spagu i ponad 70-metrowym kompleksem piaszczysto-mułkowym, reprezentującym etap zasypywania doliny (Dobrcka i in., 1977). Obniżenie dolinne w łądowej części rejonu Dziwnowa jest związane ze strefą dyslokacyjną Kamienia Pomorskiego (Dobrcka i in., 1977). Bałtycki odcinek doliny, nawiązujący do strefy uskokowej ograniczającej od wschodu antyklinę Kamienia Pomorskiego, prawdopodobnie był wykorzystany przez Pradziwnę w okresie poprzedzającym transgresję morza litynowego.

Budowa geologiczna pełnego profilu czwartorzędu jest tylko przypuszczalna ze względu na brak odpowiednio głębokich otworów wiertniczych. Z badań sejsmoakustycznych można jednak wnioskować, że przeważają osady piaszczyste, a gliny zwałowe występują podrzędnie. Lokalne rozpoznanie stropu subkompleksu A2 nie dało podstaw do rozpozniowania warstwy. Osady mogą reprezentować różne środowiska sedymentacji i wiek depozycji, ponieważ na wybrzeżu sąsiadującym z Zatoką Pomorską udokumentowano 10 różnowiekowych poziomów glin zwałowych, natomiast pomiędzy Rewalem a Śliwinem rozpoznano osady morskie interglacjału eemskiego (Krzyszowski, 2010). Ślady osadów eemskich występują także w rejonie Świętościa na Wolinie (Borówka i in., 1999b). Według Kramarskiej (1998, 1999) istnieje również duże prawdopodobieństwo występowania w badanym obszarze osadów interplenivstulianu (interstadiału grudziądzkiego). Do takich wniosków upoważniła autorkę data radiowęglowa wskazująca na wiek ponad 40 000 lat BP (data nieskończona) uzyskana dla piasków pylastych z detrytusem roślinnym występujących pod gliną zwałową w profilu K9-1, zlokalizowanym w środkowej części badanego obszaru oraz w rdzeniach pobranych na północnych zboczach Ławicy Odrzanej (Kramarska, 1998). Piaski te są podobne litologicznie do rozpoznanych obecnie osadów subkompleksu A2. Wystąpienia drobnoziarnistych piasków z domieszką materii organicznej datowanej metodą radiowęglową na okres interstadiału grudziądzkiego są poznane również na wyspie Wolin w okolicach Grodna (Borówka i in., 1999a), a także w klfie nad Zalewem Szczecińskim w rejonie Dargobądza i Sułomina (Borówka i in., 1999c).

Arealna deglacjacja ostatniego łądolodu zapoczątkowała rozwój krajobrazu pojeziernego. Akumulacja osadów mineralno-organicznych kompleksu B1 była związana z różnymi fazami wytapiania brył martwego lodu w rozległych obniżeniach terenu i formowaniem postglacialnej równiny rozlewiskowo-rzecznej. Niecki wytopiskowe w dalszym etapie ewolucji krajobrazu zostały przekształcone w jeziorzyska i bagniska. Analiza nowych rdzeni osadów wskazuje, że zbiorniki jeziorne rozwinięte w rozległym obniżeniu dna, otoczonym izobata 15 m (synklina Trzebiatowa), są naj-

częściej wypełnione gytią z lokalnie rozwiniętymi torfowiskami. W obszarze położonym na północ od bramy Świny w zagłębieniach dominują osady piaszczysto-mułkowe z materią organiczną, a torfowiska zostały rozpoznane w sąsiedztwie południowego cypla Ławicy Odrzanej.

Zbiorniki zaczęły się wypełniać osadami akumulacji mineralno-organicznej już pod koniec bøllingu, o czym świadczy szereg dat radiowęglowych starszych niż 12 000 lat BP uzyskanych dla gytii ilasto-detrytusowej, a także dla torfów. Akumulacja organiczna najsilniej była rozwinięta w okresie preborealnym i borealnym po atlantycki. Najmłodsza data radiowęglowa uzyskana dla gytii tworzącej najwyższą część sekwencji jeziornej w profilu V17, zlokalizowanym na wschód od ujścia Świny, wynosi 7340 ±40 BP. Zarówno najstarsze, jak i najmłodsze daty dobrze korespondują z wcześniej opublikowanymi danymi o lądowych warunkach rozwoju sedimentacji mineralno-organicznej od schyłku plejstocenu po środkowy holocen (Kramarska, 1998).

Obszar pojezierza, a w końcowej fazie rozwoju prawdopodobnie płytkiej laguny, był oddzielony od otwartego akwenu morskiego barierą mierzejową Ławicy Odrzanej. Relikt mierzei jest wyraźnie widoczny w dzisiejszej morfologii dna, a miąższość osadów piaszczystych budujących formę osiąga od 3 do ponad 7–8 m. Piaski odznaczają się wyjątkową w skali Bałtyku dojrzałością granulometryczną i mineralogiczną. W południowej części tej formy występują niemal monofrakcyjne kwarcowe piaski drobnoziarniste bardzo dobrze wysortowane. Jak wykazały badania w mikroskopie elektronowym przeprowadzone przez Kenig (1995) ziarna kwarcu wykazują lekkie zmatowienie wywołane prawdopodobnie procesami chemicznymi i silnymi nacięciami mechanicznymi w warunkach aeralnych. Autorka badań nie wyklucza, że zmatowienie ziaren jest zapisem silnych procesów plażowych w strefie litoralnej. W północnej części ławicy piaski odznaczają się wysokimi koncentracjami minerałów ciężkich. Charakter rozsypek jest podobny do obserwowanych w niektórych odcinkach współczesnego brzegu, m.in. na mierzei helskiej, a ziarna kwarcu mają tu cechy typowe dla procesów eolizacji i abrazji eolicznej o różnym stopniu nasilenia (Kenig, 1995).

Waloryzacja złóż i obszarów perspektywicznych występowania kopalin okrucowych

Piaski występujące w Zatoce Pomorskiej mają różną wartość użytkową. Próba ich waloryzacji jest oparta na materiałach do dyskusji nad propozycją ustawowej ochrony niezagospodarowanych złóż kopalin (Nieć & Radwanek-Bąk, 2011).

Piaski z minerałami ciężkimi, ze względu na wielkość zasobów i walory surowcowe (jakość kopaliny), proponuje się zaliczyć do klasy złóż o wysokich walorach. Złoże oprócz znaczenia surowcowego może posiadać charakter geostanowiska. Rozsypek minerałów ciężkich w piaskach Ławicy Odrzanej są unikatowe w skali Bałtyku i z tego względu powinny być objęte najwyższą ochroną.

Piaski szklarskie i formierskie mają również wysokie walory zasobowo-surowcowe. Ze względu na znaczne niezagospodarowane zasoby złóż lądowych potencjalne znaczenie dla gospodarki w skali krajowej należy ocenić jako przeciętne. W trzystopniowej kategorii ochrony złoże powinny uzyskać status wysokiej ochrony.

Wszystkie wystąpienia piasków średnioziarnistych i grubszych odpowiednich do zasilania brzegu powinny podlegać najwyższej ochronie ze względu na deficyt w tej części Bałtyku osadów, które mogą być wykorzystane jako refulaty plażowe.

Piaski bardzo drobnoziarniste i pylaste, które mogą służyć do celów budowlanych jako podsypki, mają znacznie wyłącznie lokalne i niskie walory surowcowe. Mogą podlegać co najwyżej ochronie zwykłej.

Złoża i obszary perspektywiczne ich występowania w Zatoce Pomorskiej są dostępne z ograniczeniami wynikającymi z położenia w obszarze Natura 2000: PLB990003 OSO Zatoka Pomorska (Dyrektywa 79/409/EWG Dyrektywa Ptasia) oraz PLH990002 SOO Ostoja na Zatoce Pomorskiej (Dyrektywa 92/43/EWG, Dyrektywa Siedliskowa). Ponadto obszar Zatoki Pomorskiej, łącznie z Ławicą Odrzańską 31 grudnia 2009 r. został nominowany jako Bałtycki Obszar Chroniony w systemie HELCOM BSPA (Baltic Sea Protection Area).

Przyjęto założenie, że prace wydobywcze mogą być prowadzone w odległości nie mniejszej niż 3 km od brzegu. Głębokość morza w tym obszarze wynosi przeważnie ponad 12 m i tylko lokalnie 10–12 m, jednakże w każdym przypadku granica strefy ochrony musi być położona poza podwodnym skłonem brzegowym, który w omawianym obszarze sięga do głębokości morza 8–10 m, a podnóże skłonu znajduje się od 0,5 do 1,4 km od brzegu.

Dodatkowo dla złoży piasków z minerałami ciężkimi oraz piasków szklarskich i formierskich ograniczenia mogą wynikać z położenia w bliskim sąsiedztwie granicy wyłącznej strefy ekonomicznej.

Infrastruktura techniczna istniejąca aktualnie na akwenie Zatoki Pomorskiej nie powoduje większego ograniczenia w ewentualnym wykorzystaniu surowców. Jedynie w południowej części obszaru perspektywicznego występowania piasków istnieje kolizja z akwenami okresowo zamykanymi dla żegluga i rybołówstwa.

W kilkunastu (18) miejscach na dnie akwenu leżą wraki. Miejsca spoczynku czterech wraków, które mają historyczne znaczenie, są zarejestrowane w Ewidencji Podwodnych Stanowisk Archeologicznych, prowadzonej przez Centralne Muzeum Morskie w Gdańsku. W obszarze perspektywicznym występowania kopalin są znane lokalizacje jednego historycznego wraku i siedmiu innych wraków.

Głównym elementem zagospodarowania akwenu jest tor podejściowy do portu Świnoujście-Szczecin biegnący przy zachodniej granicy morza terytorialnego. Po wschodniej stronie falochronu w przedłużeniu ujścia Świny do morza znajduje się Terminal LNG (gazoport). Pas dna o szerokości ok. 3,5 km, ciągnący się po wschodniej stronie toru podejściowego, obejmuje redę z kotwiczowiskami nr 1B, 2A i 2B. Kotwiczowisko 1A znajduje się po zachodniej stronie toru. Obszar perspektywiczny występowania kopalin nie koliduje z torem podejściowym, redami i kotwiczowiskami, gdyż został wyznaczony poza tymi elementami infrastruktury.

Przedstawiona propozycja waloryzacji złóż i obszarów perspektywicznych ich występowania pozostaje w ścisłym związku z planowaniem zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich oraz z planami ochrony obszarów chronionych. Brak uregulowań prawnych odnośnie ochrony złóż niezagospodarowanych i obszarów per-

spektywicznego ich występowania może spowodować dalsze ograniczenia lub utratę dostępności tych złóż.

Artykuł jest podsumowaniem realizacji zadania „Rozpoznanie i wizualizacja budowy geologicznej Zatoki Pomorskiej dla potrzeb gospodarowania zasobami naturalnymi”. Podstawą realizacji zadania był projekt prac geologicznych opracowany w ramach przedsięwzięcia i zatwierdzony przez Ministra Środowiska decyzją DGiKGWk – 479-1/4115/09/LP z dnia 28 września 2009 r. Zadanie wykonano na zamówienie Ministra Środowiska za środki finansowe wypłacone przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Autorzy artykułu składają serdeczne podziękowania wszystkim współpracownikom z PIG-PIB i Instytutu Morskiego w Gdańsku zaangażowanym w realizację przedsięwzięcia. Urzędowi Morskiemu w Szczecinie dziękujemy za zgodę na wykorzystanie danych z rozpoznania nagromadzeń piasków morskich do zasilania brzegu.

Szczególne podziękowania należą się Redaktorowi Naczelnemu prof. Andrzejowi Gąsiewiczowi i prof. Markowi Nieciowi za recenzje, cenne uwagi i konstruktywne sugestie.

LITERATURA

- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1998 – Geochemiczne klasy czystości osadów dennych. *Prz. Geol.*, 46 (1): 46–54.
- BORÓWKA R.K., GOSLAR T. & PAZDUR A. 1999a – Age of glacio-tectonic structures on the Wolin Island in the light of lithostratigraphic data and radiocarbon dating. *Geochronometria*, 18: 35–40.
- BORÓWKA R.K., MAKOWSKA A., CEDRO B. 1999b – Ślady interglacialnych osadów morskich w okolicach Świętouscia na Wolinie. [W:] R.K. Borówka, Z. Młynarczyk, A. Wojciechowski (red.), *Ewolucja geosystemów nadmorskich południowego Bałtyku*. GeoPres, Poznań-Szczecin.
- BORÓWKA R. K., RUSZAŁOWA M., DOBRACKA E. & PIOTROWSKI A. 1999c – Budowa geologiczna wyspy Wolin. [W:] *Problemy geologii, hydrogeologii i ochrony środowiska wybrzeża morskiego Pomorza Zachodniego*. LXX Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Szczecin: 31–41.
- DADLEZ R. 1990 – Tektonika południowego Bałtyku. *Kwart. Geol.*, 34 (1): 1–20.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. 2000 – Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DOBRACKA E., DOBRACKI R. & MATKOWSKA Z. 1977 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Dziwnów (76) i Kamień Pomorski (115). Inst. Geol., Warszawa.
- DOKUMENTACJA geologiczna złoża piasków z minerałami ciężkimi Ławica Odrzana pola A i B w kat. D. (D. Kaulbarsz, L. Jurys, R. Kramarska & P. Przewdziecki) 2013. NAG PIG-PIB Oddz. Geologii Morza, Gdańsk.
- GEOLOGICZNE warunki ochrony i kształtowania południowych brzegów Bałtyku oraz obszarów ujściowych Odry i Wisły. Praca zbiorowa pod kier. J. Zachowicz & R. Dobrackiego. 1991–2003. NAG PIG-PIB Oddz. Geologii Morza, Gdańsk.
- EMEIS C-K, CHRISTIANSEN C., EDELVANG K. i in. 2002 – Material transport from the near shore to the basinal environment in the southern Baltic Sea. Synthesis of data on origin and properties of material. *J. Mar. Syst.*, 35: 151–168.
- JUROWSKA Z. & KRAMARSKA R. 1991 – Mapa geologiczna dna Bałtyku w skali 1 : 200 000, ark. Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JUSKOWIAK O., GUSTKOWICZ S. & SOKOŁOWSKA G. 1976 – Badania technologiczne frakcji piaszczystej morskich osadów Bałtyku Południowego. NAG PIG-PIB, Warszawa. Nr inw. 21172.
- KENIG K. 1995 – Mikrorzeźba powierzchni ziarn kwarcu z osadów morskich i lądowych. [W:] J.E. Mojski (red.), *Atlas geologiczny południowego Bałtyku*, 1 : 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 38–41.
- KOPCZYŃSKA-ZANDARSKA K. 1970 – Ukształtowanie i geneza powierzchni podłoża osadów czwartorzędu północno-wschodniego Pomorza. *Acta Geol. Pol.*, 20 (3): 539–555.
- KOPCZYŃSKA-LAMPARSKA K. 1979 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Niechorze (77). Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R. 1998 – Origin and development of the Odra Bank in the light of the geologic structure and radiocarbon dating. *Geol. Quart.*, 42 (3): 277–288.
- KRAMARSKA R. 1999 – Zarys geologii czwartorzędu południowo-zachodniej części Bałtyku. Przewodnik LXX Zjazdu Naukowego PTG, Szczecin: 43–52.
- KRAMARSKA R. & JUROWSKA Z. 1991 – Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1 : 200 000, ark. Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R. & PRZEZDZIECKI P. 2010 – Rozpoznanie geologiczne kruszywa do sztucznego zasilania brzegu w obszarze perspektywicznym „Rewal”. NAG PIG-PIB, Oddz. Geologii Morza, Gdańsk. Nr inw. 968.
- KRAMARSKA R., KRZYWIEC P. & DADLEZ R. 1999 – Mapa geologiczna dna Bałtyku bez utworów czwartorzędowych. Państw. Inst. Geol., Gdańsk-Warszawa.
- KRAMARSKA R., JEGLIŃSKI W., JURYS L., PRZEZDZIECKI P., UŚCINOWICZ SZ. & ZACHOWICZ J. 2005 – Atlas parametrów litologicznych osadów powierzchniowych Południowego Bałtyku ze szczególnym uwzględnieniem geologiczno-górnictwowych warunków występowania surowców okrucowych. NAG PIG-PIB Oddz. Geologii Morza, Gdańsk. Nr inw. 753.
- KRAMARSKA R., PRZEZDZIECKI P., MIOTK-SZPIGANOWICZ G., PĄCZEK U., JEGLIŃSKI W., KRZYMIŃSKA J., BOJAKOWSKA I. & KOSZKA-MAROŃ D. 2013 – Rozpoznanie i wizualizacja budowy geologicznej Zatoki Pomorskiej dla potrzeb gospodarowania zasobami naturalnymi. NAG PIG-PIB, Oddział Geologii Morza, Gdańsk. Nr arch. 1108.
- KRZYMIŃSKA J., PIKIES R. & PRZEZDZIECKI P. 2016 – Przemiany klimatyczno-środowiskowe w późnym glacie i holocenie na podstawie badań zespołów malakofauny i małżoraczków na obszarze południowego Bałtyku: wpływ na ówczesne biocenozy. *Prz. Geol.*, 64 (1): 49–58.
- KRZYSZKOWSKI D. 2010 – Stratygrafia, petrografia i paleogeografia glin lodowcowych w rejonie północno-zachodniego wybrzeża Polski. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 438: 51–92.
- KURZAWA M. 2004 – Zapis ruchów neotektonicznych w osadach plejstocenu północno-zachodniej Polski. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 407: 29–88.
- LEIVUORI M., JOKSAS K., SEISUMA Z., KULIKOVA I., PETERSELL V., LARSEN B., PEDERSEN B. & FLODERUS S. 2000 – Distribution of heavy metals in sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Boreal Environ. Res.*, 5: 165–185.
- MASŁOWSKA M. & PRZEZDZIECKI P. 1998 – Rozpoznanie złóż osadów piaszczystych w rejonie Mierzei Dziwnowskiej dla celów sztucznego zasilania. NAG PIG-PIB, Oddział Geologii Morza, Gdańsk. Nr arch. 342.
- MATKOWSKA Z., RUSZAŁA M. & WDOVIK M. 1977 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Świnoujście (112) i Międzyzdroje (113). Inst. Geol., Warszawa.
- MEERESBODENRELIEF in der deutschen Ostsee (Seabed relief in the German Baltic Sea) 1 : 100 000. Tauber F. & Zeiler M. (red.) 2012 – Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), Rostock. Kartenblatt (Map sheets): Adlergrund (Adler Ground) – 2948, Pommersche Bucht (Pommeranian Bight) – 2949.
- MÜLLER A. 1999 – Distribution of heavy metals in recent sediments in the Archipelago Sea of a southern Finland. *Boreal Environ. Res.*, 4: 319–330.
- NIEĆ M. & RADWANEK-BAK B. 2011 – Propozycja ustawowej ochrony niezagospodarowanych złóż kopalin. Materiały do dyskusji. PAN, Kom. Zrównoważonej Gosp. Sur. Min, Kraków, s. 75.
- RUSZAŁA M., DOBRACKA E. & PIOTROWSKI A. 1979 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Wolin (114) i Międzywodzie (75). Inst. Geol., Warszawa.
- SZCZEPAŃSKA T. & UŚCINOWICZ Sz. 1994 – Atlas geochemiczny Południowego Bałtyku w skali 1 : 500 000, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SZUFLICKI M., MALON A. & TYMIŃSKI M. (red.) 2016 – Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.XII.2015 r. Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Bad., Warszawa.
- UŚCINOWICZ Sz. (red.) 2011 – Geochemia osadów powierzchniowych Morza Bałtyckiego. Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Bad., Warszawa.
- UŚCINOWICZ Sz. 1989 – Mapa geologiczna dna Bałtyku w skali 1 : 200 000, arkusz Kołobrzeg. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- 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.
- ZACHOWICZ J., PRZEZDZIECKI P. & KRAMARSKA R. 2005 – Rozpoznanie możliwości poboru piasku z dna morskiego do sztucznego zasilania plaży w Mrzeżynie km: 350,5–352,2. NAG PIG-PIB Oddział Geologii Morza, Gdańsk. Nr arch. 756.

Praca wpłynęła do redakcji 5.03.2014 r.
Akceptowano do druku 30.05.2016 r.