

SZYMON UŚCINOWICZ, JOANNA ZACHOWICZ

**OBJAŚNIENIA  
DO MAPY GEOLOGICZNEJ  
DNA BAŁTYKU**

1:200 000

Arkusz Rønne, Nexø

pod redakcją J. E. Mojskiego



WARSZAWA 1992

Redaktor Janina Zajac

Akceptował do druku dn. 1.7.1992r.  
Dyrektor Państwowego Instytutu Geologicznego  
Prof. dr hab. Krzysztof Jaworowski

© Copyright by PIG, Warszawa, 1992

Państwowy Instytut Geologiczny  
Biuletyn w Sopocie

Nr inw. 9-554

Opracowała w redakcji komputerowej  
Zakładu Publikacji PIG – mgr Hanna T. Dłużewska

Oddano do redakcji komputerowej dn. 4.V.1992 r.

Zlecenie nr 40/92. Objętość 4,1 ark. wyd. Nakład 200 + 50 egz. Druk ARW

## SPIS TREŚCI

Wstęp . . . . .	5
Batymetria i geomorfologia . . . . .	6
Batymetria . . . . .	6
Geomorfologia . . . . .	7
Formy pochodzenia morskiego . . . . .	7
Formy pochodzenia lądowego . . . . .	8
Charakterystyka geologiczna . . . . .	9
Uwagi ogólne . . . . .	9
Stratygrafia i litologia . . . . .	9
Prekambr . . . . .	9
Sylur . . . . .	9
Kreda . . . . .	10
Trzeciorzęd . . . . .	10
Czwartorzęd . . . . .	11
Plejstocen . . . . .	11
Plejstocen – Holocen . . . . .	24
Holocen . . . . .	24
Rozwój budowy geologicznej . . . . .	30
Charakterystyka geologiczno-surowcowa . . . . .	35
Podsumowanie . . . . .	36
Literatura . . . . .	37



## WSTĘP

Arkusze Rønne i Nexø Mapy Geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000 obejmują południowo-zachodni obszar Morza Bałtyckiego, w obrębie południowej części Basenu Bornholmskiego. Południową granicę obu arkuszy stanowi równoleżnik  $54^{\circ}40'N$ . Wschodnią granicę arkusza Rønne, a zachodnią — arkusza Nexø wyznacza południk  $15^{\circ}00'E$ . Arkusz Nexø od wschodu ograniczony jest południkiem  $16^{\circ}00'E$ , od zachodu, północnego zachodu i północy obszar objęty mapą wyznaczony jest granicą polskiej strefy ekonomicznej. W rejonie Bornholmu granica ta przebiega w odległości 12 mil morskich od wybrzeży wyspy. Powierzchnia badanego obszaru wynosi  $2742 \text{ km}^2$ , z czego na arkusz Rønne przypada  $235,2 \text{ km}^2$ , a na arkusz Nexø —  $2506,8 \text{ km}^2$ .

Basen Bornholmski, podobnie jak i inne obszary Morza Bałtyckiego, cechuje termohaliczne uwarstwienie mas wodnych. Według m.in. K. Łomniewskiego i in. (1975), A. Majewskiego (1987) oraz danych zawartych w szeregu innych prac warstwa górna o zasoleniu od 7 do 8‰ i sezonowo zmiennej termicie, zalega w Basenie Bornholmskim do głębokości ok. 45–50 m. Na głębokościach od 45–50 m do 65–70 m następuje szybki wzrost zasolenia do ok. 15–16‰ i związany z tym wzrost gęstości wody. Głębiej występują wody o małej, zależnej głównie od wlewów i adwekcji wód z Morza Północnego, zmienności temperatury i zasolenia. Temperatura wód tej warstwy wynosi około  $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ , a zasolenie ok. 15–16‰. Z uwarstwieniem termohalicznym związany jest również pionowy rozkład natlenienia mas wodnych. W warstwie powyżej pinokliny (warstwy skokowego wzrostu gęstości wód) nasycenie wód tlenem waha się od 100 do 70%. Wody w obrębie pinokliny odznaczają się dużymi wahaniami zawartości tlenu, natomiast nasycenie tlenem wód poniżej pinokliny jest mniejsze na ogół niż 20%. Okresowo występują też warunki beztlenowe. Dno morskie w obrębie obszaru objętego badaniami, położone jest na głębokościach większych, niż 50 m. Współczesne procesy sedymentacji determinowane są głównie przez chemiczne i fizyczne cechy wód mających bezpośredni kontakt z dnem morskim. Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na cechy osadów jest zmienność natlenienia wód przydennych i związane z tym wartości potencjału utleniająco-redukcyjnego i pH.



Zmienność tych cech związana jest z dynamiką wód, w której decydującą rolę odgrywają różnego rodzaju prądy gradientowe oraz fale wewnętrzne rozwijające się najintensywniej w warstwie skoku gęstości wód (tj. w obrębie pinokliny).

Dotychczasowe publikacje poświęcone różnym zagadnieniom geologii Bałtyku Południowego, a w tym Basenu Bornholmskiego zostały szeroko omówione przez Sz. Uścińowicza (1989b, 1991), R. Kramarską (1991), Sz. Uścińowicza i in. (1989). Należy wymienić również prace dotyczące stratygrafii i rozwoju budowy geologicznej Bałtyku Południowego; J. Mojskiego (1987), B. Rosy (1987) oraz zbioru prac opublikowanych pod redakcją W. Gudelisa (1985).

Prace terenowe rozpoczęto na obszarze arkuszy Rønne i Nexø w 1984 r. Wykonano 1186 km profilowania echosondażowego i 595 km profilowania sejsmoakustycznego. W roku 1985 pobrano w 270 punktach próbki osadów z powierzchni dna oraz 46 rdzeni o długości od 2,3 m do 6,4 m. W roku 1989 wykonano 1 otwór wiertniczy do głębokości 28,5 m. Pobrane próbki poddano badaniom laboratoryjnym. Ogółem wykonano około 1100 analiz granulometrycznych, mineralno-petrograficznych, chemicznych i paleontologicznych. Wśród wymienionych analiz wykonano 22 analizy palinologiczne, 11 okrzemkowych, 2 ekspertyzy mikropaleontologiczne, 1 oznaczenie wieku bezwzględnego osadów metodą  $^{14}\text{C}$  i 1 oznaczenie metodą termoluminescencji. Zebrane materiały dokumentacyjne umożliwiły zgodnie z celem badań stawianym przez projekt badań geologicznych i Instrukcję w sprawie opracowania i wydania Mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000, rozpoznanie budowy geologicznej do głębokości 3–10 m pod dnem, stratygrafii, genezy i litologii osadów plejstoceńskich i holocenijskich, rzeźby dna i współczesnych procesów litodynamicznych.

## BATYMETRIA I GEOMORFOLOGIA

### BATYMETRIA

Dno morskie w obrębie arkuszy Rønne i Nexø znajduje się na głębokości od 50 m do 96 m. Największe powierzchnie zajmują horyzontalne i subhoryzontalne obszary równinne położone na głębokości od 65–70 m do 96 m. Maksymalna głębokość morza 96 m, występuje w północno-zachodniej części badanego obszaru (profil 3 NE). Głębokości minimalne związane są z obrzeżami Basenu Bornholmskiego. W obrębie arkusza Rønne w południowo-zachodniej części obszaru głębokości morza wynoszą od 52 do 60 m (profil 8 NE, przekrój A–B). Podobne głębokości występują w południowo-wschodniej części arkusza Nexø. W rejonie tym występuje najmniejsza głębokość — 50 m, związana wyraźnie z przedłużeniem w kierunku południowo-zachodnim struktur Ławicy Słupskiej. Podnóże zachodniego skłonu Ławicy Słupskiej o nachyleniu od 3' do 7' (profil 12 NE) zaznacza się do głębokości ok. 65–70 m przechodząc łagodnie w horyzontalne i subhoryzontalne równiny zajmujące centrum basenu.

Wyniesienie dna znajdujące się w północno-zachodniej części o głębokościach zmniejszających się w kierunku południowo-wschodnim od 69 m do ok. 75–77 m związane jest z Ławicą Południowo-Wschodnią należącą do ciągu ławic nazywanego Siodłem Christiansø (Christiansø Saddle-F.C. Kögler, L.B. Larsen 1979). Północno-wschodnie zbocza tego wyniesienia osiągają lokalnie duże, jak na warunki morfologiczne Basenu Bornholmskiego, nachylenia dochodzące do 25' (profil 3 NE). Równinna rzeźba dna Basenu Bornholmskiego jest lokalnie urozmaicona ciągami wyniesień. Największy z nich, o długości ok. 35 km rozciąga się z północnego wschodu na południowy zachód w środkowej części arkusza Nexø. Lokalne różnice wysokości względnych dochodzą w północno-wschodniej części tego ciągu pagórków do 17–22 m, a nachylenia zboczy osiągają największe w badanym obszarze wartości od 1°10' do 1°40' (profile 11 S, 12 S). Wysokość wzniesień zmniejsza się w kierunku południowo-zachodnim (profil 12 NE, przekrój C–D gdzie giną one pogrzebane pod osadami morskimi. Mniejsze ciągi wzniesień o deniwelacjach od 2 do 8 m i nachyleniu do ok. 1° występują w południowo-wschodniej części arkusza Nexø (profil 12 S) oraz części północnej (profil 11 S, przekrój C–D).

## GEOMORFOLOGIA

### Formy pochodzenia morskiego

**Równiny abrazyjno-akumulacyjne.** Występują one na obrzeżach Basenu Bornholmskiego, w części południowo-zachodniej na głębokościach płytszych niż 60–59 m, a w części południowo-wschodniej płytszych niż 67–65 m.

Równiny abrazyjno-akumulacyjne występują na głębokości od 70 do 75 m w części środkowej obszaru oraz od 85 do 95 m w części północnej i północno-wschodniej.

Równiny abrazyjno-akumulacyjne występują w postaci wąskich półek (listew) wzdłuż ciągów pagórków znajdujących się w środkowej i północnej części arkusza Nexø. Geneza tych równin związana jest z erozyjnym ścięciem powierzchni osadów późnoglacialnych i dolnoholocenijskich — bałtyckiego jeziora lodowego, morza yoldiowego i jeziora ancylusowego. Na osadach tych zalega cienka kilku-kilkunastucentymetrowa warstwa osadów piaszczysto-mulistych lub piaszczysto-ilastych morza litynowego i bałtyka. Lokalnie, zwłaszcza w części południowo-zachodniej obszaru badań, powierzchnia erozyjna przykryta jest osadami mulisto-ilastymi morza litynowego i morza bałtyka, o miąższości dochodzącej do 2 m (przekrój A–B).

**Równiny akumulacyjne.** W południowej części Basenu Bornholmskiego na głębokościach większych niż 59–69 m, występują równiny akumulacyjne odznaczają się one poziomym lub lekko nachylonym (od 3' do 1') dnem. Geneza tych równin związana jest z procesami akumulacji zachodzącymi w późnym glacie i holocenie. Miąższość osadów późnoglacialnych i holocenijskich, maskujących pagórkowatą rzeźbę glacialną wynosi od około 10 do 20 m, lokalnie do 25 m (przekroje C–D, E–F).



## Formy pochodzenia lądowego

**Ostańce abrazyjne** pozostałe po wzniesieniach strefy marginalnej. W obrębie arkusza Nexø występują dwa wały zbudowane (wg danych sejsmoakustycznych) z gliny zwalowej, przykrytej osadami późnoglacialnymi i dolnoholocenijskimi.

Mniejszy z wałów występuje w części południowo-wschodniej obszaru badań. Długość jego wynosi ok. 9–10 km, szerokość około 1 km, a wysokość ponad poziom dna dochodzi do 6–7 m (profil 12 S).

Drugi większy ciąg wyniesień, występuje w części północnej. Długość całej formy, częściowo zamaskowanej przez młodsze osady przekracza 18 km. W rzeźbie dna uwidaczniają się dwa odcinki o długościach około 4 i 10 km i szerokości ok. 0,7–1,0 km. Wysokość względna jest niewielka, ok. 1–3 m (profil 11 S, przekrój C–D). Całkowita wysokość formy zbudowanej z gliny zwalowej wynosi od 15 do 18 m, a miąższość przykrywających ją osadów dochodzi do 6–7 m (przekrój C–D).

**Wały akumulacji wodnołodowcowej (ozy?).** W obrębie arkusza Nexø udokumentowano występowanie czterech wałów będących przedłużeniem formy opisanej na sąsiednim arkuszu Ławica Słupska, Ławica Słupska N (R. Kramarska, 1991). W części wschodniej arkusza, występują trzy kulisowo zachodzące na siebie wały, tworzące ciąg o kierunku NE–SW. Długość ich wynosi od 5 do 7 km, szerokość od 0,5 do 2,0 km, a wysokość ponad poziom dna do 22 m (profil 11 S). Całkowita wysokość częściowo pogrzebanej formy dochodzi również do ok. 20 m (przekrój E–F). W części środkowej arkusza Nexø występuje czwarty najdłuższy odcinek, biegnący również w kierunku NE–SW. Osiąga on długość do 14 km, przy nieco mniejszej szerokości wynoszącej od 0,4 do 1 km i wysokościach względem dna od 1 do 12 m (przekrój C–D, profil 12 S). Całkowita wysokość formy, widoczna na przekroju C–D osiąga 20 m. Łączna długość ciągu wałów, w obrębie arkusza Nexø, uwidaczniających się w rzeźbie dna osiąga 35 km. W kierunku południowo-zachodnim na odcinku ok. 10 km wał jest przykryty osadami późnoglacialnymi i holocenijskimi i nie uwidaczniają się w rzeźbie dna.

Wały zbudowane są z przewarstwień piasków drobnoziarnistych, piasków mulistych, piasków ilastych, osadów typu piasek-mul-ł, mulów piaszczystych i mulów ilastych oraz lamin ilastych (np. rdzeń 17 R02). Budowa geologiczna wałów nie potwierdza wcześniej wyrażanych poglądów przez W. Rosę, K. Wypycha (1981), że są to wały moren czolowych. Cechy litologiczne osadów budujących wały wskazują, że jest to osad wodnołodowcowy zdeponowany w szczelinach lądolodu przez wody roztopowe o małej dynamice przepływu, okresowo stagnujące.

## CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA

### UWAGI OGÓLNE

Obraz sejsmoakustyczny w korelacji z opublikowanymi mapami (W. Pożaryski i in. 1979, A. Witkowski (red.), 1979) i w powiązaniu z wykonanymi otworami wiertniczymi na arkuszu Nexø i arkuszach sąsiednich (Sz. Uścińowicz, 1989a; Z. Jurowska, R. Kramarska, 1990; R. Kramarska, 1992) wykazał, że osady czwartorzędowe leżą bezpośrednio na skałach prekambryjskich, sylurskich, kredowych i trzeciorzędowych. W obrębie arkusza Rønne, Nexø osady starsze od czwartorzędu zostały udokumentowane bezpośrednio tylko w otworze wiertniczym 2 NE. Osady plejstoceńskie i holocenijskie udokumentowano zarówno za pomocą metod sejsmoakustycznych jak i bezpośrednio, przez pobór próbek i badanie rdzeni osadów. Wiek osadów określono metodami termoluminescencji i radiowęglą oraz za pomocą analiz mikropaleontologicznych (otwornice), palinologicznych oraz okrzemkowych. Badania te stanowiły obok wyników profilowania sejsmoakustycznego podstawę podziału stratygraficznego osadów. Metodami sejsmoakustycznymi rozpoznano budowę geologiczną do głębokości od 50 do 80 m poniżej powierzchni dna. Wiercenie 2 NE osiągnęło głębokość 28,5 m, a liczne sondy rdzeniowe do 6,0 m.

### STRATYGRAFIA I LITOLOGIA

#### Prekambr

**Granity i gnejsy?** — Pr. Skały prekambryjskie występujące jako bezpośrednie podłoże czwartorzędu w północno-zachodniej części arkusza Nexø (przekrój E–F) są związane ze strukturami zrębowymi Ławicy Południowo-Wschodniej należącej do ciągu ławic nazywanych Siodłem Christiansø (Christiansø Saddle; F.C. Kögler, B. Larsen, 1979).

Zasięg występowania skał prekambryjskich reprezentowanych prawdopodobnie przez granity i gnejsy, ograniczony jest systemem uskoków. Strop prekambru o niewielkich, dochodzących do 5 m deniwelacjach, przykryty tylko osadami plejstoceńskimi i dolnoholocenijskimi występuje na głębokości od 75 do ok. 82 m p.p.m. W kierunku południowo-wschodnim obniża się system uskoków ginąc pod osadami syluru.

#### Sylur

**Ilowce?** — S. Utwory syluru występują, jako bezpośrednie podłoże czwartorzędu, w północno-wschodniej części obszaru arkusza Nexø. Rozprzestrzenienie ich



zwiększa się w kierunku południowo-wschodnim. Zasięg utworów syluru wyznaczono poprzez korelację profili sejsmoakustycznych z istniejącymi mapami (W. Pożaryski i in. 1979, A. Witkowski (red.) 1979) opartymi o głęboką sejsmikę.

Strop utworów sylurskich występuje na głębokości od ok. 95 do ok. 140 m p.p.m. Utwory sylurskie to najprawdopodobniej ilowce lekko sfałdowane i poprzecinane licznymi uskokami. Nachylenia warstw są niewielkie i wynoszą przeważnie od 0,5 do 1°, wzrastając w pobliżu uskoków do 2°, maksymalnie do 3°. Struktury są wyraźnie ścięte co wskazuje na denudacyjny charakter rzeźby stropu utworów sylurskich. Lokalnie występują wcięcia związane prawdopodobnie z egzaracyjną działalnością łądolodu. Maksymalne lokalne deniwelacje w stropie utworów sylurskich dochodzą do ok. 20–25 m przy nachyleniach jego powierzchni nie przekraczających 2°.

### Kreda

Piaski i piaskowce? — K. Utwory kredowe zajmują największe powierzchnie, stanowiące bezpośrednie podłoże czwartorzędu w południowej i zachodniej części obszaru badań oraz w części północnej, oddzielonej strefą skał prekambryjskich i sylurskich. Utwory kredowe nawiercone w otworze 2 NE, na rzędnej 17 m poniżej powierzchni dna, to piaski wapieniste i słabo związane piaskowce. Należą one do osadów górnego mastrychtu na co wskazuje równoczesne występowanie gatunków otwornic *Cibicidoides involutus* (Reuss), *Cibicidoides bembix* (Marson), *Arenobullina preslii* (Reuss) oraz *Gavelinella compianata* (Reuss) i *Gavelinella danica* (Brotzen) (E. Gawor-Biedowa, 1990).

Strop utworów kredowych w części zachodniej znajduje się na głębokości od ok. 60 do 120 m p.p.m. (przekrój A–B), w części południowej i środkowej od ok. 80 do 100 m p.p.m. w części północnej 110–120 m p.p.m. (przekrój C–D). Sposób zalegania utworów jest podobny do zalegania utworów sylurskich. Są one nieznacznie sfałdowane, a nachylenie warstw wynosi 0,5°–1,0°, maksymalnie do 2°. W odróżnieniu od syluru utwory kredowe nie są na ogół poprzecinane uskokami. Lokalne deniwelacje zniszczonego egzaracyjnie stropu osadów kredowych wynoszą przeważnie ok. 5–10 m dochodząc maksymalnie do 30 m w części południowej i ok. 50 m w części zachodniej obszaru badań.

### Trzeciorząd

Piaskowce, margle — Pg<sub>1</sub>. Utwory trzeciorzędowe występują lokalnie w południowo-zachodniej części obszaru badań (S część arkusza Rønne). Utwory te prawdopodobnie, podobnie jak nawiercone w otworze W 3 położonym ok. 3 km na południe od początku przekroju A–B (Z. Jurowska, R. Kramarska, 1990) należą do paleocenu i reprezentowane są przez piaskowce i margle. Miąższość trzeciorzędu dochodzi do ok. 35 m. Strop, zniszczony erozyjnie wykazuje szereg wcięć o głębokości dochodzącej do 30 m i nachyleniach zboczy od 3° do 4°.

## Czwartorzęd

### Plejstocen

Piaski, ły, gliny zwałowe — p-gzPl. Osady te wypełniają większe zagłębienia w stropie utworów przedczwartorzędowych (przekroje A–B, C–D, E–F). Niejednorodność zapisu sejsmoakustycznego i brak wyraźnych poziomów refleksyjnych sugeruje, że mogą to być różnorodne osady glacialne i fluwioglacialne starszych zlodowaceń. Brak danych wiertniczych nie pozwala wykluczyć, że mogą to być osady interglacialne lub glacialne z początków zlodowacenia północnopolskiego. Miąższość tych utworów dochodzi do 30 m.

### ZIADOWACENIE PÓLNOCPOLSKIE

Gliny zwałowe — gzB. Występują one na całym obszarze badań. W południowo-wschodniej i północno-zachodniej jego części strop gliny zwałowej znajduje się na głębokości od 1 do 3 m poniżej powierzchni dna morskiego (rdzenie 34 R/12 i 24 R/14). W pozostałej części obszaru gliny zalegają przeważnie od 10 do 15 m, lokalnie od 4 do 5 m lub do ok. 25 m poniżej powierzchni dna. Deniwelacje stropu wynoszą przeważnie 2–3 m dochodząc miejscami do 20 m (przekroje A–B, C–D, E–F).

Miąższość glin zwałowych, wynosząca przeważnie ok. 3–5 m, waha się od ok. 0,5–1,0 m do 10–12 m. Lokalnie w rejonie występowania osadów wodnołodowcowych, brak jest glin zwałowych. W północnej części obszaru badań, w obrębie częściowo pogrzebanego wału morenowego, miąższość glin dochodzi (wg danych sejsmoakustycznych) do 45 m, (przekrój E–F). Pobrane rdzenie wykazały, że gliny zwałowe są dwudzielne.

Poziom dolny zbudowany jest z szarych zwartych glin piaszczystych datowanych metodą TL na 90 000 lat (tab. 1). Poziom górny młodszą reprezentują gliny muliste i ilaste również szarej barwy czasem z brązowymi elastycznymi przemazami, zdecydowanie bardziej plastyczne niż gliny poziomu dolnego. Przejście pomiędzy glinami obu poziomów jest stopniowe, a granica na rejestracjach sejsmoakustycznych jest niewidoczna, dlatego na przekrojach geologicznych przedstawiono je jako jedną

Tabela 1

Wykaz datowań osadów

Nr rdzenia i przełot warstw	Współrzędne geograficzne		Głębokość morza (m)	Rodzaj osadów	Metoda	Nr lab. próbki	Wiek (w latach)
	φ	λ					
24 R14 2,0–2,3	55°03,65'	15°34,24'	71,0	głina zwałowa	TL	UG-319	90 000±13000
12 K02 2,9–3,1	55°01,68'	55°44,03'	65,5	il mulisty	<sup>14</sup> C	Gd-2906	6 700±90

Uwaga — Datowania metodą <sup>14</sup>C wykonano w Laboratorium <sup>14</sup>C Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach; datowania metodą TL wykonano w Laboratorium Uniwersytetu Gdańskiego



warstwę gliny zwałowej. Przedstawiona w tabelach 2–6 charakterystyka litologiczna dotyczy wyłącznie poziomu górnego. Charakterystyczną cechą glin z Basenu Bornholmskiego jest stosunkowo duży udział okruchów skał osadowych. We frakcji 1,0–0,5 mm wynosi on średnio 37,7% (tab. 2) i jest o 17,3% wyższy od zawartości okruchów skał osadowych w glinach pływacznych otaczających od południa Basen Bornholmski (Sz. Uścińowicz, 1991). Wyższy jest też udział okruchów skał krystalicznych, a mniejszy kwarcu i skaleni.

Wśród ziarn kwarcu we frakcji 0,5–0,25 przeważają ziarna obtoczone i dobrze obtoczone (tab. 3). Również ziarna częściowo obtoczone występują liczniej niż ziarna kanciaste i częściowo kanciaste.

Zawartość minerałów ciężkich we frakcji 0,25–0,125 mm wynosi przeciętnie 0,44%. Wśród minerałów ciężkich najliczniej występują minerały przezroczyste 37,1%. W grupie minerałów przezroczystych dominują amfibole i granaty (średnio 37,3% i 26,8% minerałów przezroczystych). Istotne znaczenie mają również występujące w ilościach powyżej 5% pirokseny, epidot, chloryt i biotyt (tab. 4).

Analiza derywatograficzna 8 próbek nie rozdzielonych wykazała występowanie illitu, kwarcu (śr. 50%) i kalcytu (śr. 15,1%). W składzie chemicznym glin dominuje  $\text{SiO}_2$  (śr. 54,56%), występująca w ilościach mniejszych niż w glinach innych części południowego Bałtyku (Sz. Uścińowicz, 1989a,b, 1991). Nieco wyższy jest udział  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , przy podobnej zawartości  $\text{CaO}$  i  $\text{MgO}$  (tab. 5).

Średnie zawartości niektórych metali występujących w ilościach śladowych przedstawiają się następująco:

Cu – 22,2, Zn – 124, Ni – 37,7, Co – 18,4, Fe – 26100, Mn – 622, Cr – 46,7 ppm.

Muły ilaste, muły, muły piaszczyste, piasek-muł-ii, piaski ilaste, piaski muliste, piaski drobnoziarniste — wodnolodowcowe — ml-<sup>19</sup>pdB. Z osadów tych zbudowane są wały akumulacji wodnolodowcowej, tworzące ciąg wyniesień w dnie Basenu Bornholmskiego. Zbocza wałów pokrywają i częściowo maskują osady późnoglacialne i dolnoholoceńskie wczesnych faz rozwojowych Bałtyku. Jedynie wierzchołki wałów pokrywa cienka warstwa o miąższości do ok. 0,5 m morskich piasków ilastych i drobnoziarnistych. We wschodniej części w najwyższych partiach wałów występują wychodnie drobnoziarnistych piasków wodnolodowcowych (<sup>19</sup>pdB). Miąższość osadów dochodzi do 35 m. Osady wodnolodowcowe wcinają się w utwory przedczwartorzędowe — sylurskie i kredowe, jedynie osady budujące zbocza wałów lokalnie wkraczają na gliny zwałowe (przekrój E–F). Lokalizacja wałów związana jest z uskokami i wcięciami erozyjnymi w skałach przedczwartorzędowych.

Skład mineralny i chemiczny osadów wodnolodowcowych jest podobny do składu glin zwałowych. We frakcji 1,0–0,5 mm wyraźnie dominują okruchy skał osadowych (śr. 42,8% — tab. 2). Wśród minerałów ciężkich frakcji 0,25–0,125 mm (tab. 4) najliczniej występują minerały zmienione, przezroczyste i węglany. W grupie minerałów przezroczystych charakterystyczny jest wysoki udział, niezależnie od typu granulometrycznego, biotyту, chlorytów oraz amfiboli. Analiza derywatograficzna próbek nie rozdzielonych wykazała obecność kwarcu i kalcytu. Średnie zawartości kalcytu, wynoszą: 8,2% w piaskach drobnoziarnistych, 9,2% w piaskach mulistych, 10,9% w piaskach ilastych i osadach typu piasek-muł-ii, 16,8% w mułach

piaszczystych i 23,0% w mułach ilastych. W trzech ostatnich typach granulometrycznych, obok kwarcu i węglanów występuje też illit. Zawartość substancji organicznej jest mała we wszystkich typach osadów wodnolodowcowych i wynosi od 0,6% w piaskach drobnoziarnistych, piaskach mulistych i ilastych do 1,5% w osadach typu piasek-muł-ii, 1,8% w mułach piaszczystych i 1,3% w mułach ilastych. W podstawowym składzie chemicznym (tab. 5) najliczniej występują  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oraz podobnie jak w glinach zwałowych —  $\text{CaO}$ .

Średnie zawartości metali przedstawiają się następująco:

piaski drobnoziarniste (2 analizy): Fe–13450, Mn–301,0, Co–26,6, Ni–44,3, Cu–23,0, Zn–142,0, Cr–20,6 ppm,

piaski muliste (4 analizy): Fe–12100, Mn–325,0, Co–18,0, Ni–28,9, Cu–15,7, Zn–26,2 ppm,

piasek-muł-ii (2 analizy): Fe–26250, Mn–621,0, Co–27,6, Ni–47,6, Cu–23,2, Zn–59,5, Cr–37,0 ppm,

muły piaszczyste (1 analiza): Fe–37200, Mn–631, Co–37,9, Ni–74,5, Cu–29,7, Zn–75, Cr–57 ppm,

muły ilaste (2 analizy): Fe–13800, Mn–371, Co–16,2, Ni–21,4, Cu–51,3, Zn–60,5, Cr–25,6 ppm.

Iły warwowe lodowcowojeziorne — 19B. Osady warwowe występują prawie na całym obszarze. Brak ich jedynie w północno-zachodnich i południowo-wschodnich częściach obszaru badań (przekrój E–F, rdzeń 34 R 12). Leżą one bezpośrednio na glinie zwałowej, występują też na zboczach wałów zbudowanych z osadów wodnolodowcowych. Miąższość osadów warwowych wynosi przeważnie od 2 do 5 m, leżą one na głębokości od ok. 1 do 17 m poniżej powierzchni dna. Osady warwowe reprezentowane są przez naprzemianległe laminy ilaste barwy brązowej i muliste, często z domieszką piasku, barwy szarej. Miąższość lamin waha się od ok. 0,5–1,0 mm do 5,0–10,0 mm i zmniejsza się ku stropowi warstwy. Przejście do wyżejleżących osadów bałtyckich jeziora lodowego jest stopniowe, laminy stają się coraz mniej regularne i rzadsze i stopniowo zanikają. W całej warstwie osadów warwowych występują liczne wkładki (kieszenie) piaszczyste, grudki (wkładki-gniazda) brązowoczerwonych iłów lub szarych mułów oraz pojedyncze ziarna żwiru. Skład mineralny i chemiczny osadów warwowych jest podobny do innych plejstocenijskich osadów lodowcowych i wodnolodowcowych. We frakcji 1,0–0,5 mm dominują okruchy skał osadowych (tab. 2). Analiza derywatograficzna wykazała dominację illitu, przy zawartości kwarcu poniżej 30% i kalcytu w ilości od 7 do 11%.

Zawartość substancji organicznej jest niska i wynosi do 2,5%. W podstawowym składzie chemicznym obok dominacji  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (tab. 5) charakterystyczne są jak i dla innych osadów plejstocenijskich zawartości  $\text{CaO}$  wynoszące od 5,29 do 6,28%. Ponadto osady te wyróżniają się stosunkowo wysoką zawartością  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Zawartość wybranych metali występujących w ilościach śladowych przedstawiają się następująco:

iły muliste (2 analizy): Fe–47900, Mn–699, Co–40,5, Ni–76,0, Cu–34,1, Zn–153, Cr–82,5 ppm,

iły (1 analiza): Fe–35800, Mn–851, Co–25,0, Ni–54,6, Cu–25,5, Cr–67 ppm.



Tabela 2

Skład mineralno-petrograficzny (frakcja 1,0-0,5mm)

Symbol wydzielenia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	Kwarc	Skalenie	Minerały skal krystalicznych	Minerały skal osadowych	Okruchy skal krystalicznych	Okruchy skal osadowych	Inne
$_{gz}^B$	gliny zwalowe	4	<u>36,3</u>	<u>1,1</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>24,9</u>	<u>37,7</u>	<u>0,0</u>
$_{mi-pd}^{tg}B$	piasek-mul-ł	1	<u>29,5</u>	<u>3,1</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>24,6</u>	<u>42,8</u>	<u>0,0</u>
$_{i}^{b}B$	łły warwowe	1	<u>30,3</u>	<u>0,7</u>	<u>0,3</u>	<u>0,0</u>	<u>16,3</u>	<u>52,4</u>	<u>0,0</u>
$_{l-m}^{gm}PIH$	łły muliste	2	<u>33,9</u>	<u>2,8</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>24,6</u>	<u>38,7</u>	<u>0,0</u>
$_{pd}^m H_{3-5}$	plaski drobnoziarniste	4	<u>78,3</u>	<u>1,4</u>	<u>0,1</u>	<u>0,0</u>	<u>17,4</u>	<u>2,8</u>	<u>0,0</u>
$_{pm}^m H_{3-5}$	piaski muliste	4	<u>81,0</u>	<u>1,6</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>15,8</u>	<u>1,6</u>	<u>0,0</u>
$_{pl}^m H_{3-5}$	plaski ilaste	8	<u>78,1</u> <u>4,7</u>	<u>1,0</u> <u>1,0</u>	<u>0,1</u> <u>0,2</u>	<u>0,0</u> <u>0,0</u>	<u>16,9</u> <u>3,2</u>	<u>3,9</u> <u>1,5</u>	<u>0,0</u> <u>0,0</u>
$_{pmi}^m H_{3-5}$	piasek-mul-ł	6	<u>88,6</u> <u>0,3</u>	<u>0,4</u> <u>0,3</u>	<u>0,0</u> <u>0,0</u>	<u>0,0</u> <u>0,0</u>	<u>7,9</u> <u>2,4</u>	<u>3,1</u> <u>4,4</u>	<u>0,0</u> <u>0,0</u>
$_{mp}^m H_{3-5}$	muły piaszczyste	1	<u>90,7</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>6,9</u>	<u>2,4</u>	<u>0,0</u>
$_{lp}^m H_{3-5}$	łły piaszczyste	1	<u>87,6</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>10,7</u>	<u>1,7</u>	<u>0,0</u>
$_{lm}^m H_{3-5}$	łły muliste	3	<u>84,3</u>	<u>0,9</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>9,7</u>	<u>5,1</u>	<u>0,0</u>

wartość średnia  
odchylenie standardowe w %

Analizy wykonała M. Michałowska

Tabela 3

Obtroczenie ziarn kwarcu (frakcja 0,5-0,25mm)

Symbol wydzielenia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	Klasy obtroczenia wg wzorca Russela, Taylora, Pettijohna		
			kanciaste i częściowo kanciaste	częściowo obtroczone	obtroczone i dobrze obtroczone
$_{gz}^B$	gliny zwalowe	2	<u>26,9</u>	<u>34,2</u>	<u>38,9</u>
$_{mi-pd}^{tg}B$	piasek-mul-ł	1	<u>31,3</u>	<u>46,7</u>	<u>22,0</u>
$_{l-m}^{gm}PIH$	łły muliste	1	<u>15,0</u>	<u>34,3</u>	<u>50,7</u>
$_{pd}^m H_{3-5}$	plaski drobnoziarniste	1	<u>30,0</u>	<u>47,0</u>	<u>23,0</u>
$_{pl}^m H_{3-5}$	plaski ilaste	1	<u>23,0</u>	<u>44,0</u>	<u>33,0</u>
$_{pmi}^m H_{3-5}$	piasek-mul-ł	6	<u>16,2</u> <u>2,3</u>	<u>49,6</u> <u>7,3</u>	<u>34,2</u> <u>6,8</u>
$_{lp}^m H_{3-5}$	łły piaszczyste	1	<u>13,0</u>	<u>51,3</u>	<u>35,7</u>
$_{lm}^m H_{3-5}$	łły muliste	2	<u>12,5</u>	<u>37,3</u>	<u>50,2</u>

wartość średnia  
odchylenie standardowe w %

Analizy wykonała M. Michałowska



Skład mineralów ciężkich

Symbol wydzielenia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	Zawartość mineralów ciężkich (% wag.)	Grupy mineralów (% ilościowe)						Minerały (%)	
				minerały nieprzezroczyste	minerały zmienne	okrucy skal	glaukonit	węgliny	minerały przezroczyste	granaty	amfibole
g <sub>z</sub> B	gliny zwalowe	3* (3)**	0,44	10,6	25,9	18,3	4,4	3,7	37,1	26,8	37,3
t <sub>g</sub> m-pd B	piaski drobnoziarniste	1 (1)	0,29	5,0	40,6	3,5	2,4	14,9	33,6	1,4	28,9
	piaski muliste	2 (2)	0,36	3,7	37,9	5,3	1,7	14,5	36,9	1,3	19,8
	piasek-mul-ł	1 (1)	0,71	7,3	34,3	3,1	2,5	14,3	38,5	10,9	34,4
g <sup>m</sup> l <sup>m</sup> P <sup>m</sup> H	łły muliste	1 (1)	0,89	7,1	35,4	4,3	5,1	10,2	37,9	12,1	36,8
m <sup>m</sup> pd <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	piaski drobnoziarniste	4 (3)	0,25	13,9	21,4	3,8	0,3	0,1	60,5	24,0	45,3
m <sup>m</sup> pm <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	piaski muliste	4 (3)	0,37	18,0	28,7	3,6	1,6	0,0	48,1	25,3	38,9
m <sup>m</sup> pl <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	piaski ilaste	10 (1)	0,48 0,36	25,4	42,4	0,2	2,6	0,0	29,4	30,8	40,9
m <sup>m</sup> pm <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	piasek-mul-ł	5 (1)	0,36 0,23	15,1	49,3	1,7	5,7	0,0	28,2	25,9	31,3
m <sup>m</sup> lp <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	łły piaszczyste	1 (0)	0,53	—	—	—	—	—	—	—	—
m <sup>m</sup> lm <sup>m</sup> H <sub>3-5</sub>	łły muliste	3 (2)	0,27	10,9	45,3	1,8	3,1	0,1	38,8	22,1	42,6

\* — liczba analiz zawartości mineralów ciężkich

\*\* — liczba analiz składu mineralów ciężkich

wartość średnia  
odchylenie standardowe

Tabela 4

(frakcja 0,25–0,125mm)

przezroczyste ilościowe													
epidot	pirokkeny	dysen	turalin	biotyt	chloryt	apatyt	andaluzyt	syylmanit	staurolit	wezuwian	cyrkon	rutyl	monocyt
8,3	10,3	1,6	0,3	5,1	8,6	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	1,0	0,0	0,0
3,2	5,5	0,0	0,0	27,5	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,1	5,6	0,2	0,4	27,9	38,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
5,5	6,6	0,0	0,0	21,5	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
9,5	9,9	0,4	0,0	13,8	16,3	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0
12,4	8,5	1,1	1,3	2,7	2,6	0,0	0,3	0,2	0,6	0,5	0,4	0,0	0,1
9,8	8,3	0,4	0,4	4,7	10,1	1,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0
6,7	9,2	2,5	0,8	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,8	2,5	0,0
16,5	8,8	1,8	0,0	1,8	10,0	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	2,1	0,0	0,6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,1	10,9	0,3	2,1	1,0	7,4	0,4	0,0	0,0	1,4	0,0	0,7	0,0	0,0

Analizy wykonał R. Pikiś



Tabela 5

Podstawowy skład chemiczny osadów

Symbol wydzienienia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S calk.
B <sub>gr</sub>	gliny zwalowe	6	$\frac{54,56}{6,34}$	$\frac{10,62}{1,62}$	$\frac{0,63}{0,07}$	$\frac{4,69}{1,00}$	$\frac{0,07}{0,01}$	$\frac{2,96}{0,67}$	$\frac{6,05}{2,98}$	$\frac{3,45}{0,90}$	$\frac{1,35}{0,20}$	$\frac{0,14}{0,03}$	$\frac{0,22}{0,06}$
<sup>lg</sup> B <sub>mt-pd</sub>	pleaski muliste	3	$\frac{78,50}{-}$	$\frac{4,67}{-}$	$\frac{0,37}{-}$	$\frac{1,50}{-}$	$\frac{0,02}{-}$	$\frac{0,95}{-}$	$\frac{5,75}{-}$	$\frac{2,04}{-}$	$\frac{0,82}{-}$	$\frac{0,01}{-}$	$\frac{0,12}{-}$
	pieszek-mul-ł	1	$\frac{67,24}{-}$	$\frac{7,33}{-}$	$\frac{0,40}{-}$	$\frac{3,16}{-}$	$\frac{0,04}{-}$	$\frac{1,84}{-}$	$\frac{7,01}{-}$	$\frac{2,72}{-}$	$\frac{1,20}{-}$	$\frac{0,06}{-}$	$\frac{0,15}{-}$
	muły piaszczyste	1	$\frac{57,15}{-}$	$\frac{8,10}{-}$	$\frac{0,60}{-}$	$\frac{4,69}{-}$	$\frac{0,06}{-}$	$\frac{3,10}{-}$	$\frac{9,34}{-}$	$\frac{3,07}{-}$	$\frac{7,35}{-}$	$\frac{0,01}{-}$	$\frac{0,17}{-}$
<sup>b</sup> B <sub>l</sub>	$\left. \begin{array}{l} \text{ły muliste} \\ \text{ły} \end{array} \right\}$ WARTOWOŚĆ	2	$\frac{53,58}{-}$	$\frac{12,55}{-}$	$\frac{0,80}{-}$	$\frac{7,30}{-}$	$\frac{0,05}{-}$	$\frac{3,10}{-}$	$\frac{5,29}{-}$	$\frac{3,77}{-}$	$\frac{1,50}{-}$	$\frac{0,08}{-}$	$\frac{0,30}{-}$
	muły	1	$\frac{75,53}{-}$	$\frac{6,75}{-}$	$\frac{0,60}{-}$	$\frac{4,19}{-}$	$\frac{0,05}{-}$	$\frac{1,84}{-}$	$\frac{2,19}{-}$	$\frac{2,08}{-}$	$\frac{1,50}{-}$	$\frac{0,04}{-}$	$\frac{0,06}{-}$
<sup>gm</sup> PIH <sub>l-m</sub>	muły ilaste	6	$\frac{67,14}{3,97}$	$\frac{7,87}{0,90}$	$\frac{0,70}{0,08}$	$\frac{4,10}{1,05}$	$\frac{0,06}{0,01}$	$\frac{1,90}{0,45}$	$\frac{5,34}{2,65}$	$\frac{2,83}{0,26}$	$\frac{1,74}{0,42}$	$\frac{0,08}{0,04}$	$\frac{0,12}{0,06}$
	ły muliste	5	$\frac{60,17}{5,70}$	$\frac{11,33}{0,92}$	$\frac{0,70}{0,09}$	$\frac{6,86}{0,63}$	$\frac{0,04}{0,01}$	$\frac{2,66}{0,42}$	$\frac{3,82}{1,85}$	$\frac{3,36}{0,76}$	$\frac{1,69}{0,60}$	$\frac{0,09}{0,04}$	$\frac{0,08}{0,03}$
	ły	17	$\frac{47,49}{2,15}$	$\frac{16,21}{2,31}$	$\frac{1,06}{0,10}$	$\frac{8,49}{3,08}$	$\frac{0,07}{0,01}$	$\frac{3,33}{0,46}$	$\frac{3,95}{0,96}$	$\frac{4,76}{0,23}$	$\frac{1,69}{0,16}$	$\frac{0,17}{0,03}$	$\frac{0,10}{0,04}$

<sup>m</sup> H <sub>l-m</sub> 1-2	muły ilaste	1	$\frac{70,71}{-}$	$\frac{9,01}{-}$	$\frac{0,70}{-}$	$\frac{5,31}{-}$	$\frac{0,04}{-}$	$\frac{1,19}{-}$	$\frac{1,22}{-}$	$\frac{3,07}{-}$	$\frac{1,72}{-}$	$\frac{0,12}{-}$	$\frac{0,99}{-}$
	ły muliste	3	$\frac{58,24}{-}$	$\frac{13,99}{-}$	$\frac{0,87}{-}$	$\frac{6,97}{-}$	$\frac{0,06}{-}$	$\frac{2,52}{-}$	$\frac{1,11}{-}$	$\frac{4,10}{-}$	$\frac{2,17}{-}$	$\frac{0,16}{-}$	$\frac{0,49}{-}$
	ły	10	$\frac{52,44}{6,07}$	$\frac{15,32}{1,42}$	$\frac{0,96}{0,05}$	$\frac{9,45}{1,05}$	$\frac{0,08}{0,01}$	$\frac{2,50}{0,65}$	$\frac{1,17}{0,37}$	$\frac{4,56}{0,24}$	$\frac{2,03}{0,13}$	$\frac{0,20}{0,02}$	$\frac{0,26}{0,26}$
<sup>m</sup> H <sub>pd</sub> 3-5	pleaski drobnziarniste	2	$\frac{68,67}{-}$	$\frac{4,01}{-}$	$\frac{0,30}{-}$	$\frac{0,32}{-}$	$\frac{0,21}{-}$	$\frac{0,37}{-}$	$\frac{0,25}{-}$	$\frac{1,21}{-}$	$\frac{0,48}{-}$	$\frac{0,05}{-}$	$\frac{0,89}{-}$
<sup>m</sup> H <sub>pm</sub> 3-5	pleaski muliste	4	$\frac{86,95}{-}$	$\frac{4,58}{-}$	$\frac{0,45}{-}$	$\frac{0,54}{-}$	$\frac{0,01}{-}$	$\frac{0,42}{-}$	$\frac{0,52}{-}$	$\frac{1,86}{-}$	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{0,09}{-}$	$\frac{0,11}{-}$
<sup>m</sup> H <sub>pl</sub> 3-5	pleaski ilaste	5	$\frac{78,65}{5,44}$	$\frac{7,06}{1,35}$	$\frac{0,34}{0,12}$	$\frac{1,98}{1,17}$	$\frac{0,06}{0,06}$	$\frac{0,96}{0,36}$	$\frac{0,59}{0,05}$	$\frac{2,22}{0,29}$	$\frac{1,29}{0,27}$	$\frac{0,21}{0,11}$	$\frac{0,17}{0,05}$
<sup>m</sup> H <sub>pm</sub> 3-5	pieszek-mul-ł	5	$\frac{75,64}{6,02}$	$\frac{6,67}{2,15}$	$\frac{0,50}{0,06}$	$\frac{1,25}{0,15}$	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,74}{0,34}$	$\frac{0,80}{0,22}$	$\frac{2,21}{0,21}$	$\frac{1,44}{0,36}$	$\frac{0,16}{0,04}$	$\frac{0,34}{0,09}$
<sup>m</sup> H <sub>ml</sub> 3-5	muły ilaste	4	$\frac{57,44}{-}$	$\frac{9,71}{-}$	$\frac{0,65}{-}$	$\frac{1,63}{-}$	$\frac{0,03}{-}$	$\frac{1,52}{-}$	$\frac{0,89}{-}$	$\frac{2,88}{-}$	$\frac{2,23}{-}$	$\frac{0,23}{-}$	$\frac{1,12}{-}$
<sup>m</sup> H <sub>lp</sub> 3-5	ły piaszczyste	1	$\frac{64,65}{-}$	$\frac{8,10}{-}$	$\frac{0,70}{-}$	$\frac{2,37}{-}$	$\frac{0,11}{-}$	$\frac{1,51}{-}$	$\frac{1,08}{-}$	$\frac{2,98}{-}$	$\frac{2,50}{-}$	$\frac{0,26}{-}$	$\frac{0,24}{-}$
<sup>m</sup> H <sub>lm</sub> 3-5	ły muliste	11	$\frac{52,84}{4,65}$	$\frac{10,52}{1,65}$	$\frac{0,78}{0,11}$	$\frac{2,70}{2,14}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{1,98}{0,37}$	$\frac{1,26}{0,40}$	$\frac{3,23}{0,37}$	$\frac{2,56}{0,39}$	$\frac{0,28}{0,06}$	$\frac{0,93}{0,31}$
<sup>m</sup> H <sub>l</sub> 3-5	ły	7	$\frac{48,48}{1,20}$	$\frac{9,40}{1,53}$	$\frac{0,81}{0,12}$	$\frac{4,38}{1,97}$	$\frac{0,30}{0,16}$	$\frac{2,05}{0,82}$	$\frac{1,14}{0,15}$	$\frac{3,52}{0,12}$	$\frac{2,94}{0,24}$	$\frac{0,28}{0,02}$	$\frac{1,24}{0,33}$

wartość średnia  
odchylenie standardowe w%



## Uziarnienie

Symbol wydzielenia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	Udział procentowy					
			32,0-16,0	16,0-8,0	8,0-4,0	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5
gz B	gliny zwalowe	9	0,0 0,0	0,0 0,0	0,8 0,8	2,5 3,5	1,5 1,1	1,9 1,0
ml-pd <sup>19</sup> B	piaski drobnoziarniste	1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —
	piaski muliste	5	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
	piaski ilaste	1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —
	piasek-mul-ł	1	0,0 —	0,0 —	0,2 —	0,3 —	0,5 —	0,4 —
	muły piaszczyste	2	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —
	muły	1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —
	muły ilaste	4	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —
ł B	ily warstwe ily muliste ily	2	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,2 —
		3	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,1 —
		12	0,0 0,0	0,0 0,0	0,1 0,1	0,1 0,1	0,1 0,1	0,1 0,1
ł <sup>20</sup> PIH	muły	1	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,0 —	0,1 —
	muły ilaste	8	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,1 0,1	0,1 0,1
	ily muliste	8	0,0 0,0	0,0 0,0	0,1 0,2	0,4 0,4	0,4 0,3	0,5 0,3
	ily	35	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0

Tabela 6

## osadów

frakcji (mm)								Parametry rozkładu wielkości ziarna (wg wzorów R.L. Folka, W.C. Warda, 1957)			
0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,062	0,062-0,031	0,031-0,016	0,016-0,008	0,008-0,004	<0,004	Mz	$\sigma_1$	Sk <sub>1</sub>	K <sub>G</sub>
3,0 2,2	6,8 4,8	7,5 4,5	7,5 3,5	5,1 1,3	9,1 2,5	17,1 18,9	37,2 19,5	—	—	—	—
0,0 —	12,1 —	67,9 —	12,4 —	2,8 —	0,8 —	0,7 —	3,3 —	3,63 —	0,73 —	0,33 —	1,85 —
0,0 0,0	5,6 4,8	53,2 5,8	21,9 6,2	6,1 1,7	3,1 1,1	1,7 1,2	8,4 1,0	4,28 0,13	—	—	—
0,1 —	11,0 —	47,4 —	1,2 —	5,0 —	4,2 —	2,2 —	28,9 —	—	—	—	—
0,4 —	7,6 —	20,7 —	12,9 —	8,2 —	8,8 —	7,5 —	32,5 —	—	—	—	—
0,0 —	2,2 —	26,4 —	28,1 —	10,2 —	10,7 —	7,3 —	15,1 —	—	—	—	—
0,0 —	0,0 —	0,8 —	23,3 —	22,1 —	24,8 —	8,3 —	20,7 —	—	—	—	—
0,1 —	0,2 —	8,6 —	24,4 —	18,7 —	16,6 —	9,7 —	21,7 —	—	—	—	—
0,4 —	0,6 —	1,1 —	9,3 —	7,1 —	24,9 —	22,3 —	34,1 —	—	—	—	—
0,2 —	0,4 —	0,7 —	5,1 —	6,9 —	8,6 —	11,5 —	66,5 —	—	—	—	—
0,2 0,3	0,3 0,5	0,9 0,5	4,8 3,1	1,3 0,4	3,4 1,4	5,0 2,9	83,7 5,1	—	—	—	—
0,4 —	0,5 —	2,2 —	41,9 —	23,7 —	7,4 —	4,2 —	19,6 —	—	—	—	—
0,3 0,3	0,5 0,4	4,3 4,6	22,6 9,7	18,0 2,0	18,6 6,6	8,6 4,5	26,9 3,7	—	—	—	—
0,8 0,4	2,3 1,6	4,4 3,7	6,3 3,6	4,1 3,1	8,7 4,1	17,2 16,0	54,8 5,9	—	—	—	—
0,1 0,1	0,1 0,2	0,6 0,5	2,7 2,6	0,9 0,7	1,7 1,9	3,4 3,1	90,5 5,9	—	—	—	—



Symbol wydziałenia	Typ (podtyp) granulometryczny	Liczba analiz	Udział procentowy					
			32,0-16,0	16,0-8,0	8,0-4,0	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5
$m_{1-2}^m H$	muły ilaste	2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
	iły muliste	11	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,1 0,1
	iły	31	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
$m_{pd}^m H_{3-5}$	piaski drobnoziarniste	4	0,0	0,0	1,1	0,6	0,6	2,2
$m_{pm}^m H_{3-5}$	piaski muliste	7	0,0 0,0	1,5 3,7	0,3 0,3	0,5 0,6	0,6 0,9	1,4 1,4
$m_{pl}^m H_{3-5}$	piaski ilaste	25	0,0 0,0	0,1 0,3	1,0 0,9	1,2 1,3	1,9 1,3	6,1 2,8
$m_{pml}^m H_{3-5}$	piasek-muł-ił	17	0,0 0,0	0,0 0,0	0,1 0,1	0,1 0,1	0,2 0,2	0,8 0,9
$m_{mp}^m H_{3-5}$	muły piaszczyste	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
$m_m^m H_{3-5}$	muły	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$m_{ml}^m H_{3-5}$	muły ilaste	36	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
$m_{lp}^m H_{3-5}$	iły piaszczyste	2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,5
$m_{lm}^m H_{3-5}$	iły muliste	108	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
$m_l^m H_{3-5}$	iły	29	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0

wartość średnia  
odchylenie standardowe w%

Ciąg dalszy tabeli 6

frakcji (mm)								Parametry rozkładu wielkości ziarna (wg wzorów R.L. Folka, W.C. Warda, 1957)			
0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,062	0,062-0,031	0,031-0,016	0,016-0,008	0,008-0,004	<0,004	Mz	$\sigma_1$	Sk <sub>1</sub>	K <sub>g</sub>
0,7	0,9	2,4	23,9	10,1	10,6	8,7	42,2	—	—	—	—
0,2	0,3	1,1	5,9	4,8	9,1	9,8	68,7	—	—	—	—
0,4	0,5	0,5	3,0	3,2	2,5	4,4	4,1	—	—	—	—
0,1	0,1	0,8	3,1	1,5	4,0	8,2	82,2	—	—	—	—
0,1	0,3	0,4	2,4	0,8	1,9	2,1	4,5	—	—	—	—
8,6	19,9	45,9	7,1	1,3	1,5	0,9	10,3	3,45	1,68	0,25	2,61
4,3	6,4	45,9	15,9	3,6	1,9	2,1	15,6	4,56	—	—	—
4,0	4,6	10,7	2,8	1,7	1,0	1,1	3,5	0,8	—	—	—
12,7	16,7	18,4	4,1	1,9	2,9	3,7	29,3	—	—	—	—
5,7	4,0	14,7	3,7	1,1	1,1	1,7	6,8	—	—	—	—
2,3	5,0	25,4	21,2	5,9	5,2	4,6	29,2	—	—	—	—
2,3	7,0	10,3	8,0	1,8	3,7	2,7	8,4	—	—	—	—
1,5	2,8	22,8	46,3	7,4	6,8	3,7	8,4	4,84	—	—	—
0,0	0,0	2,8	12,8	6,3	9,6	61,5	7,0	6,67	—	—	—
0,1	0,3	2,7	22,8	11,3	12,8	10,6	39,4	—	—	—	—
0,3	0,8	3,1	9,6	3,4	4,4	4,7	7,4	—	—	—	—
3,6	5,4	21,2	3,2	2,2	5,1	3,9	53,6	—	—	—	—
0,1	0,3	1,7	7,0	5,5	8,6	12,2	64,6	—	—	—	—
0,5	0,8	2,9	4,3	2,7	2,9	3,4	7,9	—	—	—	—
0,0	0,0	0,4	3,6	2,3	5,4	10,5	77,8	—	—	—	—
0,0	0,0	0,4	1,3	1,1	1,6	2,7	3,4	—	—	—	—

Analizy wykonały: W. Rudeńska  
B. Kotulska



## Bałtyckie jezioro lodowe

łły, łły muliste, muły ilaste, muły — lodowcowomorskie —  $\mu\text{mPiH}$ . Osady bałtyckiego jeziora lodowego należą do najszerszej rozprzestrzenionych i jednorodnych osadów wypełniających Basen Bornholmski. Miąższość ich wynosząca na ogół ok. 4–5 m w południowej części obszaru badań, wzrasta do 7–8 m w części północnej (przekrój C–D). Minimalne miąższości osiąga w części południowo-wschodniej i północno-zachodniej obszaru badań (przekrój E–F, rdzeń 18 K02, 34 R12), gdzie strop osadów bałtyckich jeziora lodowego jest ścięty erozyjnie. W części południowo-zachodniej (przekrój A–B) w stropie tych osadów występują liczne lokalne deniwelacje nie związane z rzeźbą stropu osadów podścielających, co może wskazywać na ich postsedymentacyjne pochodzenie. Lokalnie na wyniesieniach dna osady bałtyckiego jeziora lodowego nie występują (rdzeń 17 RO2).

Osady bałtyckiego jeziora lodowego odznaczają się dużą jednorodnością. Pod względem granulometrycznym są to przeważnie łły, rzadziej łły muliste i muły ilaste (tab. 6), zawierające lokalnie niewielkie domieszki frakcji piaszczystych i pojedyncze ziarna żwiru. Osady barwy brązowej są laminowane i mikrolaminowane, przechodzące w stropowej części w osady homogeniczne (laminacja niewidoczna makroskopowo).

Skład mineralny i chemiczny wskazuje na związki osadów bałtyckiego jeziora lodowego z osadami plejstoceniowymi. Podobnie jak w osadach warwowych, w składzie mineralno-petrograficznym frakcji 1,0–5 mm (tab. 2) przeważają okruchy skał osadowych, a w składzie minerałów ciężkich frakcji 0,25–0,125 mm (tab. 4) najliczniej występują kwasy mineralne przezroczystych, zmienionych i węglany. Wśród minerałów przezroczystych najliczniej występują amfibole, chloryty i biotyt. Analizy derywatograficzne próbek nie rozdzielonych na frakcje wykazały najczęstsze występowanie illitu. Ponadto stwierdzono obecność kwarcu, beidelitu, kaolinitu i kalcytu. Zawartość kalcytu wykazuje duże zróżnicowanie od 0,0% do 21,8%. Najwyższe średnie zawartości kalcytu występują w mułach ilastych (11,5%) i łłach mulistych (6,4%), a najmniejsze w łłach (0,3%). Ponadto węglany częściej występują w spągowych partiach warstwy. Górna część warstwy osadów bałtyckiego jeziora lodowego często nie zawiera węglanów, w ilościach wykrywalnych za pomocą derywatografu. W podstawowym składzie chemicznym dominuje  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (tab. 5). Znaczący jest też udział  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oraz podobnie jak w osadach plejstoceniowych — CaO. Charakterystyczne jest, że zawartości CaO nie wykazują tak dużych wahań jak zawartości węglanów określone metodą derywatograficzną.

Średnie zawartości metali występujących w ilościach śladowych wynoszą:

muły (1 analiza): Fe–30800, Mn–625, Co–11,2, Ni–12900, Cu–23,0, Zn–66,0, Cr–42,0 ppm,

muły ilaste (5 analiz): Fe–30450, Mn–768, Co–17,6, Ni–30,8, Cu–18,1, Zn–187,0, Cr–46,6 ppm,

łły muliste (6 analiz): Fe–38816, Mn–708, Co–41,0, Ni–75,5, Cu–34,4, Zn–193,0, Cr–73,2 ppm,

łły (17 analiz): Fe–61017, Mn–814, Co–35,1, Ni–66,5, Cu–35,0, Zn–185,6, Cr–94,2 ppm.

## Holocen

## Morze yoldiowe i jezioro ancyclusowe

łły, łły muliste, muły ilaste — morskie —  $\mu\text{mPiH}$  1–2. Osady morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego zdeponowane w okresie preborealnym i borealnym występują w południowo-zachodniej części obszaru badań na głębokościach ponad 55 m, a w części południowo-wschodniej większych niż 60–65 m. Osady te, lokalnie nie występują na wyniesieniach dna wewnątrz Basenu Bornholmskiego, położonych na większych głębokościach. Największy taki obszar stanowią przedłużenie Ławicy Południowo-Wschodniej występuje w północno-zachodniej części obszaru, gdzie osady morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego występują poniżej głębokości ok. 80 m (przekrój E–F).

Strop osadów morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego jest na dużych obszarach ścięty abrazyjnie. Zasięg ścięcia abrazyjnego jest bardzo zróżnicowany i nie związany z bałymetrią. W obszarach gdzie strop tych osadów nie jest ścięty abrazyjnie, zalegają one zgodnie na osadach bałtyckiego jeziora lodowego. Miąższość omawianych osadów wynosi na ogół od 2,0 do 3,0 m. W górnej części warstwy (jezioro ancyclusowe) osady są barwy jasnoszarej często z niebieskim odcieniem i zawierają liczne laminy i skupienia siarczków żelaza o czarnym zabarwieniu. Ku dołowi warstwy (morze yoldiowe) — barwa staje się szarobrazowa do jasnobrazowej, a skupienia siarczków żelaza stają się mniej liczne. Pod względem uziarnienia są to, najczęściej łły i łły muliste, sporadycznie muły ilaste. (tab. 6). W składzie mineralnym dominuje illit, ponadto występują chloryty i kwarc oraz miejscami beidelit. Zawartość kwarcu w łłach i łłach mulistych jest niższa niż 30%. Charakterystyczny jest brak węglanów. Zawartość substancji organicznej jest wyższa niż w osadach bałtyckiego jeziora lodowego i wynosi średnio 3,3% w mułach ilastych, łłach mulistych oraz 2,7% w łłach przy odchyleniu standardowym 0,8%

Podstawowy skład chemiczny osadów morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego przedstawiono w tabeli 5. Dominują  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , znaczący jest też udział  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . W stosunku do wcześniej opisanych osadów plejstoceniowych charakterystyczna jest mniejsza zawartość CaO.

Średnie zawartości niektórych metali przedstawiają się następująco:

muły ilaste (1 analiza): Fe–30 600, Mn–421, Co–26,3, Ni–48,8, Cu–22,9, Zn–43, Cr–32,1 ppm,

łły muliste (3 analizy): Fe–59 833, Mn–835, Co–31,7, Ni–58,7, Cu–44,2, Zn–161, Cr–86,6 ppm,

łły (10 analiz): Fe–50 520, Mn–690,6, Co–34, Ni–62,5, Cu–42, Zn–176,2, Cr–86,8 ppm.



Osady morskie środkowego i górnego holocenu powstałe w morzu lityrynowym i bałtyca pokrywają prawie całą powierzchnię obszaru. Jedynie we wschodniej części w pobliżu granicy z arkuszem Ławica Słupska występują dwie niewielkie wychodne osadów wodnolodowcowych. Osady morza lityrynowego i bałtyca charakteryzują się dużym zróżnicowaniem uziarnienia i miąższości, zależnym od rzeźby dna i lokalnych warunków hydrodynamicznych oraz prawdopodobnie tektoniki obszaru. Występują tu piaski drobnoziarniste, piaski muliste, piaski ilaste, muły piaszczyste, osady typu piasek-muł-ił, muły, muły ilaste, ily piaszczyste, ily muliste i ily.

Charakterystykę litologiczną poszczególnych typów i podtypów osadów przedstawiono w tabelach 2–6, a zmienność przestrzenną poszczególnych cech litologicznych powierzchniowej warstwy osadów morza lityrynowego i bałtyca w tablicach II–V.

Miąższość osadów związana jest z typem granulometrycznym. Najmniejsze miąższości (na ogół mniejsze niż 0,2 m) mają piaski drobnoziarniste, piaski muliste, piaski ilaste i muły piaszczyste. Pozycję pośrednią zajmują osady typu piasek-muł-ił oraz muły i ily piaszczyste, których miąższość waha się od ok. 0,2 do ok. 0,5 m. Miąższość mułów ilastych, iłłów mulistych i iłłów waha się w granicach od ok. 0,2 do ok. 5,0 m, przy czym najczęściej, na rozległych równinach akumulacyjnych, miąższość ich wynosi od 3,0 do 4,0 m.

Piaski drobnoziarniste morskie —  $p_{m}^{m}H$  3–5. Występują one w południowo-wschodniej części zalegając cienką warstwą ok. 0,1–0,2 m lokalnie od ok. 0,5 m na erozyjnej powierzchni osadów bałtyckiego jeziora lodowego. Głębokość morza w obrębie występowania piasków drobnoziarnistych wynosi od 50 do 57 m. Piaski te występują też lokalnie w środkowej części obszaru badań, na głębokościach od ok. 70 do ok. 80 m, pokrywając szczytowe części wałów zbudowanych z osadów wodnolodowcowych.

Uziarnienie piasków drobnoziarnistych charakteryzuje się złym wysortowaniem oraz dodatnioskośnym i leptokurtycznym rozkładem wielkości ziarna (tab. 6). Dominuje frakcja 0,125–0,062 mm, a drugą pod względem udziału jest frakcja 0,25–0,125 mm. Znaczący też jest udział frakcji mulistych i ilastych (0,062–0,004 mm) wynoszący średnio 11,4% i 10,3%. Charakterystyczną cechą są również domieszki frakcji żwirowych (2,0–64,0 mm) w ilości od 1,0% do 3,3% (śr. 1,7%). Wartości 1 centyla wahają się od ok. -3,0 do ok. 0,0φ, a wartości mediany od 3,0 do 3,5φ.

Piaski muliste morskie —  $p_{m}^{m}H$  3–5. Podobnie jak piaski drobnoziarniste, piaski muliste występują na południowym wschodzie na głębokości morza od ok. 52 m do ok. 60 m oraz w części południowo-zachodniej na głębokościach do ok. 52 m. Miąższość piasków mulistych jest mała, nie przekracza na ogół 0,2 m. Podobnie jak piaski drobnoziarniste zalegają one na erozyjnej powierzchni osadów bałtyckiego jeziora lodowego.

W rozkładzie wielkości ziarna piasków mulistych dominuje frakcja 0,125–0,062 mm, drugą pod względem udziałów jest frakcja 0,062–0,031 (tab. 6). Podobnie jak w piaskach drobnoziarnistych charakterystyczną cechą uziarnienia jest domieszka frakcji żwirowych, maksymalnie do 13,0% (śr. 2,3%). Wartości 1 centyla wahają się od ok. -4,0 do ok. 2,0φ, a wartości mediany od 3,1 do 3,9φ.

Piaski ilaste morskie —  $p_{m}^{m}H$  3–5. Osady te występują w środkowej części Basenu Bornholmskiego na wyniesieniu dna stanowiącym przedłużenie Ławicy Południowo-Wschodniej z północnego zachodu na południowy wschód. Wśród piasków ilastych, spotyka się tu też lokalnie źle wysortowane piaski różnoziarniste z domieszką frakcji mulistych i ilastych. Głębokości morza w tym rejonie wynoszą od 70 m na północnym zachodzie do ok. 80 m na południowym wschodzie, w centralnej części Basenu Bornholmskiego. Drugą strefą występowania piasków ilastych są zbocza wałów zbudowanych z osadów wodnolodowcowych, ciągnących się z północnego wschodu na południowy zachód. Lokalnie w szczytowych partiach wałów zbudowanych z osadów wodnolodowcowych, brak jest osadów bałtyckiego jeziora lodowego i w związku z tym piaski ilaste a czasem piaski drobnoziarniste morskie, leżą bezpośrednio na osadach wodnolodowcowych. Głębokości morza w tej strefie również wahają się od ok. 70 do ok. 80 m. Obie opisane strefy łączą się ze sobą w środkowej części obszaru. W obu strefach piaski ilaste zalegają na erozyjnej powierzchni osadów bałtyckiego jeziora lodowego. Piaski ilaste występują też lokalnie na wyniesieniach dna w północnej części obszaru na głębokościach od ok. 87 do ok. 92 m.

Piaski ilaste odznaczają się bardzo złym wysortowaniem. W rozkładzie wielkości ziarna brak frakcji wyraźnie dominującej. Wśród frakcji piaszczystych (2,0–0,062 mm) najliczniej występują ziarna o wielkościach od 0,25 do 0,062 mm (tab. 6), stanowiąc łącznie średnio 34,8%. Od piasków mulistych różnią się większymi domieszkami frakcji piasku średnio- i gruboziarnistego oraz większym udziałem frakcji ilastych (0,004 mm) przy mniejszej zawartości frakcji mulistych (0,062–0,004 mm) (tab. 6). Domieszki frakcji żwirowych są średnio takie same jak w piaskach mulistych. Wartości 1 centyla wahają się od ok. -3,0 do ok. 2,3φ, a wartości mediany od 3,5 do 6,2φ.

Z piaskami ilastymi związane jest występowanie konkrecji żelazowo-manganowych. Konkrecje narastające wokół jądra z ziarna żwiru, mają najczęściej kształty miseczkowate i dyskoidalne, osiągając średnicę do ok. 10 cm.

Piasek-muł-ił — osady morskie —  $p_{m}^{m}H$  3–5. Osady tego typu występują wąską strefą pomiędzy piaskami mulistymi i mułami piaszczystymi z jednej strony, a mułami ilastymi z drugiej, w południowo-wschodniej i południowo-zachodniej części obszaru. W części południowo-zachodniej leżą one na głębokościach od ok. 52 do ok. 57 m, a w części południowo-wschodniej od ok. 57 do ok. 65 m.

Podobnie jak poprzednie typy osadów występują na erozyjnej powierzchni osadów bałtyckiego jeziora lodowego, morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego, również wówczas gdy lokalnie pojawiają się wewnątrz Basenu Bornholmskiego. Miąższość osadów typu piasek-muł-ił jest niewielka, wahająca się od ok. 0,1 do 0,5 m. Uziarnienie osadów odznacza się szerokim rozrzutem średnic ziarna. Średnie zawartości frakcji są następujące: frakcje żwirowe (64,0–2,0 mm) — 0,2%, frakcje piaszczyste (2,0–0,062 mm) — 33,8%, frakcje muliste (0,062–0,004 mm) — 36,9%, frakcje ilaste (<0,004 mm) — 29,1%. Wartości 1 centyla wahają się od ok. -1,0 do ok. 3,4φ, a wartości mediany od 3,7 do 6,4φ.

Muły piaszczyste morskie —  $m_{p}^{m}H$  3–5. Osady te występują na niewielkich powierzchniach dna w części południowo-wschodniej i południowo-zachodniej obszaru. Miąższość tych osadów, zalegających na erozyjnych powierzchniach osadów bałtyckiego jeziora lodowego, morza yoldiowego i jeziora ancyclusowego wynosi ok. 0,2



m w części południowo-wschodniej i ok. 0,5–1,0 m w części południowo-zachodniej. Głębokości morza w obszarze występowania mułów piaszczystych wynoszą od ok. 52 do ok. 55 m w części południowo-zachodniej i od ok. 58 do ok. 63 m w części południowo-wschodniej.

Uziarnienie mułów piaszczystych odznacza się dominacją frakcji 0,062–0,031 mm i znaczną domieszką frakcji 0,125–0,062 mm (tab. 6). Wartości 1 centyla wahają się od 1,1 do 2,9 $\phi$ , a wartości mediany od 4,4 do 4,6 $\phi$ .

**Muły morskie** —  $\overset{m}{m}H_{3-5}$ . Występowanie mułów stwierdzono w jednej próbie pobranej w zachodniej części obszaru badań z głębokości ok. 71 m. Zalegają one na erozyjnej powierzchni osadów bałtyckiego jeziora lodowego. Miąższość mułów w miejscu pobrania próbki wynosiła 0,2 m. Zawartość frakcji mulistych (0,062–0,004 mm) wynosi 90,2%. Dominują ziarna o średnicach 0,008–0,004 mm. