

**Badania dna morskiego
na obszarze
morskiej farmy wiatrowej
„Bałtyk Środkowy III”**

Raport końcowy z wynikami badań

Wykonawca:

Instytut Morski w Gdańsku

Zamawiający:

Bałtyk Środkowy III Sp. z o.o.

Warszawa,

luty 2014 r.

Informacje o dokumencie

Dokument: Badania dna morskiego na obszarze MFW Bałtyk Środkowy III
Raport końcowy z wynikami badań

Wersja: nr 1 (28.02.2014) ostateczna

Autorzy: Stanisław Rudowski
Katarzyna Makurat
Katarzyna Wnuk
Piotr Ciesielski
Lucjan Gajewski
Karolina Nowak
Justyna Edut
Dorota Cichowska
Radosław Wróblewski
Kazimierz Szeffler
Jacek Koszałka

Zamawiający: Bałtyk Środkowy III Sp. z o.o.
ul. Krucza 24/26
00-526 Warszawa

Wykonawca: Instytut Morski w Gdańsku
ul. Długi Targ 41/42
80-830 Gdańsk

Data umowy: 14.08.2013

Spis treści

Skróty i definicje	4
1. Streszczenie niespecjalistyczne.....	5
1.1. Obszar badań	5
1.2. Metodyka.....	5
1.3. Wyniki	6
1.4. Podsumowanie.....	7
2. Wprowadzenie	8
3. Obszar badań.....	8
4. Metodyka	10
4.1. Metodyka badań	10
4.1.1. Obszar badań.....	10
4.1.2. Czas trwania badań	10
4.1.3. Aparatura pomiarowa	12
4.1.3.1. Metody pomiarów batymetrycznych, geofizycznych oraz sonarowych.....	12
4.1.3.2. Metody poboru płytkich prób rdzeniowych.....	19
4.1.4. Założenia prac pomiarowych	20
4.1.4.1. Pomiary batymetryczne, geofizyczne oraz sonarowe	20
4.1.4.2. Pobór płytkich prób rdzeniowych	22
4.2. Metodyka opracowywania danych.....	24
4.2.1. Opracowanie danych batymetrycznych	24
4.2.2. Opracowanie danych geofizycznych	25
4.2.3. Opracowanie danych sonarowych	26
4.2.4. Opracowanie płytkich rdzeni.....	27
5. Wyniki.....	27
5.1. Batymetria	27
5.1.1. Opis wyników uzyskanych danych batymetrycznych.....	27
5.1.2. Cyfrowy model dna oraz mapa batymetryczna.....	27
5.1.3. Nachylenie dna.....	29
5.1.4. Charakter powierzchni dna	29
5.2. Zdjęcie sonarowe	33
5.2.1. Opis wyników badań sonarowych.....	33
5.2.2. Analiza profili sonarowych.	33

5.3. Profilowanie sejsmoakustyczne	37
5.3.1. Opis wyników uzyskanych z profilowania sejsmoakustycznego	37
5.3.1.1. Osady powierzchniowe	37
5.3.1.2. Budowa węgłbna	38
5.4. Rdzenie płytkie	47
6. Podsumowanie wyników i wnioski	47
7. Niedostatki techniki i luki we współczesnej wiedzy	48
8. Bibliografia	49
9. Spis tabel	51
10. Spis rysunków	51
11. Spis załączników	52

Skróty i definicje

DGPS	Różnicowy System Globalnego Pozycjonowania (Differential Global Positioning System)
DTM	Cyfrowy model dna
EUPOS	Ogólnopolska sieć stacji referencyjnych, na których wykonywane są ciągłe obserwacje satelitów systemów GNSS, której punkty odniesienia stanowią podstawową poziomą osnowę geodezyjną i szczegółową wysokościową osnowę geodezyjną
IHO	Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna (International Hydrographic Organization)
IMO	Międzynarodowa Organizacja Morska (International Maritime Organization)
MBES	Echosonda wielowiązkowa
MFW BŚ III	Morska Farma Wiatrowa Bałtyk Środkowy III
MMSI	Morski Sygnał Wywoławczy (Maritime Mobile Service Identity)
Powierzchnia instalacji	obszar określony współrzędnymi zawartymi w pozwoleniu na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń w polskich obszarach morskich („PSZW”) pomniejszony o bufor o szerokości 500 m do wewnątrz MFW; powierzchnia faktycznie możliwa do zabudowy
QA	Ocena jakościowa
QC	Kontrola jakości
PUWG „1992”	Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992
RTCM	Organizacja określająca standardy transmisji danych (Radio Technical Commission for Maritime Services organization)
RTK	Kinematyczny Tryb Czasu Rzeczywistego (Real Time Kinematic) dla DGPS; technologia najdokładniejszych pomiarów pozycji nad poziomem morza (dokładność rzędu centymetrów) uzyskiwanych w czasie rzeczywistym (bez wykonywania obliczeń w tzw. post-processingu)
SBP	Profilomierz osadów
SSS	Sonar boczny
USBL	System pozycjonowania podwodnego (Ultra Short Base Line)
VRS	Wirtualne stacje referencyjne (Virtual reference stations)
WGS84	Globalny System Geodezyjny 1984 (World Geodetic System 1984)

1. Streszczenie niespecjalistyczne

1.1. Obszar badań

Obszar MFW BŚ III znajduje się na stoku Ławicy Słupskiej, w odległości około 23 km na północ od Łeby. Obejmuje fragment dna o powierzchni około 117 km² i głębokościach od około 23 do około 43 m. Dokładną lokalizację wyznaczonego obszaru przedstawiono w rozdziale 3 niniejszego Raportu.

1.2. Metodyka

Na obszarze MFW BŚ III przeprowadzono badania, w wyniku których opisano: głębokość dna w granicach wyznaczonego poligonu, charakter dna, występujące na jego powierzchni osady oraz rozpoznano budowę geologiczną. Wykonane zostały również płytkie odwierty, z których pobrano próby rdzeniowe osadów w celu określenia rodzaju skał budujących dno.

Pozycjonowanie statku w czasie pomiarów możliwe było dzięki zastosowaniu systemu pomiaru przechyłów, kursu i przyspieszenia.

Pomiary batymetryczne (głębokości), geofizyczne (rozpoznanie budowy wgłębnej) oraz sonarowe (rozpoznanie charakteru powierzchni dna) prowadzono po wyznaczonych równoległe względem siebie profilach pomiarowych. Łącznie wykonanych zostało 217 profili w odległościach co 65 m. Wszystkie dane zgromadzone zostały w wersji cyfrowej.

Dane zawierające informację o głębokości, na kolejnych etapach przetwarzania, zostały poddane filtracji, która polegała na usunięciu wartości znacznie odbiegających od pozostałych (tzw. pik). Po przetworzeniu danych uzyskano plik zawierający informację o współrzędnych i głębokości (x, y, z), który stanowił podstawę do utworzenia mapy batymetrycznej obszaru.

Badania geofizyczne wykonano przy użyciu dwóch profilomierzy osadów pracujących na różnych częstotliwościach (wysokich i niskich). Zastosowanie urządzenia wysokoczęstotliwościowego pozwoliło na dokładne rozpoznanie warstw osadów znajdujących się blisko powierzchni dna (do około 5 m), natomiast niskoczęstotliwościowego umożliwiło wydzielenie głębokich struktur geologicznych (do około 45 m). W wyniku analizy profili uzyskano informacje o głębokości zalegania górnych granic (stropów) poszczególnych osadów. Dane wyjściowe do stworzenia map zalegania stropów zawierały informację o współrzędnych oraz głębokości zalegania warstwy pod powierzchnią dna. Dane do stworzenia przekrojów geologicznych zawierały informację o odległości od początku profilu pomiarowego (kp) podaną w kilometrach oraz głębokość zalegania stropów warstw osadów.

Pomiary sonarem bocznym dostarczyły danych przedstawiających obraz powierzchni dna. Poszczególne profile zostały złożone w mozaikę sonarową dna. Obraz ten stanowił podstawę do wyznaczenia struktur sedymentacyjnych (nagromadzeń osadów ułożonych w charakterystyczne formy): ripplemarków, fal piaszczystych oraz kamienisk. Rozpoznane zostały także typy osadów powierzchniowych oraz obiekty podwodne.

Płytkie próby rdzeniowe pobrano w zagęszczeniu do 1 próby na 3 km², w lokalizacjach wyznaczonych na podstawie wstępnych analiz danych geofizycznych. Rdzenie pobrane zostały przy użyciu próbnika o długości 3 m. Pobrane próby zostały poddane analizie makroskopowej, polegającej na opisowym określeniu wielkości ziaren osadu (frakcji), sposobu ułożenia składników, stopnia wysortowania materiału, wilgotności, barwy, zawartości węglanów.

Dokładny opis metodyki zawarty została w rozdziale 4. tego raportu.

1.3. Wyniki

Powierzchnia dna MFW BŚ III jest zróżnicowana. Głębokość obszaru badań (MFW BŚ III + 1 milowy bufor) wynosi od 23,5 m w południowo-zachodniej części do 43 m w północno-zachodniej części. Nachylenie dna jest stosunkowo łagodne. W północno-zachodniej części rzeźba dna jest urozmaicona przez występujące formy grzbietów i zagłębień powstałych na powierzchni glin. Deniwelacje w obrębie tych form dochodzą do 3 m.

Rzeźba i budowa geologiczna pola MFW BŚ III związana jest z obecnością lądolodu skandynawskiego, późniejszą deglacją (zanikaniem lądolodu) obszaru i działalnością współczesnych procesów na dnie morza. Wydzielono pięć obszarów o różnej budowie i charakterze powierzchni dna (Rysunek 17):

P1 – wychodnia glin zwałowych ze zmienną pokrywą piaszczysto-żwirową, powstała w wyniku działania procesów erozyjnych związanych z rozmywaniem tej partii dna.

P2 i P3 – zespoły terasów kemowych, powstałe przy wyniesieniu morenowym w pobliżu czoła lądolodu, utworzone wskutek działania spływów powierzchniowych, wypływów wód wytopieniowych.

P4 – dolina spływów wód wytopieniowych o przebiegu SW-NE z licznymi formami w postaci progów.

P5 – równina akumulacyjna (obszar akumulacji osadów wodnolodowcowych i morskich).

Powierzchnia dna MFW BŚ III reprezentowana jest przez 5 typów osadów dennych wydzielonych na podstawie obrazu sonarowego dna. Wyróżniono:

- wychodnie glin zwałowych,
- gliny zwałowe z cienką pokrywą piasków,
- piaski morskie,
- osady różnoziarniste,
- ility i muły.

Na mapie sonarowej zostały oznaczone głazy i antropogeniczne obiekty podwodne tj. kable, liny, sieci, kłody, kotwice, beczki wraz z przypisanymi współrzędnymi geograficznymi.

Warstwę osadów powierzchniowych opisano na podstawie geologicznej interpretacji profili sejsmoakustycznych w relacji do danych uzyskanych z rejestracji sonarem bocznym. Na powierzchni dna występują przede wszystkim drobno i średnioziarniste współczesne piaski morskie stanowiące tak zwaną warstwę dynamiczną, która ulega przemieszczaniu pod wpływem falowania. Miąższość warstwy dynamicznej jest zmienna i wynosi średnio od 0,2 do 1,7 m.

W wyniku przeprowadzonych analiz wyróżniono cztery główne rodzaje osadów w budowie wgłębnej obszaru MFW BŚ III: piaski, osady różnoziarniste, ility/muły oraz glinę zwałową.

Gliny zwałowe występują w budowie wgłębnej całego obszaru badanego pola. W północnej i północno-zachodniej części obszaru badań tworzą one rozległe wychodnie przykryte miejscami cienką warstwą piasków i żwirów. W rzeźbie podłoża gliniastego, w centralnej części pola MFW BŚ III

zaznacza się podłużne wzniesienie o przebiegu SW-NE. Po obu stronach wzniesienia znajdują się zagłębienia wypełnione iłami i mułami.

Na znacznym obszarze badanego pola, na powierzchni, leży rozległa pokrywa piasków. Miąższość serii piasków wynosi od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów.

1.4. Podsumowanie

Na podstawie analizy obrazu uzyskanego z rejestracji sondą wielowiązkową, sonarem bocznym, profilowaniem sejsmoakustycznym oraz opracowanych prób rdzeniowych szczegółowo opracowana została rzeźba i budowa dna obszaru pod kątem planowanej inwestycji.

Rzeźba dna obszaru jest zróżnicowana. Południowa część pola położona jest najpłycej i obejmuje lekko nachylone partie dna w kierunku N i NE z rozcięciem w postaci doliny o przebiegu SW-NE. Północna część obszaru to fragment obniżającego się w kierunku Rynny Słupskiej dna z wychodniami glin oraz partiami o urozmaiconej, pagórkowatej rzeźbie związanej z rozmywaniem dna w tym rejonie. Wschodnia część obszaru to prawie płaski obszar, delikatnie nachylonej w kierunku wschodnim, równiny akumulacyjnej. Na powierzchni przeważającej części obszaru występują piaski morskie, miejscami piaski różnoziarniste i pojedyncze głązy. W północnej części pola dno stanowią wychodnie glin zwałowych. We wschodniej części obszaru, bezpośrednio pod piaskami, występują ily i muły dawnego zastoiska. Pokłady iłów i mułów mniejszego zastoiska stwierdzono również w zachodniej części obszaru oraz punktowo, tworzące niewielkie powierzchnie, w centralnej części pola.

2. Wprowadzenie

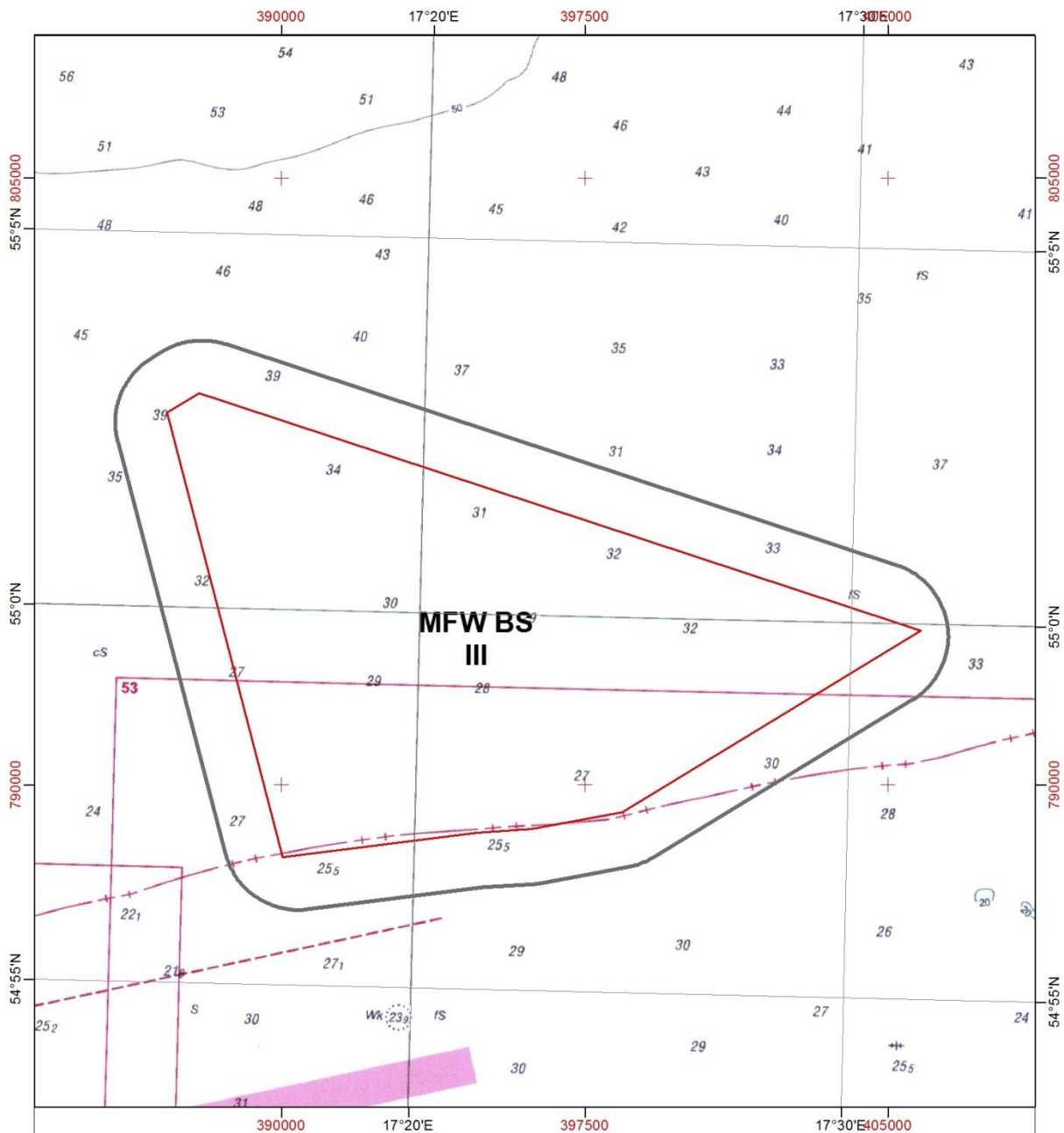
Raport stanowi podsumowanie wyników badań warunków geologicznych na obszarze Morskiej Farmy Wiatrowej Bałtyk Środkowy III, które zostały wykonane na zlecenie Bałtyk Środkowy III Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie, ul. Krucza 24/26, 00-526 Warszawa.

Niniejsze opracowanie stanowi raport końcowy z wynikami przeprowadzonych badań w zakresie warunków geologicznych za okres od 01.12.2012 do 22.11.2013. Wyniki badań zostaną wykorzystane do oceny oddziaływania Morskiej Farmy Wiatrowej Bałtyk Środkowy III na środowisko morskie i uwzględnione w raporcie OOS (oceny oddziaływania na środowisko).

