

Grzegorz Zajfert*, Jan Artymiuk**

KOMPLEKSOWE ZASTOSOWANIE BADAŃ MORSKICH DO ZAGOSPODAROWANIA ZŁOŻA B8***

1. POŁOŻENIE

Dokumentowany rejon badań położony jest w obszarze Polskiej Strefy Ekonomicznej Morza Bałtyckiego (rys. 1), w części wschodniej Bałtyku Południowego, około 60 km na północny wschód od przylądka Rozewie i około 70 km na północ od cypla Półwyspu Helskiego, zajmując część Progu Gotlandzko-Gdańskiego.



Rys. 1. Położenie rejonu badań

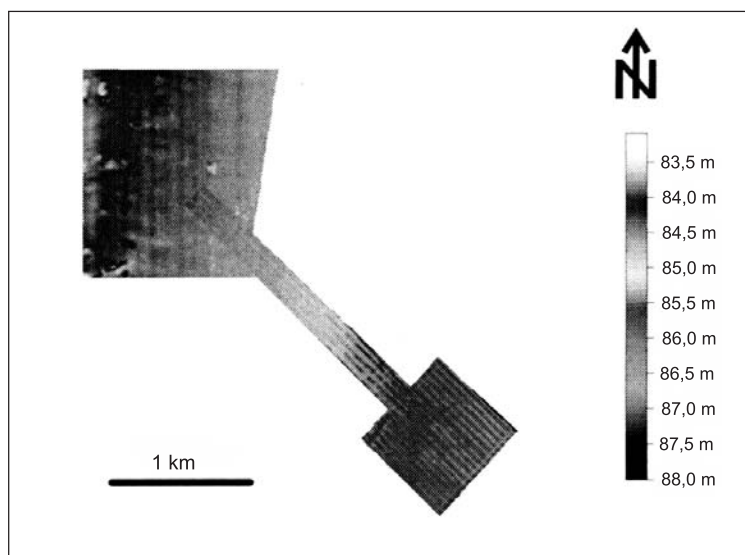
* Petrobaltic S.A., Gdańsk, e-mail: grzegorz.zajfert@petrobaltic.com.pl
** Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków
*** Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych

2. CEL BADAŃ

Z wcześniej przeprowadzonych badań sejsmicznych i geochemicznych można było sądzić, że na obszarze tym znajdują się zasoby węglowodorów. Zaczęto prowadzić kompleksowe badania dla perspektywnego zagospodarowania akwenu i eksploatacji złoża. Pierwotnie zakres badań miał wykazać możliwości posadowienia platformy wiertniczej Petrobaltic, oraz instalacji infrastruktury wydobywczej w postaci ropociągu podmorskiego o długości około 2,5 km i boi przelewowo-cumowniczej CALM dla tankowca. Kompilacja zebranych w rejonie wyników badań, oraz dokumentacji archiwalnych posłużyła jako podstawa do opracowania niniejszej pracy.

3. BATYMETRIA I MORFOLOGIA DNA

Dno morskie w opisywanym rejonie jest przeważnie płaskie (rys. 2) bez form morfologicznych, o głębokości 83,5 m (w części NW) do 87,0 m (w części SE). Powierzchniową warstwę dna budują osady mulisto-ilaste.



Rys. 2. Szkic batymetryczny

4. BUDOWA GEOLOGICZNA

Pod względem tektonicznym rejon badań położony jest w zachodniej części platformy wschodnio-europejskiej w tzw. syneklizie perybałtyckiej. Podłoże krystaliczne reprezentowane jest tutaj przez granitognejs, który przykrywają nadkłady osadowe o miąższości około 2390 m [3]. Synekliza ma szereg jednostek niższego rzędu, tj. bloki. W strukturze blokowej syneklizy bałtyckiej obszar należy do południowo-zachodniej strefy bloku Kurlandii. Tektonikę bloku Kurlandii wyróżnia najniższe położenie w stosunku do systemu

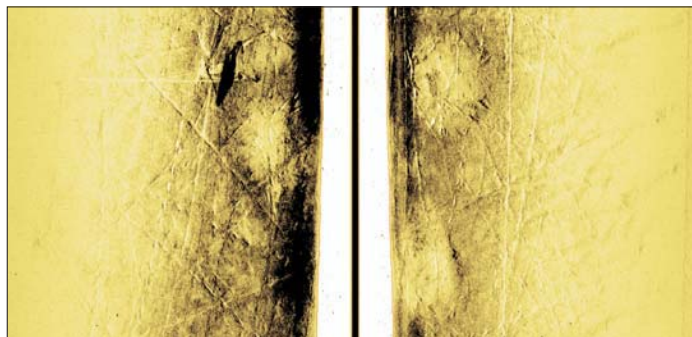
bloków Rozewia, Łeby i Słupska. Panuje tutaj monoklinalny styl budowy o przeważającej orientacji biegów NE-SW i łagodnych upadach (około $0,5^\circ$), skierowanych ku SE [7]. Rejon badań do głębokości objętej rozpoznaniem budują utwory czwartorzędowe, kredowe oraz dewońskie.

5. WARUNKI HYDROMETEOROLOGICZNE

Generalnie w badanym rejonie przeważają wiatry z sektorów SW, W oraz NW. Wiatry wiejące z tych kierunków najczęściej powodują sztormy, przy czym sztormy z sektora SW występują najczęściej w chłodniejszych miesiącach, natomiast sztormy z sektora NW w miesiącach cieplejszych. Średnia miesięczna prędkość wiatru dla okresu jesień-zima wynosi $7\div 8$ m/s, zaś liczba dni z silnym wiatrem wiejącym około 15 m/s, to od 4 do 6 dni przypadających na każdy miesiąc. W okresie wiosennym średnia miesięczna prędkość wiatru wynosi $5\div 6$ m/s. Liczba dni, w których wiejący wiatr zakwalifikowany został jako silny, nie przekracza 5 dni na każdy miesiąc. W okresie letnim, średnia miesięczna prędkość wiatru nie przekracza 5 m/s, a liczba dni z silnym wiatrem wynosi od 1 do 3 w każdym miesiącu. Zatem najczęściej wiejącym wiatrem w skali roku jest wiatr o prędkości $2\div 7$ m/s. Maksymalna prędkość wiatru dla okresu 100 lat osiąga wartość 43 m/s. Sztormy wywołane są częściej w okresie zimowym, aniżeli w okresie letnim, np. w grudniu jest 5 dni sztormowych, a w czerwcu są tylko 2 dni sztormu. Przy silnych wiatrach podczas sztormu fala osiąga wysokość $3\div 5$ m, jednak przy bardzo silnych sztormach sporadycznie osiąga wysokość 9 m. Maksymalna wysokość fali przyjmowana dla największego sztormu w okresie 100 lat wynosi 11,9 m. Okres takiej fali szacowany jest na 10,1 s, długość fali na 160 m. W okresie wiosennym w $60\div 70\%$ obserwacji, stan morza nie przekracza $3^\circ B$, w $30\div 40\%$ obserwacji stan morza wynosi $4\div 5^\circ B$, a w $3\div 6\%$ obserwacji osiąga $6^\circ B$. Maksymalna prędkość prądu powierzchniowego nie przekracza 1 m/s i maleje wraz z głębokością. Prędkość prądów przydennych waha się w granicach $0,2\div 0,25$ m/s i często przyjmuje przeciwny kierunek ruchu w stosunku do prądów powierzchniowych [3].

6. WSPÓLCZESNE CZYNNIKI ANTROPOGENICZNE

W chwili obecnej, stan badanego rejonu nie wykazuje istotnych zmian wywołanych czynnikami antropogenicznymi. Prowadzone z platformy Petrobaltic wiercenia rozpoznawcze nie spowodowały żadnych zmian środowiska naturalnego. W granicach obszaru, stosując najnowocześniejsze metody badań, nie stwierdzono obecności wraków, elementów wyposażenia statkowego, belek drewnianych i itp. Zaobserwowane formy powierzchniowe dna, które powstały wskutek ingerencji człowieka, to ślady po nogach platformy (rys. 3), oraz niegłębokie zarysowania dna morskiego, które powstały w wyniku działalności rybackiej. Linie ciągłe lub przerywane (rys. 4) tworzą gęstą sieć i powstały na skutek tarcia o dno desek trałowych wykorzystywanych do odpowiedniego prowadzenia włoka za pływającą jednostką rybacką. Deski te są konstrukcji stalowej i waga ich przekracza 200 kg. Zjawisko to, oraz efekt, jaki ono wywołuje, najprawdopodobniej wywiera znikomy wpływ na środowisko naturalne.



Rys. 3. Ślady po nogach platformy (obraz sonarowy)



Rys. 4. Efekt trałowania (obraz sonarowy)

Niebezpiecznym i zagrażającym czynnikiem dla środowiska oraz ludzi jest możliwość potencjalnego występowania w tym rejonie bojowych środków trujących (BST). Sam rejon bezpośrednio nie sąsiaduje z miejscem zrzutów amunicji (akwen położony na południowy wschód od Gotlandii), natomiast leży w bliskim otoczeniu tras przewożenia ładunków do miejsca zrzutów. W dokumentacjach oraz danych dotyczących tego proceduru występuje mnóstwo niejasności i rozbieżności dotyczących: dokładnej pozycji zrzutów, ilości zatopionego materiału i sposobu zatapiania. Prawdopodobnie, początkowo nie wyjmowano topionego sprzętu ze skrzyń drewnianych, co powodowało ich dryfowanie, pomiar pozycji odbywał się za pomocą kompasu i namiarów z lądu, zrzut następował ze statków płynących lub dryfujących, część amunicji z BST była topiona już w czasie rejsów. Takie informacje potwierdzają liczne Locje Bałtyku, raporty, oraz publikacje [4], a przede wszystkim faktyczne kontakty BST z ludźmi w różnych miejscach Bałtyku, nawet znajdujących się w znacznych odległościach od oficjalnie podanych miejsc zrzutów. Zatem istnieje potrzeba zachowania szczególnej ostrożności w tym rejonie przy prowadzeniu wszelkich prac morskich, a przede wszystkim przy pobieraniu prób osadów.

7. METODYKA BADAŃ

Zastosowaną metodykę badań można rozdzielić na dwie grupy:

- 1) badania inwazyjne, do których zaliczamy wiercenia wibracyjne VKG-6, sondowania statyczne CPT oraz wiercenie otworów geologiczno-inżynierskich i pobór prób czerpakowych;
- 2) badania bezinwazyjne, sondaż batymetryczny, ciągłe profilowanie sejsmoakustyczne, wykonywanie zdjęć sonarowych oraz inspekcja telewizyjna za pomocą pojazdu ROV.

Badania geologiczno-inżynierskie, geofizyczne, oraz hydrograficzne wykonała w marcu 2003 roku Służba Geotechniki i Radiogeodezji Petrobaltic S.A. Wszystkie badania na morzu prowadzono z pokładu wielozadaniowego statku badawczego M/V St. Barbara (rys. 5). Jednostka jest typowym pełnomorskim statkiem badawczym, mogącym zapewnić kompleksowe przeprowadzenie badań z zakresu geotechniki, geofizyki i hydrografii. Mobilność statku zapewniają cztery silniki główne i dwa stery strumieniowe. Stabilność pozycji, mimo działających sił wymuszających (wiatr, prąd i falowanie) zapewnia kotwiczny system utrzymywania pozycji. Dla zapewnienia dokładnej lokalizacji wszystkie prace badawcze wykonywane są pod nadzorem dwóch oddzielnie działających systemów nawigacji radiowej DGPS, oraz specjalistycznego oprogramowania nawigacyjnego NORCOM. Do zadań prowadzonych pod powierzchnią wody jednostka posiada system akustycznego pozycjonowania podwodnego. Wysoką specjalizację statku, oraz przydatność w koordynowaniu pracami podwodnymi na polach naftowych B3 i B8 podkreśla zainstalowany zespół telewizji do nadawania lokalnej transmisji obrazu i informacji z prowadzonych prac, których bezpieczne i skuteczne przeprowadzenie wymaga zgrania wszelkich działań na różnych jednostkach morskich znajdujących się na polu naftowym.



Rys. 5. M/V St. Barbara

Płytkie prace wiertnicze wykonano wibrosondą VKG-6, umożliwiającą pobieranie około 6-metrowych rdzeni o średnicy 98 mm. Łącznie pobrano 27 rdzeni. Ponadto w obszarze badań zebrano 29 prób czerpakowych, które na miejscu były poddawane analizie i opisowi makroskopowemu. Następnie próby te dostarczono do laboratorium firmy Petrobaltic celem zbadania ich pod względem geochemicznym. W rejonie badań wykonano otwór geologiczno-inżynierski wiertnicą o roboczej nazwie H4-1H. Zastosowano wiercenie obrotowe otworu o średnicy 112 mm z ciągłym pobieraniem rdzenia o średnicy 85 mm. Otwór odwiercono na głębokości 14 m poniżej dna morskiego, osiągając zamierzony cel, a więc strop dewonu, na poziomie 11,6 m. Zarówno wszystkie próby rdzeniowe, jak i czerpakowe poddano analizie makroskopowej.

Zakres analizy obejmował:

- opis gruntów i wydzielenie ich stratygrafii,
- oznaczenie wytrzymałości na ścinanie gruntu przy użyciu ścinarki obrotowej SO-1,
- określenie spójności gruntu za pomocą penetrometru tłoczkowego PW-1,
- wyznaczenie stopnia plastyczności na podstawie wałeczkowań,
- oznaczanie zawartości węgla wapnia CaCO_3 na podstawie reakcji gruntu zadanego roztworem 20% kwasu solnego.

Podczas opisu i badań makroskopowych pobierano próbki NU (z naturalnym uziarnieniem) i NNS (z nienaruszoną strukturą), które to stanowiły materiał do dalszych badań i analiz wykonywanych w laboratorium mechaniki gruntu przez Instytut Morski w Gdańsku.

Zakres badań laboratoryjnych obejmował ustalenie:

- składu granulometrycznego,
- zawartości materii organicznej,
- ciężaru objętościowego,
- wytrzymałości na ścinanie.

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk mechanicznych gruntu sporządzono dokumentację geotechniczną i w formie ekspertyzy przekazano do firmy Petrobaltic.



Rys. 6. Penetrometr Roson

Do sondowań statycznych CPT i CPTU użyto penetrometru Roson 10 Tf A.P. V.d. Berg produkcji holenderskiej (rys. 6). Urządzenie jest zaprojektowane od podstaw do wykonywania badań na morzu. Badanie polega na wciskaniu w grunt stożków pomiarowych z jednoczesną cyfrową rejestracją fizyko-mechanicznych parametrów gruntu [8]. Zaletą penetrometru ROSON jest to, że napęd wykonują moduły kołowe, a nie siłowniki hydrauliczne i nie występują przerwy podczas badania.

Badanie typu CPT polega na powolnym wciskaniu w grunt, pionowo, ze stałą prędkością, kolumny żerdzi zakończonych znormalizowaną końcówką składającą się ze stożka i cylindrycznej pobocznicy. Podczas zagłębiania dokonuje się pomiaru oporu stożka i oporu tarcia gruntu o powierzchnię boczną tulei tarciowej.

Badanie typu CPTU jest badaniem sondą CPT, uzupełnionym o pomiar ciśnienia wody w porach gruntu podczas zagłębiania, na poziomie podstawy stożka.

W trakcie badania rejestrowane są parametry [5]:

- opór na stożku,
- tarcie na pobocznicy,
- ciśnienie porowe,
- nacisk całkowity,
- inklinacja,
- szybkość penetracji.

Łącznie wykonano 9 penetracji i można je było skorelować z wibrosondami pobranymi w tym samym miejscu.

Pomiary batymetryczne wykonywano echosondą DESO-20 firmy Atlas-Krupp. Pomiary głębokości odnoszono do aktualnego poziomu morza w rejonie prowadzonych badań. Kalibrację echosondy przeprowadzono, opierając się na dokładnych pomiarach prędkości akustycznych w wodzie od powierzchni do dna morza.

Prace sejsmoakustyczne były prowadzone przy użyciu dwóch różnych aparatów. Pierwsza to X-STAR, model SB-0512, firmy Edge Tech. Zakres częstotliwości emitowanej przez tę aparaturę wiązki fal akustycznych obejmował 2÷12 kHz i umożliwiał uzyskanie rozdzielczości pionowej około 8 cm [6]. Prędkość holowania za statkiem wynosiła 3,5 węzła. Dokładność pozycji urządzenia względem statku po wcześniejszym skalibrowaniu, zapewniał system nawigacji podwodnej ATS II. Rejestrowano przejazdy na równoległych profilach. Dla obszaru trasy rurociągu, profili odległych od siebie o 50 m było 5, natomiast siatka profilowania dla boi przelewowej kształtem przypomina 6-ramienną gwiazdę, której każde ramię prześledzono 3 profilami o zagęszczeniu co 25 m. Drugą aparaturą, Boomer, typ UNIBOOM 230-1 zastosowano do zbadania gruntu w miejscu przewidywanego posadowienia platformy. Boomer, oraz hydrofon były holowane za statkiem równoległe do siebie po obu stronach kilwateru. Odległość hydrofonu od wzbudnika wynosiła 16 m. Energia użyta do wzbudzania fali akustycznej wynosiła 300 J, repetycja impulsu odbywała się co 0,5 s, zakres rejestracji 0,25 s, gęstość zapisu 150 linii na 25,4 mm (cal). Przychodzący sygnał był filtrowany i rejestrowany w przedziale częstotliwości 700÷1800 Hz na rejestratorze LSR 1811 firmy Raytheon-USA. Uzyskano rozdzielczość 0,5÷1,0 m. Przy interpretacji profili sejsmoakustycznych przyjęto następujące prędkości akustyczne dla osadów czwartorzędowych: 1800 m/s – osady holocenu i plejstocenu (muły i iły), 2000 – m/s gliny morenowe [3].

Do badań czystości dna na planowanym do zagospodarowania obszarze użyto sonara DF-1000 firmy Edge Tech. Ponadto obrazy sonarowe wykorzystano do interpretacji osadów powierzchniowych. Rejestrację prowadzono w zakresie 2×75 m. Częstotliwość pracy urządzenia wynosiła 100 kHz i 500 kHz. Do zapisu użyto systemu akwizycji danych CODA DA 50. Postprocessing, oraz wizualizację w postaci podwodnych map sonarowych wykonano w systemie CODA Mosaic.

8. CZWARTORZĘD

Tworzą go muły i ły holocenijskie, oraz plejstocenijskie/holocenijskie gliny subakwalne. Wierzchnia warstwa mulista nie jest jednorodna, tworzy ją seria osadów mulistych o różnych właściwościach. Generalnie osadem powierzchniowym jest muł oliwkowo-czarny, konsystencji półpłynnej i o silnym zapachu H_2S . Średnia miąższość tej warstwy wynosi 5 cm, maksymalnie do 18 cm. Miejscowo warstwę tę przykrywają beżowe naloty muliste. Osadem podścielającym jest muł oliwkowy, który występuje w kilku odmianach. W warstwie mułów oliwkowych występują: muł oliwkowy, oliwkowo-szary, muł oliwkowo-szary z przewarstwieniami i laminami czarnej materii organicznej, a następnie muł ilasty oliwkowo-szaro-beżowy. Miąższość warstwy mułów z serii oliwkowych jest zróżnicowana i w zależności od położenia rozkłada się następująco: w części SE miąższość jest największa średnio ok. 5 m, miejscami przekracza zasięg wibrosondy, czyli ponad 6 m. Natomiast w części NW badanego obszaru warstwa mułów oliwkowych wyklinowuje się, osiągając średnią miąższość zaledwie 20 cm. W tej części akwenu w kilku miejscach pobrania wibrosondą nie stwierdzono mułów oliwkowych. Tak zróżnicowaną warstwę pod względem barwy i domieszek charakteryzuje zgodność wyników pozostałych badań makroskopowych. Warstwa mułów oliwkowych ma konsystencję półpłynną – galaretowatą na całej swej miąższości, nie daje się wałeczковать i maże się, opór ścinania ścinarką obrotową SO-1 wynosił od 0,04 do 0,07 MPa, a penetrometr tłoczkowy PW-1 nie wykazywał oporu, a więc i spójności gruntu, zawartość $CaCO_3$ poniżej 1%. Warstwą, która podściela serię mułów oliwkowych jest warstwa łu czekoladowego. Warstwa ilasta występuje i graniczy z serią mułów oliwkowych prawie na całym przebadanym obszarze. Miąższość średnio wynosi około 1 m, wzrasta w zastoiskach do 4 m, ale zanika na powierzchniach wyniesień glin morenowych. W większości przypadków, a zwłaszcza w części SE spąg warstwy łu czekoladowego jest już nieosiągalny dla wibrosondy i dalsze analizy opierają się badaniach sejsmoakustycznych. Rzędna występowania warstwy ilastej wynosi na SE około od 5,5 m do 6,5 m, natomiast na NW około od 2 m do 3 m. Występują liczne domieszki łu czekoladowego. Często łu czekoladowy występuje z domieszką frakcji pelitowej szarej (występującej w warstwach wyższych) lub pelitowej oliwkowo-szarej. Takie zróżnicowanie przeważnie występuje na całym obszarze. Wyniki badań makroskopowych jednoznacznie charakteryzują warstwę łów czekoladowych jako homogeniczną o konsystencji półpłynnej do miękkoplastycznej, próba wałeczkovania kończy się rozmazaniem, opór ścinania wynosi średnio 0,06 MPa, penetrometr tłoczkowy PW-1 wykazywał znikomy opór poniżej 20 kPa, sporadycznie występują soczewki łu bardziej skonsolidowanego, zawartość $CaCO_3$ od 1÷3%. W części NW dodatkowo występują ły stalowo-szare, które występują między spągiem mułów oliwkowych a stropem łów czekoladowych. Gliny morenowe tworzą warstwę o największej

miąższości dochodzącej nawet do 9 m. Wykonany otwór geologiczno-inżynierski potwierdził, a przede wszystkim pozwolił zidentyfikować gliny jako brązowe, z pojedynczymi ziarnami żwiru, w spągu silnie piaszczyste z gładzikami o średnicy 40 mm. Gliny doskonale zostały zobrazowane za pomocą badania sejsmoakustycznego. Występują silne odbicia refleksyjne, zarysowujące strop glin jako wyraźnie pofałdowany z licznymi, niesymetrycznymi dolinami i wyniesieniami. Spąg jest lekko nachylony w kierunku SE, tam też zwiększa się nieznacznie miąższość warstwy. W pierwotnych materiałach źródłowych można dostrzec zarejestrowane charakterystyczne dla glin morenowych fale dyfrakcyjne. Spąg glin morenowych jest jednocześnie spągiem utworów czwartorzędowych.

9. KREDA

Zalega na utworach dewońskich, miąższość osadów jest zmienna i wynosi od 3 do 30 m. Największe miąższości występują w części SE badanego obszaru, a najmniejsze w NW. Dane dotyczące miąższości oparto na wynikach badań sejsmoakustycznych. Utwory kredowe wykształcone są w postaci piasków gliniastych z glaukonitem barwy zielonej. Potwierdza to wykonany w części NW badanego obszaru otwór geologiczno-inżynierski. Strop piasków osiągnięto na dziewiątym metrze, a spąg na 11,6 m. Z głębokością piaski z ciemnozielonych przechodzą w szarozielone, a w spągu w szarobrązowe. Badania stratygraficzne wykazały [6] brak przewodniej mikrofauny, napotkano jedynie na nieliczne zniszczone łuski ryb, oraz okruchy bursztynu. Nawiercone osady zaliczono do eocenu górnego [1].

10. DEWON

Strop osadów dewonu nawiercono w otworze geologiczno-inżynierskim B8-2/1 na poziomie 11,6 m poniżej dna morskiego. Spągu nie osiągnięto, ponieważ nie stanowiło to celu wiercenia, a badania sejsmiczne potwierdziły stratyografię warstw i niezakłóconą budowę dewonu do granic penetracji, czyli około 50 m. Dane pochodzące z literatury określają miąższość dewonu w tym miejscu na około 600-650 m [2]. Nawiercone utwory dewonu wystąpiły jako wapień gruzłowy, jasnobrązowy z muszlami. Występują naloty i smugi żelaziste. Miejscami wapień przyjmuje strukturę łupkową. W rdzeniu stwierdzono wkładki margliste barwy brunatno-szarej. Wapień gruzłowy jest skałą twardą i zbitą. Analiza danych sejsmoakustycznych obrazuje monoklinalne zapadanie się utworów dewońskich pod kątem $0,5^\circ$ w kierunku SE. Nawiązuje to i potwierdza wcześniej już opisywaną budowę tektoniczną bloku Kurlandii.

11. PODSUMOWANIE

Prowadzenie kompleksowych badań dla perspektywicznego zagospodarowania akwenu i eksploatacji złoża B8 ma na celu zarówno wyznaczenie możliwości posadowienia platformy wiertniczej, instalacji infrastruktury wydobywczej (rurociągów, głowic wydobywczych

oraz innych budowli na dnie morskim) boi przelewowo-cumowniczej CALM dla tankowca, jak i opracowanie danych niezbędnych do weryfikacji batymetrii i morfologii dna oraz budowy geologicznej. Dokładna znajomość właściwości gruntu dna morskiego i warstw zalegających poniżej daje to gwarancję bezpiecznego projektowania i realizacji planowanych inwestycji. Również dokładnie analizuje się warunki hydrometeorologiczne; wielkość i kierunek wiatrów oraz wysokość występującej fali to istotne parametry przy projektowaniu poszczególnych faz zagospodarowywania złoża. Dokładne poznanie wszystkich wymienionych parametrów jest istotnym czynnikiem decydującym o bezpieczeństwie prowadzonych prac jak również wyznaczenie środków do ochrony wód, dna i plaż nadmorskich. Na podstawie otrzymanych wyników można opracować oddziaływanie potencjalne, znaczące bezpośrednio, pośrednio, krótkotrwałe, odwracalne i nieodwracalne inwestycji na poszczególne elementy środowiska.

LITERATURA

- [1] Bieńkowska E., Pajchłowa M., Nering-Lefeld M.: *Ekspertyza stratygraficzna osadów wiercenia W8-1*. Warszawa, Zakład Stratygrafii i Tektoniki-Instytut Geologiczny 1983 (maszynopis archiwum PETROBALTIC)
- [2] Dadlez R., Pokorski J.: *Atlas geologiczny południowego Bałtyku*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny 1995
- [3] *Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla posadowienia platformy PETROBALTIC na strukturze B8/Szelf PRL*. Wspólna Organizacja Poszukiwań Naftowych na Morzu Bałtyckim „PETROBALTIC”, Gdańsk, 1983
- [4] Korzeniewski K.: *Ochrona środowiska morskiego*. Gdańsk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego 1998
- [5] *Manual: Manufacturing static cone penetrometer equipment*. A.P. V.d. Berg ingenieursburo b.v., Heerenveen, Holland, 1985
- [6] Michałowski K., Szulc D.: *Akustyczne sygnały złożone z liniowo modulowaną częstotliwością do badań morskich osadów dennych*. Materiały z XV Sympozjum z Hydroakustyki, Jurata, 1998
- [7] Pikies R.: *Czwartorzęd Południowej Części Basenu Gotlandzkiego*. Gdańsk, Oddział Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego 1999 (praca doktorska)
- [8] PN-B-04452:2002. *Geotechnika. Badania polowe*