3. Obszar badań

Prace badawcze dotyczyły akwenu przeznaczanego pod realizację projektu polegającego na budowie Morskiej Farmy Wiatrowej Bałtyk Środkowy III (MFW BŚ III). Lokalizację obszaru badań względem linii brzegowej przedstawiono na rysunku (Rysunek 1), a współrzędne punktów wyznaczających granice obszaru MFW BŚ III zawiera Tabela 1. MFW BŚ III znajduje się w odległości około 23 km na północ od Łeby.

Z obszaru MFW BŚ III o powierzchni około 117 km² na podstawie zapisów w pozwoleniu na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń w polskich obszarach morskich (PSZW) z dnia 30.03.2012 roku dla powierzchni Morska Farma Wiatrowa Bałtyk Środkowy III do celów zabudowy wyłączony został pas o szerokości 500 m od jego granic do wnętrza obszaru (powierzchnia instalacji). Wyznaczona w ten sposób linia zabudowy jest granicą, od której odmierzano jest na zewnątrz obszar potencjalnego oddziaływania w postaci bufora o szerokości 1 mili morskiej. Powstały obszar wymagany do wykonania badań ma całkowitą powierzchnię około 185 km².



Mapa lokalizacyjna

<p>Legenda</p> <p> MFW Bałtyk Środkowy III</p> <p> bufor 1 mili morskiej od 500 m do wewnątrz MFW</p>	<p>Rysunek 1</p>	<p>Data: 2014-02-12</p> <p style="text-align: right;">N</p>
	<p>Podziałka</p> <p>0 2 4 km</p> <p>0 1 2 NM</p>	

Rysunek 1. Mapa obszaru badań dla MFW BŚ III

Tabela 1. Współrzędne geograficzne proponowanej lokalizacji obszaru przeznaczonego na przygotowanie, realizację i eksploatację MFW BŚ III

Punkt	1992		BL		WGS 84 DD°MM'SS,sss''	
	x	y	x	y	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
A	390030,39	788206,19	17,282619	54,945118	17° 16' 57,430"	54° 56' 42,424"
B	387162,20	799202,58	17,233515	55,043278	17° 14' 00,653"	55° 02' 35,801"
C	387962,15	799687,11	17,245841	55,047813	17° 14' 45,028"	55° 02' 52,125"
D	405814,69	793807,72	17,527181	54,998686	17° 31' 37,853"	54° 59' 55,268"
E	398422,10	789313,15	17,413221	54,956845	17° 24' 47,597"	54° 57' 24,641"
F	396189,68	788894,51	17,378515	54,952623	17° 22' 42,654"	54° 57' 09,443"
G	394816,95	788805,16	17,357116	54,951532	17° 21' 25,617"	54° 57' 05,517"

4. Metodyka

Rozdział opisuje metody oraz zastosowane parametry podczas prowadzonych badań na obszarze MFW BŚ III.

4.1. Metodyka badań

W trakcie prowadzenia badań zgromadzono dane, które następnie posłużyły do utworzenia map: batymetrycznej, obrazu sonarowego dna, map zalegania stropów poszczególnych osadów.

4.1.1. Obszar badań

Powierzchnia instalacji MFW BŚ III z obszarem potencjalnego oddziaływania w postaci bufora wokół wyznaczonej powierzchni instalacji MFW BŚ III o szerokości 1 mili morskiej.

4.1.2. Czas trwania badań

Pomiary batymetryczne: listopad 2012 – czerwiec 2013

Badania geofizyczne: listopad 2012 - czerwiec 2013

Badania sonarowe: listopad 2012 – czerwiec 2013

Pobór prób rdzeniowych: listopad 2013

Dokładne zestawienie wykonanych rejsów przedstawiono w tabelach poniżej.

Tabela 2. Zestawienie pomiarów batymetrycznych, geofizycznych oraz sonarowych

Data	Podjęte działanie lub opis zdarzenia
28/11/2012	Pierwsza część pomiarów geofizycznych w północnej części Pola MFW BŚ III (profile wykonane: bazowa, BS3_1)
1/02/2013 - 7/02/2013	Przygotowanie i kalibracja sprzętu do pomiarów geofizycznych, przeprowadzenie testów
8/02/2013 – 10/02/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_99 – BS3_109)
14/02/2013 – 17/02/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_78 – BS3_98)

Data	Podjęte działanie lub opis zdarzenia
13/03/2013 – 14/03/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_69 – BS3_77)
12/04/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_59 – BS3_68)
16/04/2013 – 18/04/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_41 – BS3_58)
20/04/2013 – 23/04/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_10 – BS3_40)
26/04/2013 – 29/04/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_117 – BS3_131)
1/05/2013 – 6/05/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_132 – BS3_177)
12/05/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_110 – BS3_116)
13/05/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_178 – BS3_188)
18/05/2013 – 20/05/2013	Pomiary na polu MFW BŚ III (profile wykonane: BS3_189 – BS3_224)
23/06/2013	Zakończenie pomiarów wraz z poprawkami

Tabela 3. Zestawienie rejsów poboru płytkich prób rdzeniowych

Data	Podjęte działanie lub opis zdarzenia
3/10/2013	Pobór prób rdzeniowych (próby pobrane: BS3_V53; BS3_V56 – BS3_V61)
14/10/2013 – 15/10/2013	Pobór prób rdzeniowych (próby pobrane: BS3_V01 – BS3_V05; BS3_V09 – BS3_V10; BS3_V16 – BS3_V17; BS3_V25; BS3_V35 – BS3_V35; BS3_V37 – BS3_V38; BS3_V44 – BS3_V46; BS3_V52; BS3_V54 – BS3_V55; BS3_V62 – BS3_V63)
3/11/2013	Pobór prób rdzeniowych (próby pobrane: BS3_V06 – BS3_V08; BS3_V12 – BS3_V14; BS3_V18 – BS3_V19; BS3_V24; BS3_V26 – BS3_V28; BS3_V53; BS3_V56 – BS3_V61; BS3_V64 – BS3_V65)
6/11/2013	Pobór prób rdzeniowych (próby pobrane: BS3_V15; BS3_V20 – BS3_V22; BS3_V29 – BS3_V31; BS3_V36; BS3_V39 – BS3_V41; BS3_V47 – BS3_V48; BS3_V66 – BS3_V67)
8/11/2013	Pobór prób rdzeniowych (próby pobrane: BS3_V23; BS3_V32 – BS3_V33; BS3_V42 – BS3_V43; BS3_V49 – BS3_V51); zakończenie poboru

4.1.3. Aparatura pomiarowa

4.1.3.1. Metody pomiarów batymetrycznych, geofizycznych oraz sonarowych

W ramach prac terenowych wykorzystywana była pływająca jednostka pomiarowa: IMOR (Rysunek 2).



Rysunek 2. Statek badawczy Instytutu Morskiego w Gdańsku R/V „IMOR”

Specyfikacja techniczna statku IMOR:

Znaki rozpoznawcze:	Sygnal wywoławczy:	SNKB
	Radiowy sygnał rozpoznawczy:	MMSI – 2613 79 000
	Międzynarodowy numer IMO:	IMO 9212565
Parametry techniczne:	Długość:	32,50 m
	Szerokość:	10,50 m
	Zanurzenie:	2,41 m
	Wyporność:	327 t

Maksymalna prędkość statku: 9 węzłów.

Limity pogodowe i zasięgu pływalności określone przez klasę statku to 200 Mm od miejsca schronienia oraz obszar A1 + A2 GMDSS dla wiatru do 8^o B i stanu morza 5^o B.

System pomiaru przechyłów, kursu i przyspieszeń stosowany na statku IMOR

POS MV™ WaveMaster zapewnia wyznaczanie pozycji nawet w bardzo niesprzyjających warunkach pogodowych. Dzięki wysokiej częstotliwości pomiaru system pozwala na pełny pomiar pozycji i orientacji jednostki pomiarowej w zakresie następujących parametrów:

- pozycja (długość i szerokość geograficzna oraz wysokość),
- prędkość (pozioma i pionowa),
- przechyły (wzdłużny i poprzeczny) oraz kurs rzeczywisty,
- unoszenie na fali,
- wektory przyspieszeń,
- wektory momentów obrotowych.

System POS MV™ WaveMaster dostarcza skonsolidowanego rozwiązania dla statków pomiarowych, szczególnie w miejscach, gdzie sygnał GPS jest słabej jakości. Sygnał GPS z jednego lub więcej odbiornika GPS jest wykorzystywany do obliczeń pozycji i ruchu jednostki pływającej (Rysunek 3).

System ten dostarcza dokładnych informacji o położeniu statku z uwzględnieniem wszystkich przechyłów spowodowanych niekorzystnymi warunkami pogodowymi.



Rysunek 3. System pozycjonowania inercyjnego z czujnikiem ruchu statku Applanix POS-MV

System do ustalania położenia nad wodą stosowany na statku IMOR

Do pozycjonowania czujników pomiarowych w strefie dostępności poprawki RTCM RTK stosowany jest system pozycjonowania satelitarnego RTK GPS – Trimble SPS 851 (Rysunek 4), korzystający z korekty pozycji przesyłanej z systemów EUPOS/SAPOS za pomocą połączenia internetowego. System pozycyjny jest powiązany z czujnikami pomiarowymi poprzez oprogramowanie zintegrowanego systemu nawigacyjnego QINSy. System wykorzystywany jest również w procesie kalibracji systemów pomiarowych.

System dostarcza informacji o współrzędnych geograficznych, które niezbędne są do określenia lokalizacji wykonywanych pomiarów.



Rysunek 4. Odbiornik i antena systemu satelitarnego Trimble SPS 851

MBES (echosonda wielowiązkowa) SeaBat 8125

Echosonda wielowiązkowa SeaBat 8125 firmy Reson (Rysunek 5) jest systemem pomiarowym wykorzystywanym dla tworzenia batymetrycznego obrazu dna w rejonie sondowanego obszaru. Systemem gromadzącym i zapisującym dane z echosondy w czasie rzeczywistym było oprogramowanie QINSy v.8.0. Dane o pomiarach rozkładu prędkości dźwięku w wodzie dla punktów ulokowanych w obrębie pola pomiarowego, a wykonanych z użyciem sondy SVP 15 wprowadzono do systemu QINSy w trakcie pomiarów, a także gromadzono dla późniejszego przetwarzania.

Echosonda SeaBat 8125 w niniejszym projekcie pracowała z niżej wymienionymi parametrami:

- zasięg głębokości pomiarowych: od ok. 19 do ok. 45 metrów,
- rozdzielczość głębokości: 6 mm,
- częstotliwość sygnału akustycznego: 455 kHz,
- ilość wiązek: 256.

Zastosowane parametry są zgodne ze standardami Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej (IHO).



Rysunek 5. System pomiarowy sondy wielowiązkowej SeaBat 8125

Dane zostały zgromadzone i zapisane w formie cyfrowej jako pliki bazowe *.db, które po dalszym przetworzeniu posłużyły do utworzenia mapy batymetrycznej (głębokości).

Profilomierz prędkości dźwięku w wodzie Reson SVP 15

Sonda SVP 15 (Rysunek 6) pozwala na pomiar prędkości dźwięku w obszarach o głębokości do 200 m. Dzięki wewnętrznym bateriom urządzenie to pracuje autonomicznie i uruchamia się bezpośrednio po zanurzeniu do wody. Pomiary dokonywane są w zadanym kroku głębokościowym i wyzwalane są w miarę opuszczania sondy na dno akwenu.

- Prędkość dźwięku: 1450-1500 m/s,
- Rozdzielczość: 0,1 m/s,
- Dokładność pomiaru prędkości: $\pm 0,25$ m/s,
- Zasięg głębokości: 43 m w 0,5 m krokach głębokościowych,
- Dokładność głębokości: $\pm 0,10$ m + 0,2 % mierzonej głębokości.

Sonda dostarcza niezbędnych informacji na temat rozkładu prędkości dźwięku w zależności od parametrów fizycznych wody, które przekazywane są do sondy wielowiązkowej. W ten sposób określana jest dokładna głębokość akwenu.



Rysunek 6. Profilomierz prędkości dźwięku w wodzie Reson SVP 15

Mareograf Valeport miniTIDE Self Recording Tide Gauge

Mały rejestrator pływów (Rysunek 7), przeznaczony do działań podwodnych. Wyposażony w 0,01% piezo-rezystancyjną komórkę kompensującą temperaturę. MiniTide rejestrował dane o wysokiej dokładności dla ciśnienia przez 10 miesięcy w 10-cio minutowych interwałach czasowych, przy użyciu pojedynczej baterii alkalicznej.



Rysunek 7. Mareograf Valeport miniTIDE Self Recording Tide Gauge

Oprogramowanie hydrograficzne QINSy 8.0

QINSy v 8.0 jest zintegrowanym systemem hydrograficznym gromadzącym i zapisującym dane z echosondy wielowiązkowej w czasie rzeczywistym. Prócz danych o głębokości system QINSy 8.0 gromadził informacje z systemu nawigacji inercyjnej, informacje o kierunku oraz pozycji z odbiorników nawigacji satelitarnej RTK DGPS. Wszystkie te informacje gromadzone w czasie rzeczywistym zapisane zostały w systemie na nośnikach pamięci masowej.

System QINSy pozwala na cyfrowy pomiar i rejestrację wszystkich parametrów systemu, a także wizualizację pozycji umożliwiającą żeglugę po zadanym profilu pomiarowym. Dane o pomiarach rozkładu prędkości dźwięku w wodzie dla punktów ulokowanych w obrębie pola pomiarowego, a wykonanych z użyciem sondy SVP 15 wprowadzono do systemu QINSy w trakcie pomiarów, a także gromadzono dla potrzeb późniejszego przetwarzania.

Sonar boczny EdgeTech 4200

Pływak sonaru bocznego holowano w sposób umożliwiający jego dobrą stabilizację w toni wodnej. Pozycję pływaka sonaru określano w czasie rzeczywistym za pomocą akustycznego systemu pozycjonowania Ranger 2 firmy Sonardyne. Dane cyfrowe z sonaru bocznego zapisywano w systemie gromadzenia i przetwarzania danych sonarowych Coda GeoSurvey DA 1000.

W trakcie pomiarów sonar pracował na obu częstotliwościach, tj. 100 i 410 kHz. Sygnał jest zapisywany w obu częstotliwościach w celu uzyskania lepszej możliwości interpretacji zarejestrowanych obrazów dna (Rysunek 8).

Parametry sonaru EdgeTech 4200:

częstotliwości sygnałów akustycznych:	standardowa rozdzielczość – 120 kHz, wysoka rozdzielczość – 410 kHz +/- 25 kHz,
długość impulsu:	120 kHz – do 20,0 ms, 410 kHz – do 10 ms,
pionowa szerokość wiązki:	50°,
pozioma szerokość wiązki:	120 kHz – 0,64 °, 410 kHz – 0,3°,
zasięg wzmocnienia TVG:	dla częstotliwości 120 kHz – 60 dB do 300 ms, dla częstotliwości 410 kHz – 43 dB do 120 ms.



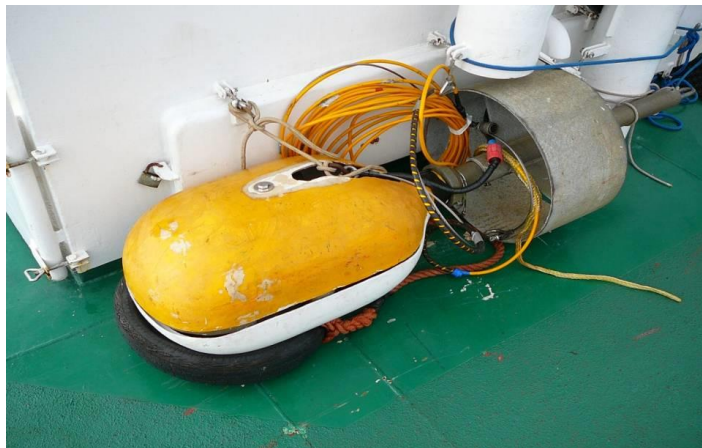
Rysunek 8. Holowany sonar boczny EdgeTech 4200 oraz system akwizycji danych Coda GeoSurvey DA 1000

Zgromadzone dane zostały zapisane w formie cyfrowej w plikach *.cod, które w dalszym etapie przetwarzania posłużyły do utworzenia sonarowego obrazu dna.

Profilomierz osadów typu pinger produkcji firmy Seabed ORETECH 3010P

W skład systemu profilomierza osadów ORETECH 3010P wchodzi między innymi macierz czterech przetworników hydroakustycznych (Rysunek 9) holowanych przy burcie statku

pomiarowego. Na macierzy zainstalowano czujnik przyspieszeń umożliwiający kompensację falowania bezpośrednio przy zapisie danych pomiarowych przez system akwizycji danych. Urządzenie pracowało na częstotliwościach od 3,5 kHz do 6 kHz. Do rejestracji danych wykorzystywano system Coda GeoSurvey DA 2000.



Rysunek 9. Profilomierz osadów ORETECH 3010P – macierz 4 przetworników z kompensatorem falowania w obudowie hydrodynamicznej

Uzyskane dane sejsmoakustyczne zostały zgromadzone i zapisane w formie cyfrowej jako pliki *.cod. W dalszym etapie przetwarzania stanowiły one podstawę do wydzielenia warstw osadów przypowierzchniowych.

Profilomierz osadów typu boomer firmy SIG Energy

Profilomierz osadów typu boomer (Rysunek 10) holowano za statkiem na kablolinie. W trakcie pomiarów profilomierz pracował na częstotliwości od 300 Hz do 2500 Hz (częstotliwość impulsów 2 Hz). Pomiary na tej częstotliwości pozwalają na rozpoznanie warstw z rozdzielczością około 60 cm.

W trakcie pomiarów ruch pionowy płyty wzbudzającej nie był kompensowany. Dane zapisywane były w formacie cyfrowym przy użyciu systemu Coda GeoSurvey DA 2000.



Rysunek 10. Boomer SIG Energy 3000

Dane sejsmoakustyczne uzyskane przy pomocy profilomierza typu boomer zostały zgromadzone i zapisane w formie cyfrowej jako pliki *.cod. W dalszym etapie przetwarzania stanowiły podstawę do wydzielenia granic głębokich struktur geologicznych.

4.1.3.2. Metody poboru płytkich prób rdzeniowych

W ramach prac polowych wykorzystana była pływająca jednostka pomiarowa: IMOR (Rysunek 2) opisana w rozdziale 4.1.3.1

System do ustalania położenia nad wodą stosowany na statku IMOR

Używany system pozycjonowania satelitarne RTK GPS – Trimble SPS 851 został opisany w rozdziale 4.1.3.1 i pokazany na **Rysunek 4**.

Oprogramowanie hydrograficzne QINSy 8.0

System QINSy został opisany w rozdziale 4.1.3.1

Wibrosonda VKG – 3.

Do poboru prób rdzeniowych wykorzystano wibrosondę VKG – 3 (Rysunek 11). Wibrosondę zamontowano na prowadnicy opierającej się na ramie, którą stawia się na dnie.

Wibrator o masie 250 kg wibrując z częstotliwością około 60 (Hz) wprowadza w grunt grubościenną rurę wykonaną ze stali nierdzewnej, we wnętrzu której znajduje się plastikowy rękaw. Rura zakończona jest specjalnym jednokierunkowym zaworem tzw. pomarańczką zapewniającą zatrzymanie próby gruntu wewnątrz próbnika podczas jego wycofywania z gruntu.

Wibrosonda opuszczana jest ze statku za pomocą bramownicy umieszczonej na rufie statku. Zasilanie elektryczne wibratora i elektronicznych układów automatyki oraz sterowanie czynnościami urządzenia odbywa się za pomocą kabla łączącego urządzenie z systemami zasilania i sterowania umieszczonymi na pokładzie statku.

Wibrosonda w używanej konfiguracji zdolna jest do pobierania rdzeni o średnicy 102 mm i długości do 3 m.

Użyta długość rury próbnika wibracyjnego równa 3 metry nie jest jednoznaczna z możliwością każdorazowego poboru rdzeni o tej długości (długość rdzenia zależy od rodzaju osadów).



Rysunek 11. Wibrosonda VKG – 3

4.1.4. Założenia prac pomiarowych

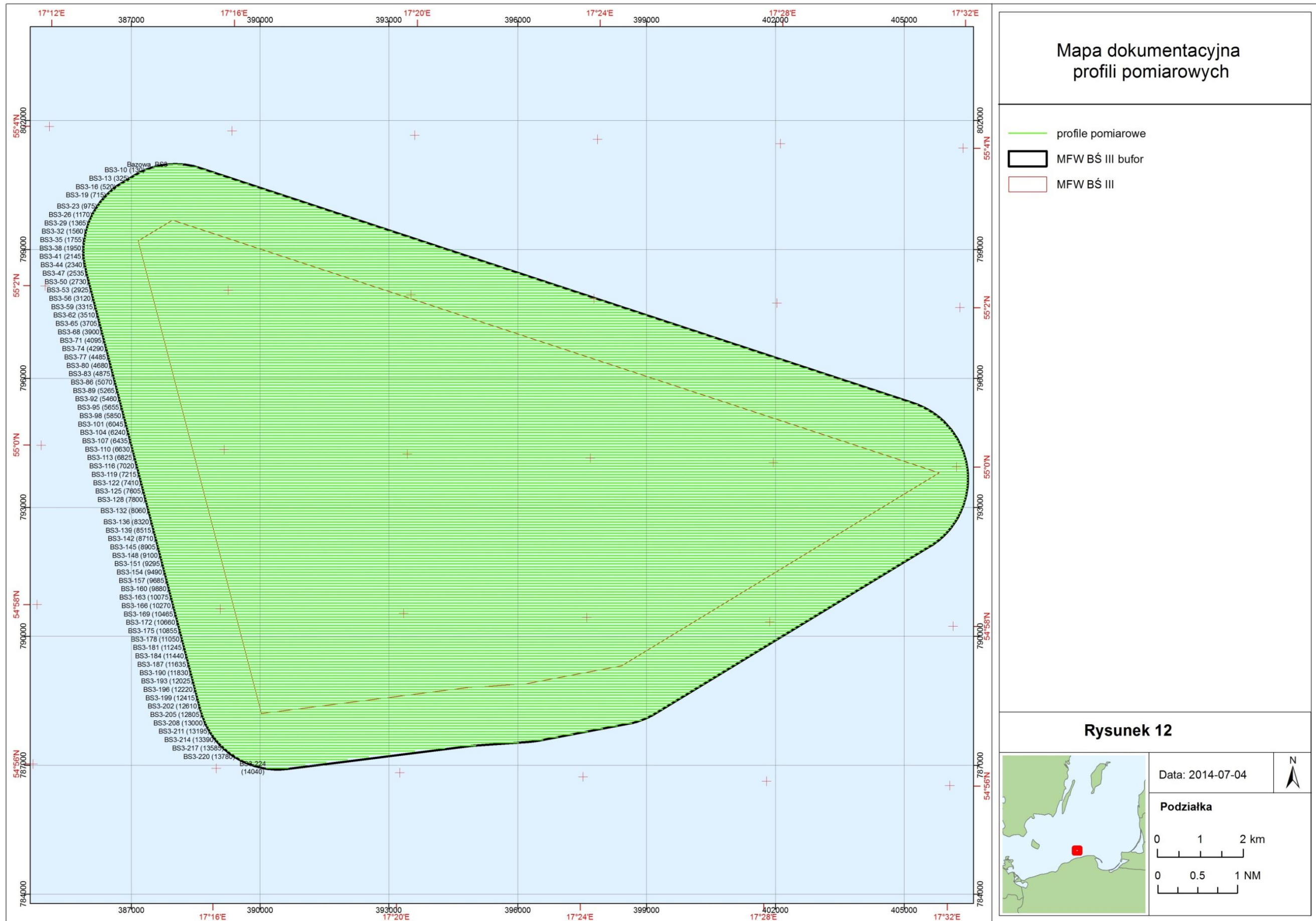
4.1.4.1. Pomiary batymetryczne, geofizyczne oraz sonarowe

Pomiary prowadzone były równocześnie i wykonane zostały na wyznaczonych wcześniej profilach. Na obszarze MFW BŚ III pomierzono 217 profili biegnących równolegle względem siebie w odstępach co 65 m. Łączna długość profili pomiarowych wyniosła ok. 2850 km.

Zastosowanie takiego zagęszczenia profili umożliwiło dokładne pokrycie dna sondą wielowiązkową przy pomiarach batymetrycznych oraz obrazem sonarowym.

Obszar badań wraz z wyznaczoną strefą buforową oraz naniesionymi profilami pomiarowymi przedstawiono na rysunku poniżej (Rysunek 12).

Współrzędne punktów początkowych i końcowych wytyczonych profili przedstawiono w Załączniku 1 do Raportu Końcowego.



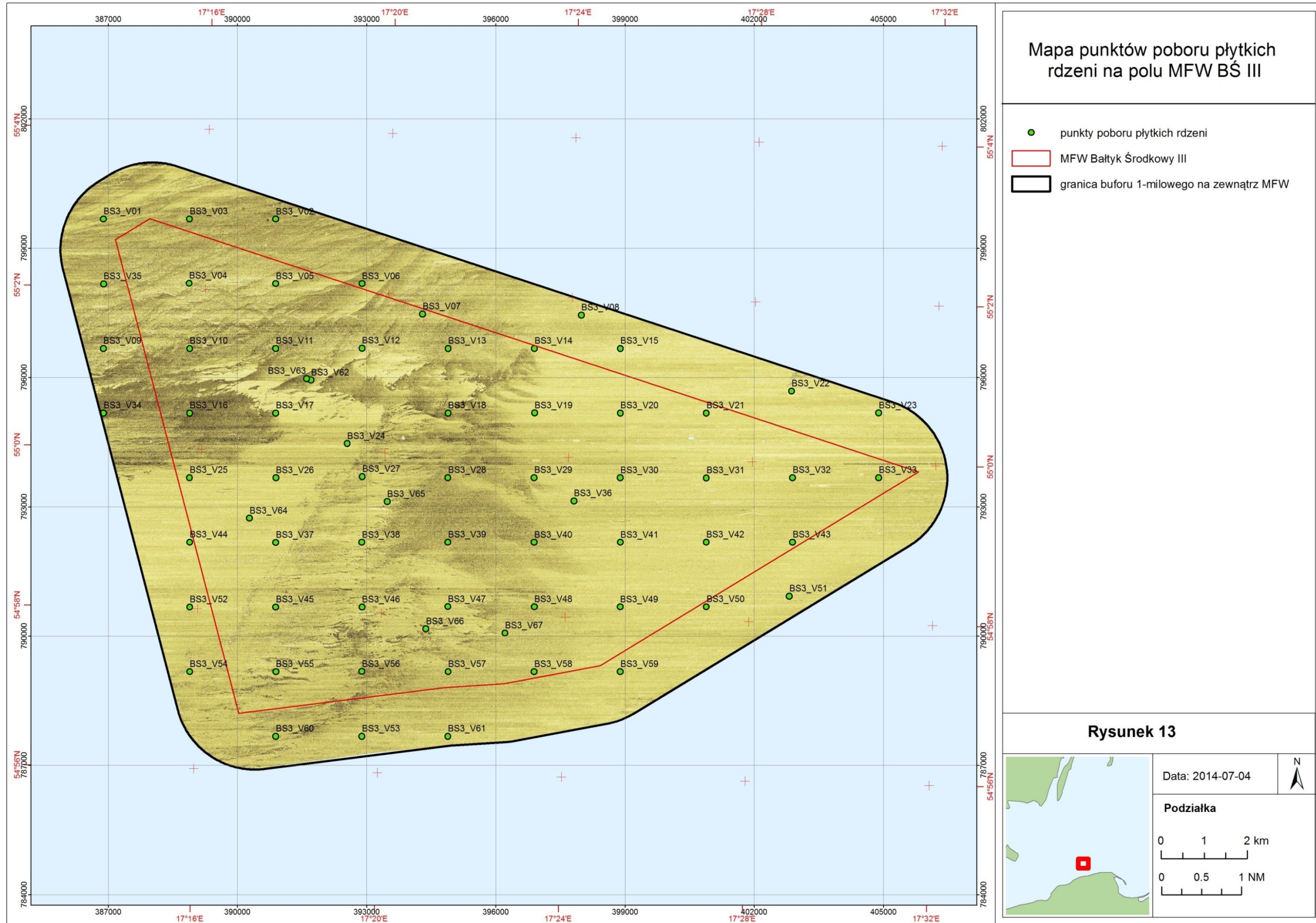
Rysunek 12. Obszar badań wraz z wyznaczonymi profilami pomiarowymi

4.1.4.2. Pobór płytkich prób rdzeniowych

Lokalizacje prób rdzeniowych wytypowano na podstawie wstępnej analizy budowy geologicznej wykonanej na podstawie uzyskanych danych sejsmoakustycznych. Zagęszczenie prób rdzeniowych wynosi do 1 próby na 3 km². Na obszarze pola MFW BŚ III wyznaczono 67 lokalizacji poboru płytkich rdzeni o długości do 3 m.

Pobrane rdzenie zostały podzielone na odcinki o długości nie większej niż 1 metr, a następnie przetransportowane do laboratorium w Instytucie Morskim w Gdańsku. Pozycja poboru rdzenia ustalona została po postawieniu wibros sondy na dnie z uwzględnieniem przesunięcia sondy względem anteny systemu pozycyjnego.

Lokalizacje pobranych rdzeni przedstawiono na rysunku (Rysunek 13), a współrzędne zestawiono w Załączniku nr 2 do Raportu Końcowego.



Rysunek 13. Punkty poboru płytkich rdzeni na polu MFW BŚ III

4.2. Metodyka opracowywania danych

4.2.1. Opracowanie danych batymetrycznych

Przetwarzanie danych batymetrycznych przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie sprawdzono i poddano korekcie pozycjonowanie włącznie z poziomem odniesienia. Dane batymetryczne pomierzone zostały w systemie RTK, więc automatycznie posiadają jeden poziom odniesienia (związane jest to z przeliczeniem poprawek z kilku stacji referencyjnych względem punktu o znanych współrzędnych). Problemem były przerwy w dostarczaniu poprawek ze stacji referencyjnych (wirtualne stacje referencyjne oparte o system ASG EUPOS), co powodowało przerwy i odskoki pozycji podczas pomiarów. Do korekcji tych błędów i odskoków pozycji służy oprogramowanie POSPac. W programie tym wykonano wyrównanie pozycji wszystkich profili pomiarowych w oparciu o stacje brzegowe referencyjne usytuowane w kilku krajach nadbałtyckich. Dla sprawdzenia poprawności wykonanej korekcji wysokości, porównano wyniki z danymi z mareografu posadowionego w rejonie badań. Tak wyrównane pozycje i wysokości przekonwertowano do plików bazowych *.db.

Następnie w oprogramowaniu QINSy 8.1, sprawdzono i skorygowano dane kalibracyjne. Polegało to na sprawdzeniu, czy we wszystkich profilach pomiarowych (plikach bazowych *.db) zostały uwzględnione parametry kątowe, które były wynikiem kalibracji systemu sondy wielowiązkowej. Jeżeli, w którymś z przypadków brakowało takich danych wprowadzono takie parametry do poszczególnych profili pomiarowych.

Kolejnym parametrem, który w tym etapie przetwarzania danych był do sprawdzenia, jest prędkość dźwięku w wodzie. Analizowano każdy profil pod kątem poprawnego wprowadzenia do systemu profilu rozchodzenia się dźwięku w wodzie. Analogicznie do parametrów kątowych, jeżeli w pliku pomiarowym (plik bazowy *.db) nie stwierdzono informacji o prędkości dźwięku w wodzie, osoba przetwarzająca wprowadzała profil dźwięku pomierzony podczas wykonywanych badań. Tak sprawdzone i skorygowane dane przekonwertowane zostały do plików *.qpd, które przechodzą do kolejnego etapu przetwarzania danych.

W drugim etapie dane batymetryczne przetwarzane są w oprogramowaniu Qloud 2.2 i głównie dane podlegają oczyszczaniu z błędnych danych pomiarowych.

W trakcie badań zastosowano filtr jakościowy, który w systemie QINSy umożliwia odrzucenie błędnych danych podczas pomiarów.

Program Qloud rozpoznaje i korzysta z ustawień filtrów jakościowych w sondzie wielowiązkowej, dzięki czemu usunięto większość błędnych danych pomiarowych.

Po automatycznym oczyszczeniu z błędów jakościowych w programie Qloud analizowano poszczególne obszary badanego pola i manualnie oczyszczano pozostałe błędy nie usunięte przez automat.

Ostatnim etapem przetwarzania danych batymetrycznych jest eksport danych wyczyszczonych do odpowiedniego formatu rastra lub danych w formacie ASCII (x, y, z).

4.2.2. Opracowanie danych geofizycznych

Opracowanie danych sejsmoakustycznych (pozyskanych z obydwóch profilomierzy: pinger i boomer) wykonano w oprogramowaniu firmy CODA – CODA SURVEY ENGINE SEISMIC+.

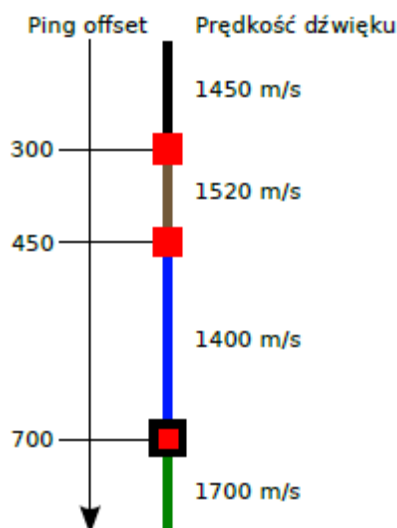
W procesie przetwarzania danych zastosowano filtry: niwelujące oddziaływanie falowania (Swell), filtry częstotliwości (zdefiniowane osobno dla boomer'a i SBP(pinger)), zmiennego w czasie wzmocnienia/redukcji sygnału (TVG) oraz redukcji szumów w toni wodnej (Zap).

W wyniku przeprowadzonej interpretacji wyznaczono rodzaj oraz miąższość osadów sedymentacyjnych (w tym warstwy dynamicznej), określono również wglębną budowę geologiczną do głębokości około 45 m. Na podstawie szczegółowej analizy rejestracji sejsmicznej wysokiej rozdzielczości systemem boomer wydzielono główne jednostki sejsmiczne (zespół podobnych układów refleksów na zapisie sejsmoakustycznym, typowy dla danego osadu). Podstawę wydzielenia stanowiło zróżnicowanie intensywności i układów refleksów oraz charakter granic jednostek. Interpretacji dokonano w odniesieniu do rozpoznanej uprzednio w tym rejonie budowy geologicznej (głównie za Uścińowicz i Zachowicz 1988, Mojski 1995).

Aby wyeliminować błędy przeliczeniowe, na potrzeby projektu stworzono program przeliczający głębokość zalegania osadów ze skali czasowej (ms) na skalę metryczną oraz do przeliczania Kp (kilometer point) profili sejsmoakustycznych. Zasady przeliczeń zastosowanych w programie opisano poniżej.

Opis pojęć:

- Ping - próbka zawierająca informacje o warstwach dna morskiego dla danego punktu. Ping jest reprezentowany jako pionowa linia pikseli o różnej gęstości,
- Węzeł - ping z offsetem określający zinterpretowaną warstwę osadu (przedstawione jako kwadraty - Rysunek 14),
- Zinterpretowany węzeł – węzeł będący elementem interpretacji.



Rysunek 14. Schemat pingu z węzłami

Do obliczenia głębokości potrzebne są informacje na temat prędkości rozchodzenia się dźwięku w danej warstwie oraz odległość pomiędzy poszczególnymi warstwami osadów. Na rysunku

powyżej (Rysunek 14) przedstawiono schemat pinga z zinterpretowanym węzłem. Każdy węzeł posiada offset który informuje o głębokości. Zależności te opisane są wzorami:

$$depth = 300 * interv * 1450 + 150 * interv * 1520 + 250 * interv * 1400$$

gdzie:

interv - czas w sekundach określający częstotliwość z jaką badana była próbka

Podstawą do przeliczeń skali czasowej na metryczną w analizie profilowań sejsmoakustycznych, były prędkości rozchodzenia się fali akustycznej w różnych rodzajach osadów. Prędkości propagacji fali dla poszczególnych ośrodków podano poniżej (za: Przeździecki, 2001r):

- woda morska – 1450 m/s
- uwodnione muły morskie – 1500 m/s
- piaski – 1600 m/s
- gliny zwałowe – 1800 m/s

Kp jest wartością przypisaną do węzła i oznaczającą odległość od początku przebiegu profilu pomiarowego. Wartość ta obliczana jest automatycznie przez aparaturę pomiarową i zapisywana w plikach CODA. Program umożliwia ponowne obliczenie Kp dla każdego węzła od zadanej wartości początkowej. W takim przypadku Kp jest obliczane jako suma odległości pomiędzy kolejnymi zinterpretowanymi węzłami.

Automatyczne obliczanie Kp umożliwia poprawienie nieprawidłowych wartości zapisanych w plikach CODA.

Wynikiem przeprowadzonej analizy profilowań sejsmoakustycznych są pliki *.dat (x, y, z), które posłużyły do stworzenia map zalegania stropów poszczególnych osadów oraz przekrojów geologicznych.

4.2.3. Opracowanie danych sonarowych

Mozaika wykonana została w oprogramowaniu firmy CODA – CODA SURVEY ENGINE MOSAIC. Poszczególne profile zapisane za pomocą sonaru bocznego EdgeTech 4200 zostały wprowadzone do aplikacji zgodnie z ich współrzędnymi, czego wynikiem jest obraz sonarowy analizowanego obszaru, składający się z nakładających się na siebie profili. Dla wyraźnego przedstawienia budowy dna skorzystano z danych zawartych w trzecim i czwartym kanale zapisu danych sonarowych. Podczas tworzenia mozaiki zastosowano filtry wyostrzające krawędzie form na dnie obszaru (sidescan edge detection), a następnie wygładzające obraz (nav smoothing). Dla obszarów znajdujących się bezpośrednio pod sonarem, w tak zwanej martwej strefie, została wykonana aproksymacja danych z obu kanałów (slant range correction). Dla uzyskania jednolitości obrazu sonarowego niezbędna była również regulacja siły wzmocnienia sygnału nadawanego przez sonar (time varying gain).

Obraz sonarowy stanowi podstawę do wyróżnienia rodzajów i form rzeźby dna dla Morskiej Farmy Wiatrowej Bałtyk Środkowy III. Ponadto posłużył do wyznaczenia kamienisk i obiektów antropogenicznych znajdujących się na powierzchni dna badanego obszaru, które mogłyby stanowić utrudnienia bądź zagrożenia dla planowanej inwestycji.

4.2.4. Opracowanie płytkich rdzeni

Po wyjęciu rdzenia z ochronnego pudełka rozcinano plastikowy rękaw, a następnie ścinano wierzchnią część rdzenia. Powierzchnię rdzenia po ścięciu oczyszczano i przygotowywano do wykonania zdjęcia dokumentacyjnego. Po wykonaniu fotografii rdzeń opisywano makroskopowo. Opis polegał na rozpoznaniu frakcji (z uwzględnieniem dodatkowych składników np. fragmentów muszli, fragmentów drewna itp.), sposobu ułożenia składników, określeniu stopnia wysortowania materiału, wilgotności, barwy, zawartości węglanów, opisana została również zwięzłość lub plastyczność osadu w zależności od jego rodzaju. Jest to opisowa forma przedstawienia charakteru osadu, zgodna z przyjętymi w geologii i geomorfologii zasadami opisu makroskopowego osadu (Gradziński i in. 1986; Mycielska-Dowgiałło 1995, 1998).

Analiza rdzeni posłużyła do korelacji interpretacji sejsmoakustycznych.

5. Wyniki

5.1. Batymetria

5.1.1. Opis wyników uzyskanych danych batymetrycznych

Mapa batymetryczna obszaru MFW BŚ III (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**Rysunek 15) obrazuje zróżnicowany charakter rzeźby dna. Deniwelacje na badanym obszarze wynoszą około 19,5 m. Najpłycej usytuowana jest część południowa i południowo-zachodnia, która rozcięta jest obniżeniem o charakterze szerokiej doliny o przebiegu SW-NE.

Głębokość dna wzrasta w kierunku północno-zachodnim oraz wschodnim. Centralna i wschodnia części pola, stanowi rozległą równinę. Nachylenie dna jest stosunkowo łagodne.

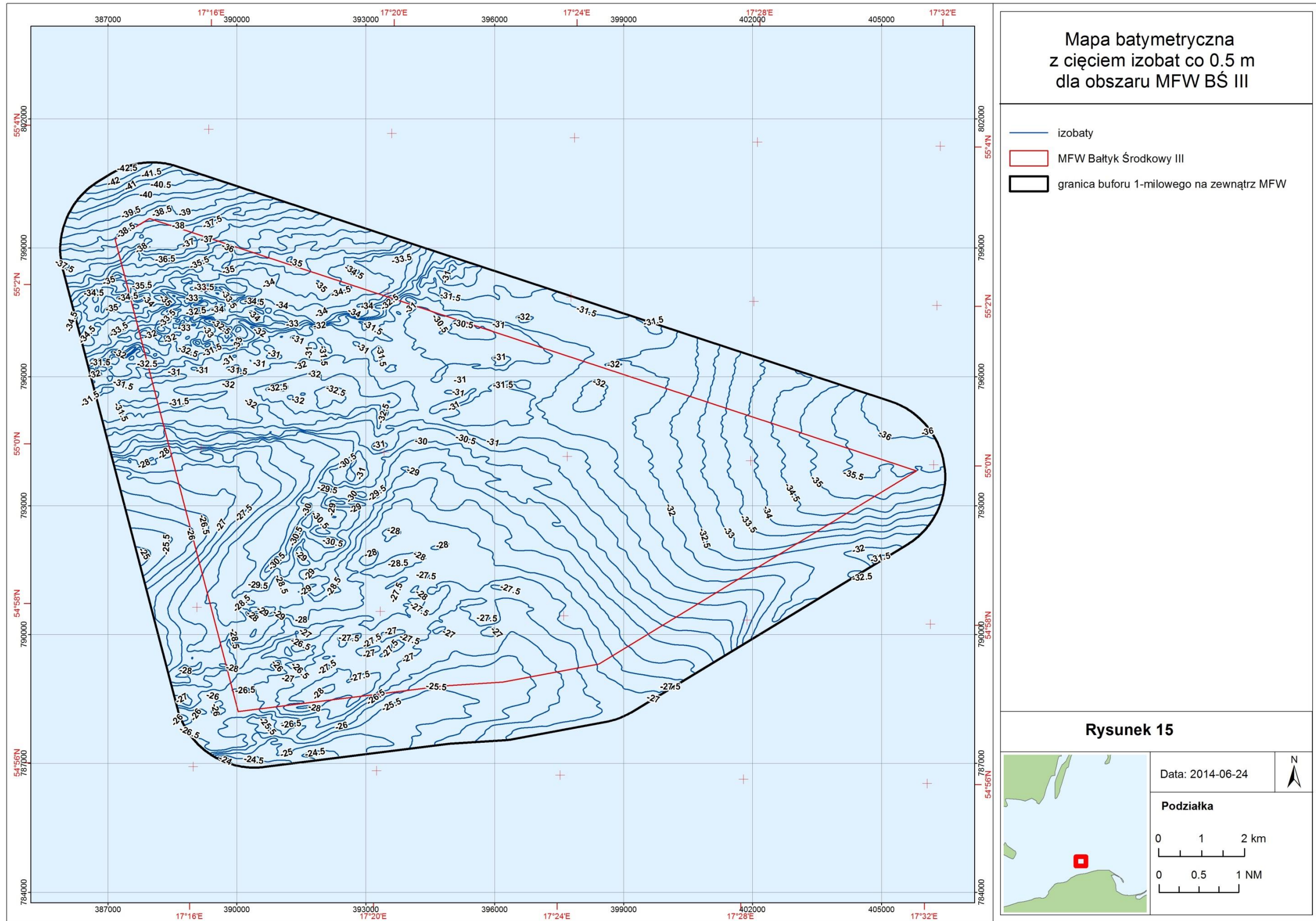
Rzeźba dna w północno-zachodniej części pola jest silnie zróżnicowana ze względu na występujące formy grzbietów i zagłębień powstałych na pokrywających dno glinach. Deniwelacje w obrębie tych form dochodzą do 3 m, szerokości nierzadko do 50 m, a długości do kilkuset metrów.

Dla dokładnego zobrazowania rozkładu batymetrii na polu MFW BŚ III (obszar w granicach wynikających z pozwolenia PSZW), zakres głębokości podzielono na 5 klas, które obejmują określony procent powierzchni dna:

- >40 m – 0 %
- 40 – 35 m – 4,53 %
- 35 – 30 m – 51,77 %
- 30 – 25 m – 43,70 %
- <25 m – 0%.

5.1.2. Cyfrowy model dna oraz mapa batymetryczna

Ostateczny wynik pomiarów batymetrycznych został opracowany na podstawie uzyskanego obrazu dna pola MFW BŚ III z rejestracji sondą wielowiązkową. Opracowano mapę batymetryczną (z cięciem izobat co 0,5 m) w skali 1 : 75 000 (Rysunek 15**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**) dostosowanej do formatu A3 oraz w postaci wielkoformatowej mapy batymetrycznej A0 w skali 1 : 20 000 (Załącznik 3).



Rysunek 15. Mapa batymetryczna dla obszaru MFW BŚ III

5.1.3. Nachylenie dna

Pole MFW BŚ III wraz z buforem obejmuje obszar dna o głębokościach od około 23 m do około 43 m (Rysunek 15). Część północno-zachodnia pola MFW BŚ III (obszar P1) (Rysunek 16) to obszar o bardzo urozmaiconej, pagórkowatej rzeźbie z deniwelacjami do 5 m. Położony jest na głębokości od ok. 30 m do ok. 40 m (obszar P1). Teren jest ogólnie lekko nachylony ku północy do około $1,5^\circ$ w stronę Rynny Słupskiej (Rysunek 16). Obszar P2 (Rysunek 17) stanowi najpłytszą partię dna łagodnie nachyloną w kierunku wschodnim i północno-wschodnim (nachylenie nie przekracza $0,25^\circ$), ograniczony od północy stokiem o nachyleniu $0,5-1,3^\circ$ (Rysunek 16) od obszaru P3. Stanowi wyższy poziom zespołu terasów kemowych. W centralnej części obszaru P2 (Rysunek 17) znajduje się dolina o przebiegu SW-NE, łagodnie nachylona w kierunku północno-wschodnim (Rysunek 16), o urozmaiconej rzeźbie dna, oznaczona jako obszar P4 (Rysunek 17). Obszar P3 to niższy poziom zespołu terasów kemowych. W jego obrębie dno jest delikatnie pofalowane bez stwierdzonych większych deniwelacji. Najbardziej na wschód wysunięty jest obszar P5 (Rysunek 17), o niewielkim stopniu nachylenia dna (poniżej $0,25^\circ$) w kierunku wschodnim z deniwelacjami mniejszymi niż 0,5 m (Rysunek 16).

5.1.4. Charakter powierzchni dna

Na podstawie analizy obrazu uzyskanego z rejestracji sondą wielowiązkową, sonarem bocznym, profilowaniem sejsmoakustycznym oraz opracowanych prób rdzeniowych wyróżniono pięć obszarów o zróżnicowanej rzeźbie dna i odmiennej genezie, które zostały oznaczone jako obszary: P1, P2, P3, P4, P5 (Rysunek 17). Rzeźba i budowa geologiczna pola MFW BŚ III związana jest z obecnością lądolodu skandynawskiego, późniejszą deglacjacją obszaru i działalnością współczesnych procesów na dnie morza.

P1 – Obszar (stanowiący 8,98 % powierzchni MFW BŚ III) ze zmienną pokrywą piaszczysto-żwirową na powierzchni wychodni starych glin zwałowych. Położony jest w północno-zachodniej części obszaru badań na głębokości od ok. 30 m do ok. 40 m pod poziomem morza. Teren łagodnie obniża się w kierunku północno-zachodnim w stronę Rynny Słupskiej (Rysunek 16). Zbudowany jest głównie z glin. Po powierzchni glin przemieszczają się formy fal piaszczystych o wysokości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów i rozstępie do kilkudziesięciu metrów, asymetryczne, w ruchu w kierunku S i SE, zbudowane głównie z piasków miejscami piasków i żwirów. Północna część jednostki o powierzchni w miarę wyrównanej jest łagodnie nachylona w kierunku N i NW. Południowa i południowo-zachodnia część jednostki posiada silnie uwypukloną rzeźbę powstałą w wyniku działania procesów erozyjnych związanych z rozmywaniem tej partii dna. Deniwelacje dochodzą do 3 m i związane są z grzędami, grzbietami i izolowanymi wierzchołkami reliktywnej rzeźby morenowej. Są to wypreparowane partie glin zwałowych co najmniej dwóch zlodowaceń. Gliny te są silnie zwarte i mocno złuskowane glacitektonicznie (deformacja podłoża, w postaci przemieszczonych względem siebie pakietów, bloków osadu w postaci nachodzących na siebie łusek, powstała w wyniku nacisku lądolodu). Zagłębienia między grzbietami i garbami są nieregularne o charakterze zarówno izolowanych zagłębień jak i wydłużonych bruzd. Analizy uziarnienia prób czerpakowych wykazują duże zróżnicowanie związane z charakterem budowy tego pola (gliny w grzędach, piaski i/lub żwiry w zagłębieniach).

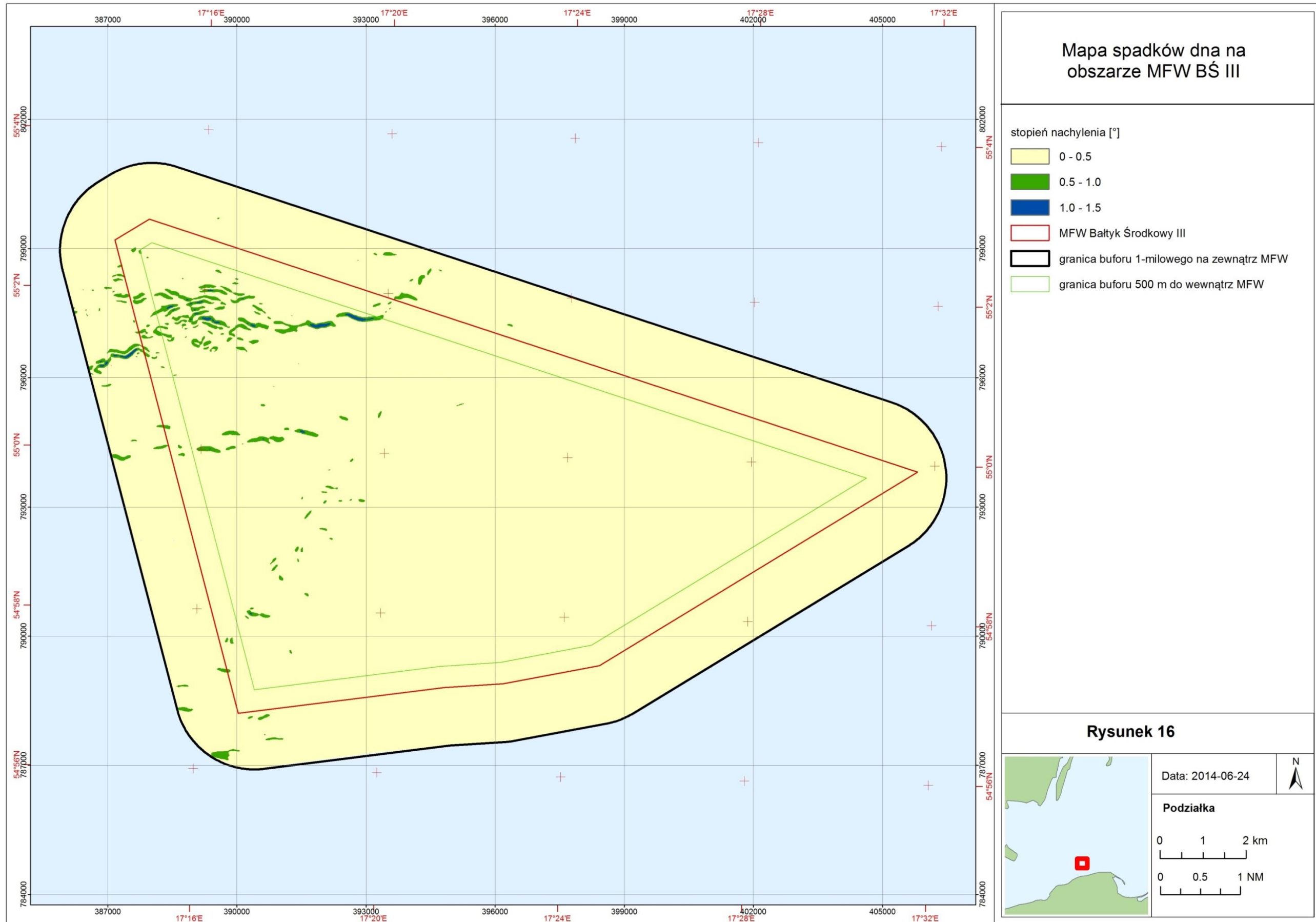
P2 i P3 – Zespoły terasów kemowych, (zespół wyższy oznaczony jako obszar P2 i niższy jako P3) to jest form powstałych przy wyniesieniu morenowym w pobliżu czoła lądolodu, utworzonych wskutek działania spływów powierzchniowych, wypływów wód wytopieniowych i płynących w dolinie marginalnej. Powierzchnia tego obszaru, zbudowana głównie z piasków drobno i średnioziarnistych, ulegała i nadal ulega zmianom pod wpływem działania falowania i prądów morskich. W rejonie P2 (stanowiącego 40,45 % powierzchni MFW BŚ III) rzeźba jest urozmaicona z partiami w formie rozległych wyniosłości w południowej części obszaru. Występują tu najpłytsze partie o głębokości około 25 m. Powierzchnia wyniosłości nachylona jest ku północnemu wschodowi i wschodowi (pod kątem nie większym niż 1°). Miejscami na powierzchni wyniosłości, a zwłaszcza wzdłuż doliny (P4), występują nagromadzenia kamieni i żwirów. Od obszaru P3 oddzielona jest stokiem o nachyleniu $0,5-1,3^{\circ}$ (Rysunek 16). Obszar P3 to niższy, zajmujący 19,28 % powierzchni MFW BŚ III, młodszy poziom zespołu terasów kemowych. W jego obrębie dno jest delikatnie pofalowane, piaszczyste bez stwierdzonych większych deniwelacji. W zachodniej części tego obszaru w wyniku erozji dna odsłaniają się miejscami gliny zwałowe podłoża plejstoceniowego.

P4 – Przez centralną część wyższego poziomu zespołu terasów kemowych (P2), w kierunku SW-NE, biegnie dolina spływów wód wytopieniowych z licznymi formami w postaci progów (o strukturalnych założeniach związanych z łuskami glin morenowych w podłożu). Długość doliny w granicach pola MFW BŚ III wynosi około 8 km, szerokość do 2 km, głębokość dochodzi do 3 m. Dno doliny wypełnione jest piaskami, sporadycznie występują pojedyncze głazy. Miejscami w dnie doliny odsłaniają się gliny zwałowe podłoża. Obszar P4 zajmuje 6,22 % powierzchni MFW BŚ III.

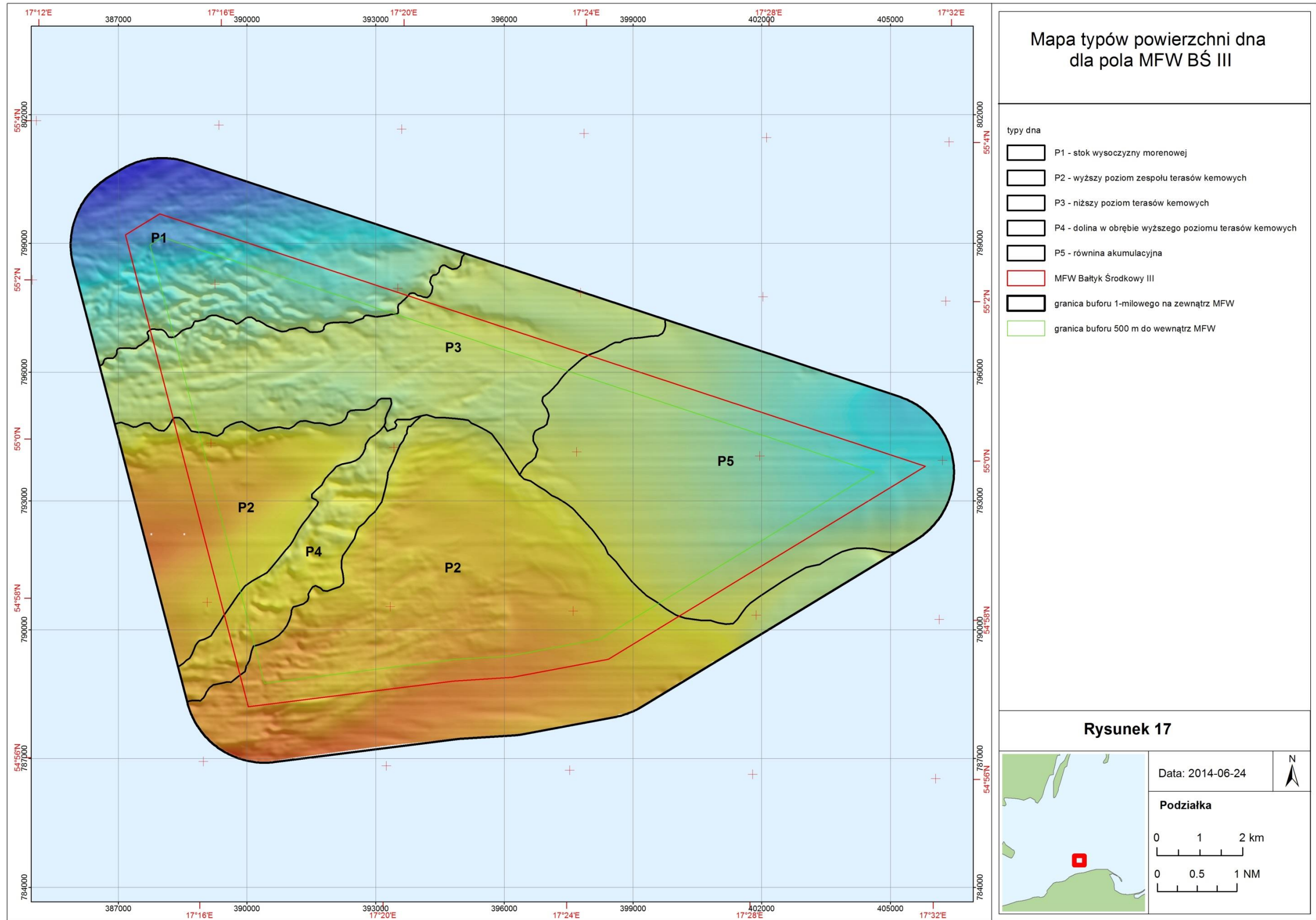
P5 – Położona we wschodniej części badanego obszaru równina akumulacyjna o bardzo słabym nachyleniu w kierunku wschodnim (poniżej $0,5^{\circ}$) (Rysunek 16). Powierzchnia równa, bez stwierdzonych nierówności, piaszczysta na podłożu ilastym i ilasto-mulistym. Jest to obszar akumulacji wodnolodowcowej i morskiej. Obszar zajmuje 25,07 % powierzchni MFW BŚ III.

Przepływ wód i transport osadów na obszarze MFW BŚ III odbywa się głównie w kierunkach E i NE. W dolinie rozcinającej jednostkę P2 (wyższy poziom terasowy) ruch wody odbywa się zgodnie z jej kierunkiem (NE). W obrębie jednostki P1, położenie i charakter fal piaszczystych na dnie sugerują, iż przeważające kierunki ruchu wody to E i SE. W zachodniej części tej jednostki (P1) okresowo dochodzi do przepływów w kierunku NW.

Dno rozmywane jest (przynajmniej okresowo) w południowo-zachodniej i zachodniej części obszaru P1, w zachodniej części P3, w centralnej części P2 i miejscami w dolinie (P4).



Rysunek 16. Mapa spadków dna na obszarze MFW BŚ III



Rysunek 17. Mapa typów powierzchni dna na obszarze MFW BŚ III

5.2. Zdjęcie sonarowe

5.2.1. Opis wyników badań sonarowych.

Wyniki rejestracji sonarowej dla badanego obszaru zostały zebrane i opracowane w postaci wielkoformatowej mozaiki sonarowej (Załącznik 4 do Raportu Końcowego).

Na podstawie pełnego obrazu sonarowego dna MFW BŚ III stworzono specjalistyczne mapy charakteru powierzchni dna. Wyznaczono struktury sedymentacyjne, obejmujące występowanie kamienisk, ripplemarków i fal piaszczystych. Wydzielono typy osadów powierzchniowych oraz oznaczono występowanie obiektów podwodnych na badanym obszarze.

Charakter położenia ripplemarków i fal piaszczystych w północno-zachodniej części pola MFW BŚ III świadczy o ruchu warstwy dynamicznej jednocześnie sugerując dominujący kierunek przepływu wody. Formy te stanowią 23,13 % powierzchni dna MFW BŚ III. Większą część poligonu badawczego zajmuje pokrywa materiału kamienistego obejmująca 22,82 % pola MFW BŚ III.

Powierzchnia dna MFW BŚ III reprezentowana jest przez 5 typów osadów dennych o różniącej się teksturze i akustycznej refleksywności. Wyróżniono obszary dna:

- wychodnie glin zwałowych (4,36 % powierzchni MFW BŚ III),
- gliny zwałowe z cienką pokrywą piasków (42,66 % powierzchni MFW BŚ III),
- piaski morskie (41,29 % powierzchni MFW BŚ III),
- osady różnoziarniste (11,69 % powierzchni MFW BŚ III).

Na mapie sonarowej zostały oznaczone głazy i antropogeniczne obiekty podwodne tj. kable, liny, sieci, kłody, kotwice, beczki wraz z przypisanymi współrzędnymi geograficznymi.

5.2.2. Analiza profili sonarowych.

W wyniku szczegółowej analizy profili sonarowych oraz przeglądu mozaiki sonarowej opracowano klasyfikację dna względem ich akustycznej refleksywności i tekstury obrazu sonarowego. Wydzielono pięć (A, B, C, D, C/D) głównych jednostek akustycznych dna czyli sonogramów – akustycznych obrazów dna w postaci cyfrowej, przedstawiających dno o różnej intensywności zapisu odbitej fali dźwiękowej (Grządziel 2008) i trzy (1-3) powierzchniowe struktury sedymentacyjne. Są to formy depozycyjne powstające podczas gromadzenia się osadu na dnie morskim, będące rezultatem oddziaływania falowania na dno tj. ripplemarki, struktury erozyjne, ślady pozostawione na powierzchni osadu w wyniku wleczenia po dnie np. sieci trałowych i kotwic (Gradziński i in. 1986). (Tabela 4). Obraz sonarowy posłużył między innymi do weryfikacji osadów powierzchniowych. Ciemne tony - pola dna o twardej powierzchni (gliny), z licznymi wyniosłościami ułożonymi chaotycznie i/lub pasowo. Jasne tony - małe zagłębienia i duże płaskie równiny z piaszczystą pokrywą.

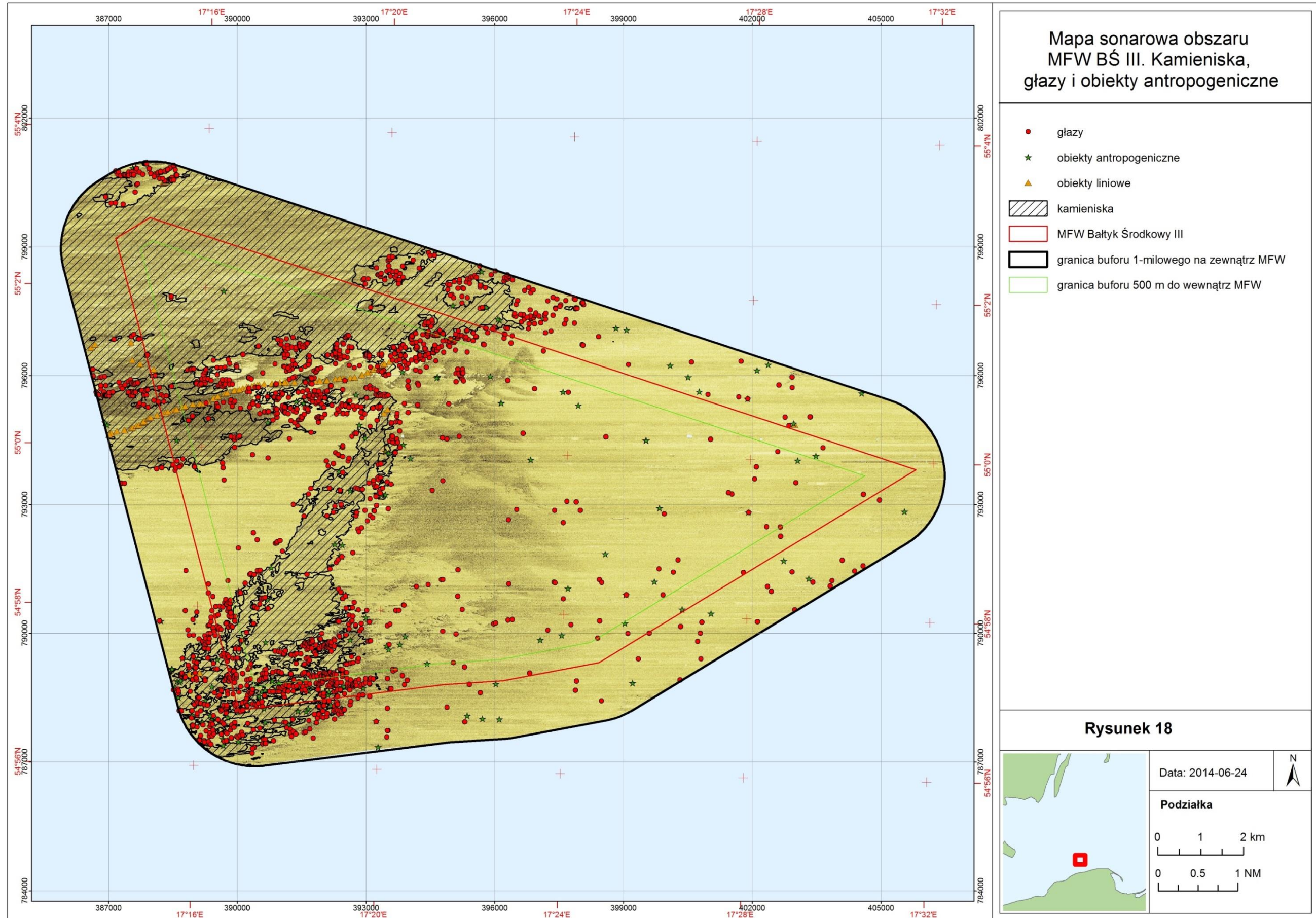
Dla potrzeb wyznaczenia obszarów kamienisk, oraz pól ripplemarków i fal piaszczystych przeanalizowano 217 profili sonarowych, obejmujących cały obszar MFW BŚ III wraz z buforem. Na mapie (**Rysunek 18**) przedstawiono obszar występowania kamienisk obejmujący powierzchnię 47,161 km², pojedyncze głazy (średnica większa niż 0,5 m) oraz wykryte przeszkody (wrak statku, obiekty mogące stanowić części statków, beczki, liny, inne obiekty antropogeniczne). Na mapie (**Rysunek 19**) wyróżnione zostały rytmiczne struktury sedymentacyjne: ripplemarki i fale piaszczyste o powierzchni 36,247 km². Kamieniska występują w północno-zachodniej części badanego obszaru. Pola

ripplemarków i fal piaszczystych występują również, tak jak kamieniska, na północnym - zachodzie, jednak zasadnicza ich część skupia się w centralnej części obszaru.

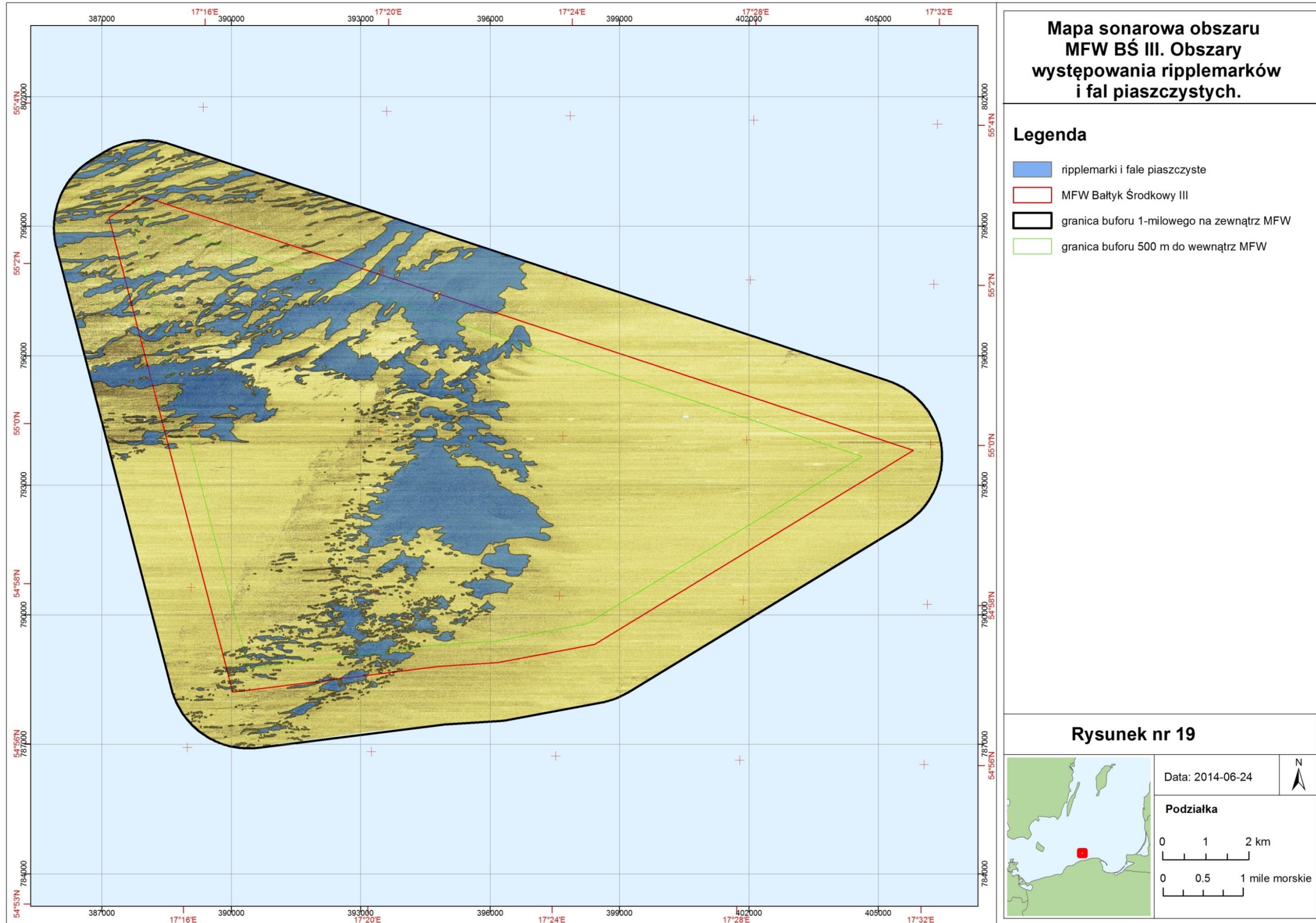
W wyniku analizy obrazu sonarowego wyróżniono obszary dna obejmujące: wychodnie glin zwałowych, pokrywy piaszczyste na glinach zwałowych, osady różnoziarniste, ility/muły oraz piaski drobnoziarniste. Obszar wychodni glin zwałowych zajmuje zachodnią część obszaru MFW BŚ III (Rysunek 20). Wskutek zróżnicowanej morfologii dna częste są tu nagromadzenia głazów i kamieni oraz partie grzęd i pagórków zbudowanych ze zwartych glin zwałowych. W zagłębieniach występują lokalne nagromadzenia piasku i żwiru. W części wschodniej badanego pola widoczny jest rozległy obszar z pokrywą piaszczystą.

Tabela 4. Klasyfikacja osadów dennych i określenie ich właściwości

Klasyfikacja osadów dennych	Opis akustyczny	Opis geologiczny
A	Niska refleksywność, gładka tekstura	IŁY/MUŁY
B	Niska refleksywność, ziarnista tekstura	PIASKI
C	Niska/średnia do wysokiej refleksywność, tekstura nierówna, niejednolita, od słabo ziarnistej do gruboziarnistej	OSADY RÓŻNOZIARNISTE
D	Wysoka refleksywność, niejednolita (chropowata) tekstura; liczne punkty silnych odbić, stowarzyszone z cieniem akustycznym	GLINY
C/D	Niska do średniej refleksywności; bardzo zróżnicowana, ziarnista tekstura z punktami silnych odbić, stowarzyszonych z cieniami akustycznymi	GLINY z cienką, zmienną pokrywą piasków i żwirów
1	Punktowe odbicia stowarzyszone z cieniami akustycznymi	Kamieniska
2	Pola rytmicznych, prostych lub sinusoidalnych lineacji piaszczystych o refleksywności większej niż otoczenie i stowarzyszonych z cieniami akustycznymi	Ripplemarki i fale piaszczyste
3	Zdwojone lub pojedyncze rysy, niższej lub większej refleksywności niż otoczenie	Ślady trałowania



Rysunek 18. Mapa występowania kamienisk, głazów i obiektów antropogenicznych (obiekty takie jak wraki, części statków, beczki, itp., obiekty liniowe takie jak kable, liny itp.) na obszarze MFW BŚ III



Rysunek 19. Mapa sonarowa obszaru MFW BŚ III. Obszary występowania ripplemarków i fal piaszczystych

5.3. Profilowanie sejsmoakustyczne

5.3.1. Opis wyników uzyskanych z profilowania sejsmoakustycznego

W wyniku analizy i interpretacji profili sejsmoakustycznych wykonanych profilomierzem osadów i Boomerem na badanym obszarze określono osady powierzchniowe oraz budowę wglębną do około 45 m. Rejestracje profilomierzem osadów stosowano głównie do wyznaczania głębokości położenia powierzchni odbijających, jako bardziej dokładne niż rejestracje systemem Boomer. Rejestracje systemem Boomer stosowano głównie dla rozpoznania i wyróżniania powierzchni odbijających związanych z granicami jednostek (facji) położonych na głębokości większej niż 5 - 6 m pod powierzchnią dna.

Na podstawie analizy wyników rejestracji sejsmicznej (profilomierz osadów i system Boomer) wyróżniono cztery główne jednostki sejsmiczne. Jednostki te zinterpretowano geologicznie, w relacji do ogólnej wiedzy o metodzie i rejonie badań. Podstawę wydzielenia stanowiło zróżnicowanie intensywności i układów refleksów oraz charakter granic jednostek. Opisano je jako: **Jednostka I** – piaski (żółty), **Jednostka II** – osady różnoziarniste (pomarańczowy), **Jednostka III** – ły i muły (jasny niebieski), **Jednostka IV** – gliny (brązowy) (Tabela 5). Wydzielone jednostki przedstawione są w na przekrojach geologicznych (Załącznik 6).

Tabela 5. Klasyfikacja jednostek – Profil Geologiczny – Warstwy pod powierzchnią dna

Nazwa jednostki	Opis	Interpretacja
I	Długie, ciągłe, refleksy, równoległe do powierzchni dna	PIASKI
II	Długie, współkształtne, horyzontalne, ciągłe refleksy i/lub krótkie, skośne; lokalnie z małymi falami dyfrakcyjnymi	OSADY RÓŻNOZIARNISTE
III	Długie, powyginane zespoły współkształtnych silnych i słabych refleksów, z przestrzeniami akustycznie przejrzystymi między refleksami.	ŁY I MUŁY
IV	Chaotyczny układ krótkich refleksów, różnej wielkości i amplitudy; częste fale dyfrakcyjne	GLINY

5.3.1.1. Osady powierzchniowe

Warstwę osadów powierzchniowych wyznaczono na podstawie geologicznej interpretacji facji sejsmicznych wykonanych profilomierzem osadów (SBP) w relacji do danych uzyskanych z rejestracji sonarem bocznym. Na powierzchni dna występują przede wszystkim drobno i średnioziarniste współczesne piaski morskie (Rysunek 20). Stanowią one tzw. warstwę dynamiczną. Miąższość warstwy dynamicznej jest zmienna i wynosi średnio od 0,2 do 1,7 m (Rysunek 21). Wszędzie tam, gdzie współczesne osady leżą na osadach o zbliżonej litologii i genezie, np. piaski na piaskach czy piaski na mułach, rozpoznanie granicy między nimi jest bardzo trudne.

5.3.1.2. Budowa wgłębna

Wykonane profile sejsmoakustyczne, a przede wszystkim dane rejestrowane systemem Boomer (z częstotliwością roboczą około 1 kHz), pozwoliły określić struktury dna pod jego powierzchnią nawet do 45 m. W wyniku przeprowadzonej interpretacji na badanym obszarze MFW BŚ III wyróżniono cztery jednostki (facje) sejsmiczne: piaski, osady różnoziarniste, ility/mułły oraz glinę zwałową. Charakter rzeźby i budowa dna morskiego zostały przedstawione w postaci map stropów poszczególnych osadów (Rysunek 22, Rysunek 23, Rysunek 24), mapy osadów poniżej 2 m pod powierzchnią dna (Rysunek 25) oraz przekrojów geologicznych (Rysunek 26) (Załącznik 6 do Raportu Końcowego).

Podczas postępu łądolodu ostatniego zlodowacenia (zlodowacenia Wisły) ukształtowana została powierzchnia stropowa glin (Rysunek 22). Gliny zwałowe występują w budowie wgłębnej całego obszaru badanego pola. Powierzchnia stropowa glin jest nierówna. W północnej i północno-zachodniej części obszaru badań gliny tworzą rozległe wychodnie przykryte miejscami cienką warstwą piasków i żwirów. W rzeźbie podłoża gliniastego, w centralnej części pola MFW BŚ III wyraźnie zaznacza się podłużne wzniesienie o przebiegu SW-NE. Po obu stronach wzniesienia znajdują się zagłębienia. Po zachodniej stronie jest to rynna subglacialna o przebiegu SW-NE. Jej zachowany fragment jest wyraźnie zaznaczony w podłożu gliniastym. Rynna rozszerza się w kierunku SW i na granicy analizowanego obszaru rozwidla. W miejscu rynny powstało zastoisko sukcesywnie wypełniane iltami i mułami (Rysunek 23) z partiami piasków drobnoziarnistych. W kolejnym etapie rozwoju rzeźby, cały obszar został przykryty piaskami (głównie piaski drobno i średnioziarniste, miejscami piaski różnoziarnistych) tworząc, na wskazanym obszarze, najwyższe poziomy zespół terasów kemowych (obszar P2). We wschodniej i południowej części obszaru P2 powstało nagromadzenie osadów różnoziarnistych (Rysunek 24) pod pokrywą piasków drobno i średnioziarnistych.

W obniżeniu w podłożu gliniastym, po wschodniej stronie wspomnianego wzniesienia, położonym we wschodniej części analizowanego obszaru, również powstało zastoisko wypełniane iltami (Rysunek 23), a w późniejszym czasie materiałem piaszczystym i piaszczysto mulistym. Proces wypełniania osadem piaszczystym tej jednostki zachodzi również współcześnie. Występowanie tych osadów stanowi mało stabilne podłoże budowlane, jednak nie wyklucza posadowienia budowli. Na tym obszarze konieczne będzie przeprowadzenie dokładnych badań geotechnicznych. Na znacznym obszarze badanego pola, na powierzchni, leży rozległa pokrywa piasków. Miąższość serii piasków wynosi od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów.

Budowę wgłębna przedstawiono na przekrojach geologicznych w Załączniku 6 do Raportu Końcowego. Spośród 217 profili pomiarowych wytypowano 9 (Rysunek 26), wzdłuż których wykonano przekroje. Selekcję profili przeprowadzono w taki sposób, aby przecinały wszystkie wydzielone obszary (P1, P2, P3, P4, P5) oraz odzwierciedlały budowę geologiczną całego pola MFW BŚ III.

Na przekroju geologicznym, wykonanym wzdłuż profilu 20, zlokalizowanego w północnej części pola, w budowie dna na całej długości widoczne są gliny zwałowe miejscami przykryte cienką warstwą osadów piaszczystych.

Przekrój geologiczny wzdłuż profilu 52 przedstawia gliny zwałowe, przykryte w części wschodniej ciągłą warstwą piasków. W części zachodniej pokrywa piasków jest nieciągła. Widoczny jest wyraźny zarys łusek glącitektonicznych w postaci odsłoniętych grzęd.

Gliny zwałowe obecne są na całej długości przekroju geologicznego wykonanego wzdłuż profilu 90. W części zachodniej (na obszarze P3) stanowią rozległą wychodnię miejscami przykrytą cienką, nieciągłą warstwą piasków. W części wschodniej (obszar P5) w glinach zaznacza się rozległe zagłębienie wypełnione osadami ilasto-mulistymi o miąższości nieprzekraczającej 15 m. Na powierzchni osadów zastoiskowych zalegają drobne piaski o miąższości nieprzekraczającej 4 m.

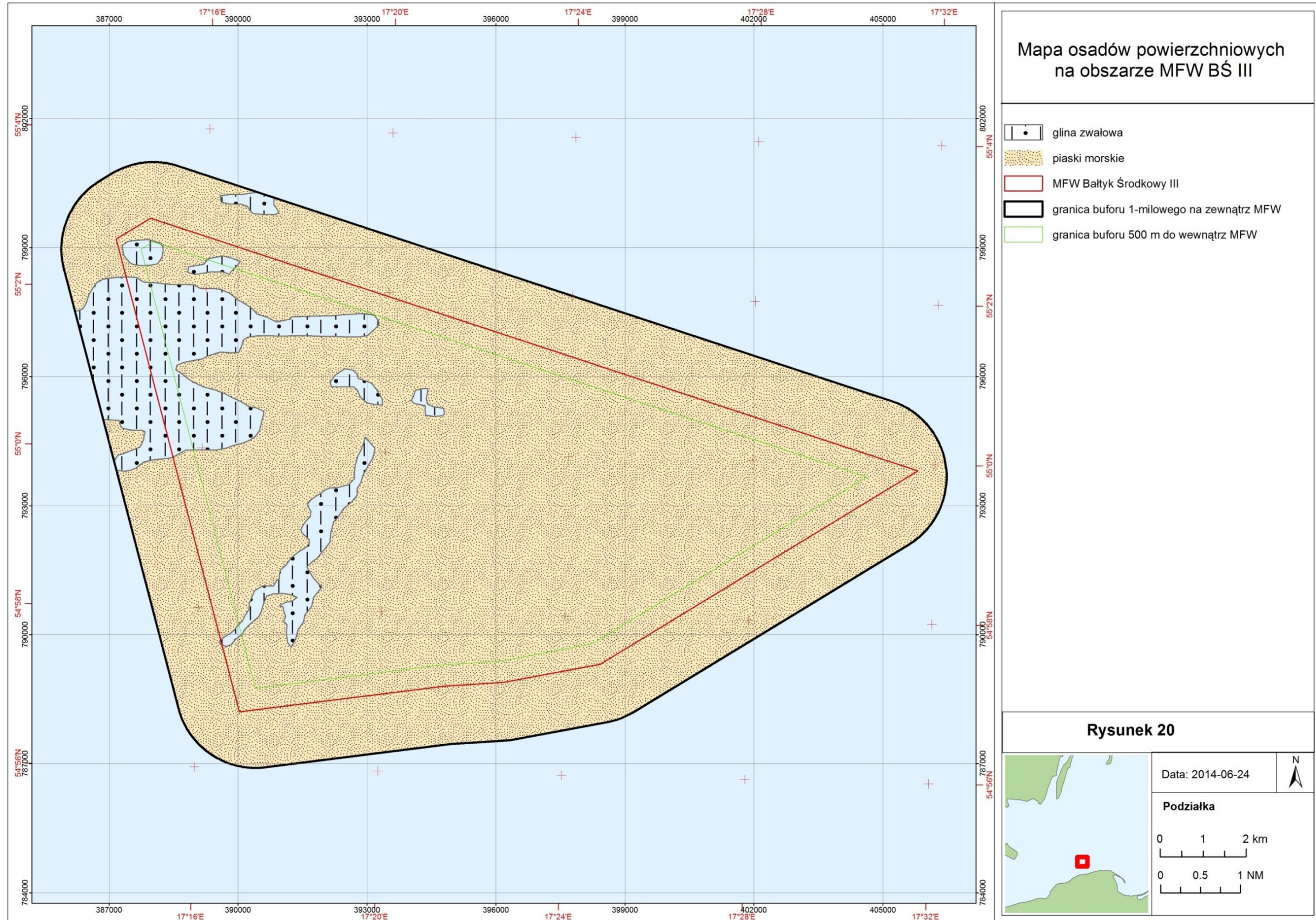
Przekrój 116 poprowadzony został przez trzy obszary: P2, P4 i P5. W centralnej części przekroju zarysowuje się wyniesienie zbudowane z glin zwałowych, z zagłębieniami po obu stronach wypełnionymi osadami zastoiskowymi.

Na przekrojach 136 oraz 146 widoczna jest kontynuacja struktur geologicznych opisanych w przekroju 116. Na powierzchni wyniesienia, w centralnej części, na powierzchni glin pojawia się warstwa żwirów.

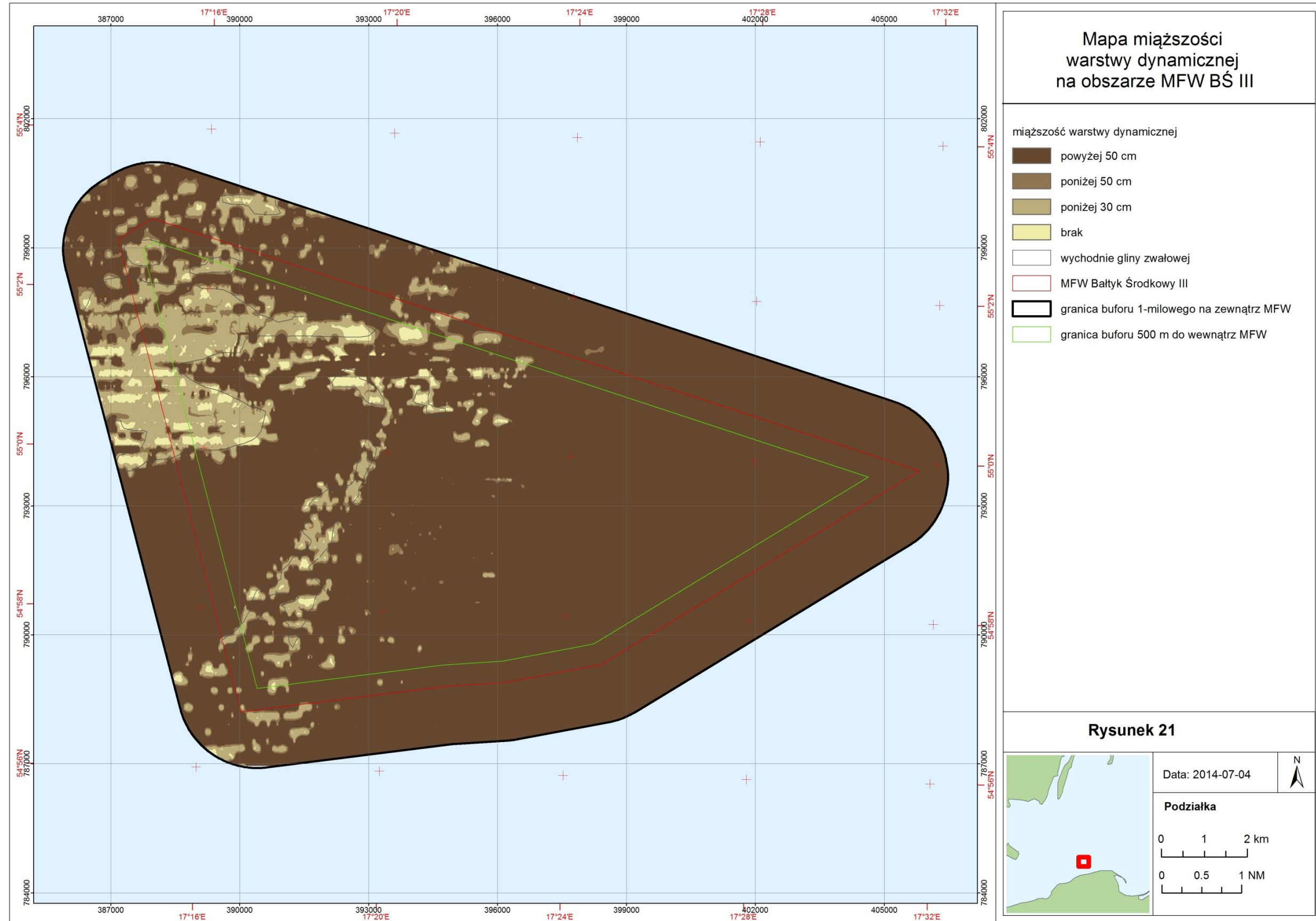
Na przekroju geologicznym 165 widać wyraźne zwężenie i spłylenie rynny subglacialnej obecnej w budowie geologicznej po zachodniej stronie wyniesienia.

Zastoisko zlokalizowane we wschodniej części ulega zwężeniu i pogłębieniu (miąższość osadów ilasto-mulistych przekracza miejscami 15 m). Wypłyca się w kierunku południowym. W przekroju 188 widać już jedynie mały fragment zastoiska w pobliżu granicy buforu 1-milowego. Sytuacja wygląda podobnie w części zachodniej, gdzie nie widać żadnego śladu po rynnie subglacialnej. W podłożu występują jedynie gliny zwałowe ze zmienną pokrywą piaszczysto-żwirową na powierzchni.

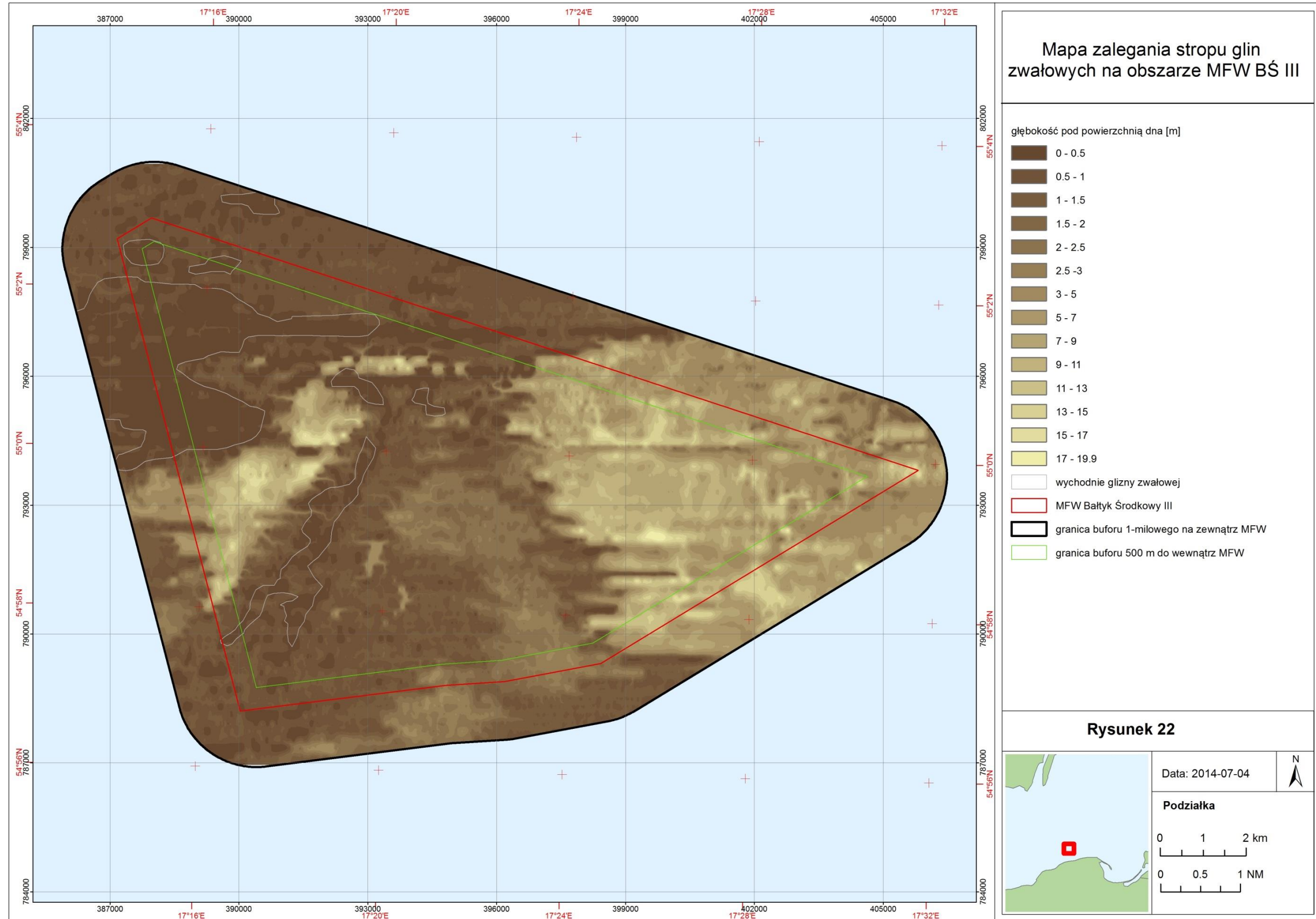
Przekrój 210 w całości znajduje się na obszarze P2. W budowie wglębnej występują gliny zwałowe z warstwą osadów piaszczysto-żwirowych na powierzchni.



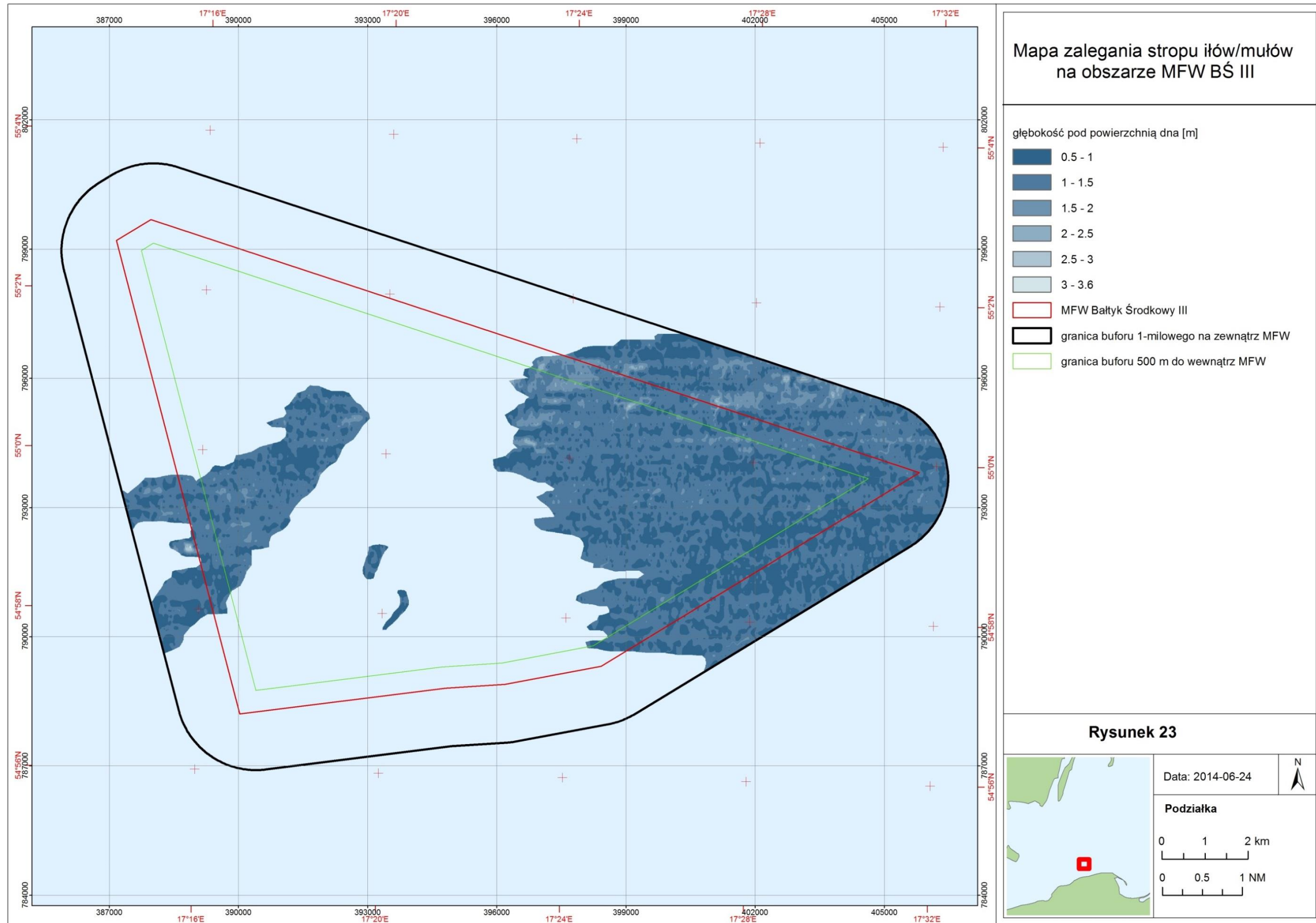
Rysunek 20. Mapa osadów powierzchniowych na obszarze MFW BŚ III



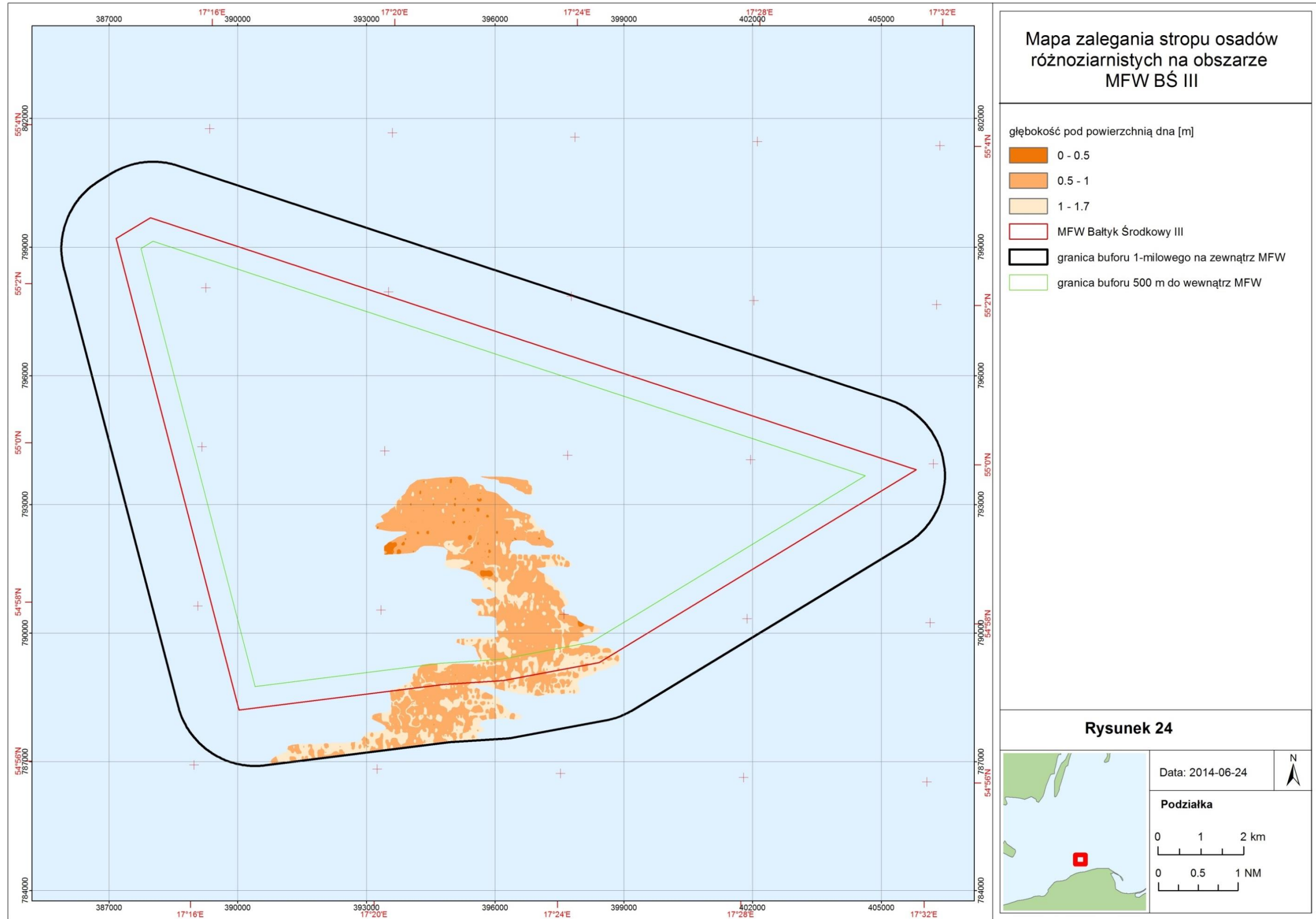
Rysunek 21. Mapa miąższości warstwy dynamicznej na obszarze MFW BŚ III



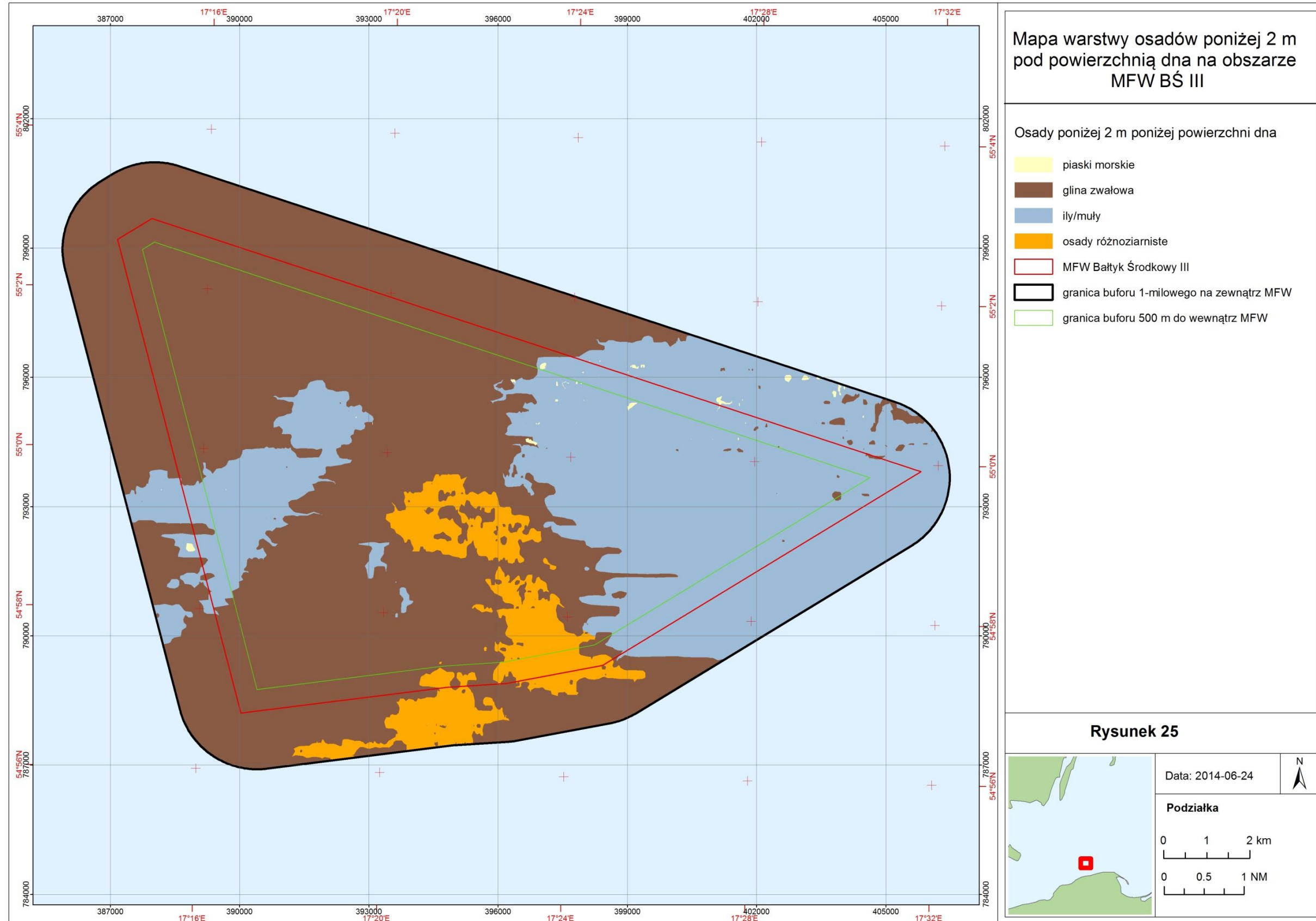
Rysunek 22. Mapa zalegania stropu glin zwałowych na obszarze MFW BŚ III



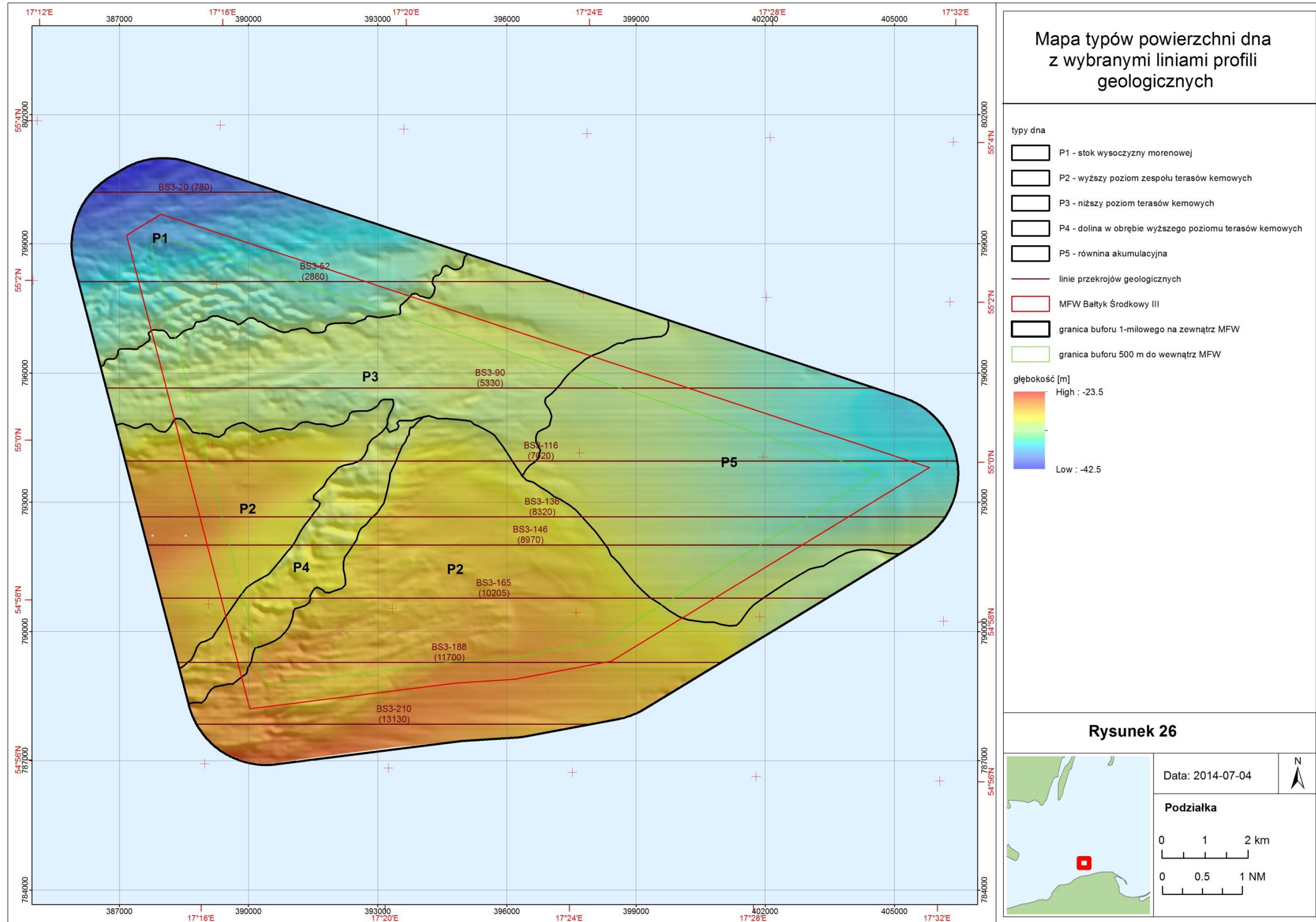
Rysunek 23. Mapa zalegania stropów iłów i mułów na obszarze MFW BŚ III



Rysunek 24. Mapa zalegania stropu osadów różnoziarnistych na obszarze MFW BŚ III



Rysunek 25. Mapa warstwy osadów poniżej 2 m pod powierzchnią dna na obszarze MFW BŚ III



Rysunek 26. Mapa typów powierzchni dna z zaznaczeniem wybranych linii profili geologicznych na obszarze MFW BŚ

5.4. Rdzenie płytkie

Wynikiem analizy płytkich rdzeni jest 67 kart rdzeni przedstawionych w Załączniku 5 do Raportu Końcowego z wynikami.

Długość najkrótszego z pobranych rdzeni wynosi 1,65 m (BS3_V04) (Rysunek 13). Najdłuższe próby rdzeniowe wypełniły cały 3 metrowy próbnik (np.: BS3_V32, BS3_V36). Próby rdzeniowe korelują się z wyinterpretowanymi wydzieleniami na profilach sejsmoakustycznych.

W rdzeniach zlokalizowanych w południowo-wschodniej części MFW BŚ III stwierdzono występowanie piasków drobno do średnioziarnistych. Miąższość ich przekracza miejscami 3 m.

W rdzeniach pobranych z północno-wschodniej części pola zanotowano obecność pokrywy piaszczystej o zmiennej miąższości zmniejszającej się z zachodu w kierunku wschodnim. Pod piaskami zalegają osady mulisto-ilaste.

Rdzenie zlokalizowane w północno-zachodniej części MFW BŚ III zawierają głównie gliny zwałowe i gliny subakwalne (na całej długości rdzenia np.: BS3_V09, BS3_V10), miejscami przewarstwione osadami piaszczysto-mulistymi (np.: BS3_V35).

Rdzenie pobrane z południowo-zachodniej części MFW BŚ III zawierają głównie osady piaszczyste oraz piaszczysto-muliste.

Dokładny opis każdego z rdzeni zawarty jest w kartach rdzeni (Załącznik 5).

6. Podsumowanie wyników i wnioski

Na podstawie analizy obrazu uzyskanego z rejestracji sondą wielowiązkową, sonarem bocznym, profilowaniem sejsmoakustycznym oraz opracowanych prób rdzeniowych i czerpakowych szczegółowo opracowana została rzeźba i budowa dna obszaru MFW BŚ III.

Wyróżniono pięć obszarów o zróżnicowanej rzeźbie dna (Rysunek 17) i odmiennej genezie, które zostały oznaczone jako obszary: P1 – stok wysoczyzny morenowej; P2 – wyższy poziom zespołu terasów kemowych; P3 – niższy poziom zespołu terasów kemowych; P4 – dolina w obrębie wyższego poziomu terasów kemowych; P5 – równina akumulacyjna.

Rzeźba i budowa geologiczna pola MFW BŚ III związana jest z obecnością lądolodu skandynawskiego, późniejszą deglacjacją obszaru i działalnością współczesnych procesów na dnie morza.

Warunki geologiczno-geomorfologiczne obszaru MFW BŚ III są ogólnie korzystne dla posadowienia elementów infrastruktury elektrowni wiatrowych. Jest to obszar o niewielkim nachyleniu powierzchni (Rysunek 16) i tylko punktowo urozmaiconej rzeźbie dna (Rysunek 17). Dno jest delikatnie pofalowane, nie występują na polu większe deniwelacje.

W przeważającej części powierzchnia dna zbudowana jest z piasków morskich (Rysunek 20). W zachodniej i północno-zachodniej części na powierzchni znajdują się gliny (Rysunek 22). Miejscami, na powierzchni wyniosłości obszaru P2, a zwłaszcza wzdłuż doliny (P4), występują nagromadzenia kamieni (Rysunek 18). Pod niewielkiej miąższości warstwą piasków średnio i drobnoziarnistych, przykrywających prawie cały obszar MFW BŚ III, znajdują się gliny zwałowe

(Rysunek 22), które stanowią wystarczającą podstawę dla lokalizacji poszczególnych elementów infrastruktury farmy wiatrowej. Wyjątkiem jest obszar oznaczony jako P5 oraz centralny fragment zachodniej części obszaru P2. W obrębie tych wydzieleni, pod powierzchnią piasków, o miąższości nie większej niż 1,7 m, znajdują się ility i muły dawnych zastoisk (Rysunek 23). Występowanie tych osadów stanowi mało stabilne podłoże, jednak nie wyklucza posadowienia budowli hydrotechnicznych wielkogabarytowych. Na tych obszarach konieczne będzie przeprowadzenie dodatkowych dokładnych badań geotechnicznych już pod poszczególne elementy inwestycji przed przygotowaniem projektu budowlanego.

Najmniej korzystne warunki (w zależności od techniki/metody posadowienia wiatraków) dla lokalizacji elementów farmy, ze względu na rzeźbę dna, występują w południowej i południowo-zachodniej części obszaru P1 (Rysunek 17). Obszar ten posiada silnie uwypukloną rzeźbę powstałą w wyniku działania procesów erozyjnych związanych z rozmywaniem tej partii dna. Proces zachodzi od około 5000 lat. Deniwelacje dochodzą do 3 m i związane są z grzędami, grzbietami i izolowanymi wierzchołkami reliktów rzeźby morenowej. Są to wypreparowane partie glin. Zagłębienia między grzbietami i garbami są nieregularne o charakterze zarówno izolowanych zagłębieni jak i wydłużonych bruzd. Analizy uziarnienia prób czerpakowych wykazują duże zróżnicowanie związane z charakterem budowy tego pola (gliny w grzędach, piaski i/lub żwiry w zagłębieniach). Może to mieć wpływ na ostateczne rozmieszczenie poszczególnych elementów infrastruktury farmy wiatrowej i/lub może wpłynąć na koszty przygotowania podłoża do fundamentowania. Nie dyskwalifikuje to jednak obszaru z możliwości zabudowy MFW BŚ III.

Na badanym obszarze występują miejscowo fale piaszczyste (Rysunek 19), których obecność stwierdzono w rejonie P1. Świadczy to o występującym ruchu osadów w warstwie dynamicznej. Na pozostałym obszarze MFW BŚ III brak wyraźnych śladów ruchu rumowiska.

Przepływ wód i transport osadów na obszarze MFW BŚ III odbywa się głównie w kierunkach E i NE (Rozdział 5.2 Raportu Końcowego Hydrologicznego). W dolinie rozcinającej jednostkę P2 ruch wody odbywa się zgodnie z jej kierunkiem (NE). W obrębie jednostki P1, położenie i charakter fal piaszczystych na dnie sugerują, iż przeważające kierunki ruchu wody to E i SE. W zachodniej części tej jednostki (P1) okresowo dochodzi do przepływów w kierunku NW. Należy jednak pamiętać, że dno rozmywane jest (przynajmniej okresowo) w południowo-zachodniej i zachodniej części obszaru P1, w zachodniej części P3, w centralnej części P2 i miejscami w dolinie (P4).

7. Niedostatki techniki i luki we współczesnej wiedzy

Nie można dokładnie określić budowy głębszych struktur geologicznych, a także miąższości niektórych osadów, których spąg zalega na głębokościach przekraczających zasięg aparatury pomiarowej stosowanej do rozpoznania głębiej zalegających osadów (boomer).

8. Bibliografia

1. Gradziński R., Kostecka A., Radomski A. & Unrug R., *Zarys Sedymentologii*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1986
2. Grządziel A., *Technika sonaru bocznego w badaniach hydrograficznych*, Przegląd hydrograficzny Nr 4, Navy Hydrographic Department, Gdynia, 2008
3. Gudelis W. K., Jamielianow J. M., *Geologia Morza Bałtyckiego*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1982
4. Kaberow R., *Mozaikowanie obrazów sonarowych*, Przegląd hydrograficzny Nr 4, B Navy Hydrographic Department, Gdynia, 2008
5. Kramarska R., *Osady powierzchni dna*, [w:] Mojski J. E. (red.), *Atlas geologiczny Południowego Bałtyku*. Tab. XXV. National Institute of Geology, Sopot-Warszawa, 1995
6. Kramarska R., *Osady na głębokości 1 m poniżej powierzchni dna*, [w:] Mojski J. E. (red.), *Atlas geologiczny Południowego Bałtyku*. Tab. XXI. National Institute of Geology, Sopot-Warszawa, 1995
7. Kramarska R., *Przekroje geologiczne (I)*, [w:] Mojski J. E. (red.), *Atlas geologiczny Południowego Bałtyku*. Tab. XIX. National Institute of Geology, Sopot-Warszawa, 1995
8. Kramarska R., *Paleogen i neogen Południowego Bałtyku i jego wybrzeża*, Praca doktorska, archiwum PIG Oddział Geologii morza, Gdańsk, 2006
9. Luoma S.N., Bryan G.W., A statistical assessment of the forms of trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *Sci. Total. Environ.*, 17: 165-196, 1981
10. Pikies R., *Morfogeneza dna*, [w:] Mojski J. E. (red.), *Atlas geologiczny Południowego Bałtyku*. Tab. XXIV. National Institute of Geology, Sopot-Warszawa, 1995
11. Mojski J. E.(red.), *Atlas Geologiczny Południowego Bałtyku*, National Institute of Geology, Sopot-Warszawa, 1995
12. Mycielska-Dowgiałło E., *Badania osadów czwartorzędowych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Państwowy Instytut Geologiczny, Komisja Litologii i Genezy Osadów Czwartorzędowych Komitetu Badań Czwartorzędu PAN, Warszawa, 1995
13. Mycielska-Dowgiałło E., *Struktury sedymentacyjne i postsedymentacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1998
14. Myślińska E., *Laboratoryjne badania gruntów*, PWN, Warszawa, 2001
15. Osadczyk A., *Geofizyczne metody badań osadów dennych*, Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu, Zakład Geomorfologii Morskiej, *Studia Limnologica et Telmatologica*, 2007
16. PN-88/B-04481, Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
17. Przeździecki P., *Seismoacoustic profiling as a tool for the investigation of the geological structure of the coastal zone and its processes*, Institute of Oceanography, University of

Gdańsk, Oceanological and Hydrobiological Studies, Vol. XXXVIII, Supplement 1, 2009

18. Przeździecki P., *Sejsmostratygrafia osadów czwartorzędowych w polskiej części Bałtyku*. Praca doktorska, archiwum Zakładu Geologii Morza Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego w Gdyni, 2001
19. Racinowski R., Szczypek T., Wach J., *Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 2001

9. Spis tabel

Tabela 1.	Współrzędne geograficzne proponowanej lokalizacji obszaru przeznaczonego na przygotowanie, realizację i eksploatację MFW BŚ III.....	10
Tabela 2	Zestawienie pomiarów batymetrycznych, geofizycznych oraz sonarowych.....	10
Tabela 3	Zestawienie rejsów poboru płytkich prób rdzeniowych	11
Tabela 4	Klasyfikacja osadów dennych i określenie ich właściwości	34
Tabela 5	Klasyfikacja jednostek – Profil Geologiczny – Warstwy pod powierzchnią dna.....	37

10. Spis rysunków

Rysunek 1.	Mapa obszaru badań dla MFW BŚ III	9
Rysunek 2.	Statek badawczy Instytutu Morskiego w Gdańsku R/V „IMOR”	12
Rysunek 3.	System pozycjonowania inercyjnego z czujnikiem ruchu statku Applanix POS-MV.....	13
Rysunek 4.	Odbiornik i antena systemu satelitarnego Trimble SPS 851.....	14
Rysunek 5.	System pomiarowy sondy wielowiązkowej SeaBat 8125	15
Rysunek 6.	Profilomierz prędkości dźwięku w wodzie Reson SVP 15	16
Rysunek 7.	Mareograf Valeport miniTIDE Self Recording Tide Gauge	16
Rysunek 8.	Holowany sonar boczny EdgeTech 4200 oraz system akwizycji danych Coda GeoSurvey DA 1000.....	17
Rysunek 9.	Profilomierz osadów ORETECH 3010P – macierz 4 przetworników z kompensatorem falowania w obudowie hydrodynamicznej.....	18
Rysunek 10.	Boomer SIG Energy 3000	18
Rysunek 11.	Wibrosonda VKG – 3	20
Rysunek 12.	Obszar badań wraz z wyznaczonymi profilami pomiarowymi.....	21
Rysunek 13.	Punkty poboru płytkich rdzeni na polu MFW BŚ III	23
Rysunek 14.	Schemat pinga z węzłami.....	25
Rysunek 15.	Mapa batymetryczna dla obszaru MFW BŚ III	28
Rysunek 16.	Mapa spadków dna na obszarze MFW BŚ III	31
Rysunek 17.	Mapa typów powierzchni dna na obszarze MFW BŚ III	32
Rysunek 18.	Mapa występowania kamienisk, głazów i obiektów antropogenicznych (obiekty takie jak wraki, części statków, beczki, itp., obiekty liniowe takie jak kable, liny itp.) na obszarze MFW BŚ III	35
Rysunek 19.	Mapa sonarowa obszaru MFW BŚ III. Obszary występowania ripplemarków i fal piaszczystych	36
Rysunek 20.	Mapa osadów powierzchniowych na obszarze MFW BŚ III	40
Rysunek 21.	Mapa miąższości warstwy dynamicznej na obszarze MFW BŚ III	41
Rysunek 22.	Mapa zalegania stropu glin zwałowych na obszarze MFW BŚ III.....	42
Rysunek 23.	Mapa zalegania stropów iłów i mułów na obszarze MFW BŚ III.....	43
Rysunek 24.	Mapa zalegania stropu osadów różnoziarnistych na obszarze MFW BŚ III	44
Rysunek 25.	Mapa warstwy osadów poniżej 2 m pod powierzchnią dna na obszarze MFW BŚ III	45

Rysunek 26. Mapa typów powierzchni dna z zaznaczeniem wybranych linii profili geologicznych na obszarze MFW BŚ 46

11. Spis załączników

Załącznik 1	Współrzędne początkowe i końcowe profili pomiarowych
Załącznik 2	Współrzędne poboru płytkich rdzeni
Załącznik 3	Mapa batymetryczna
Załącznik 4	Mapa sonarowa
Załącznik 5	Karty dokumentacyjne płytkich prób rdzeniowych
Załącznik 6	Przekroje geologiczne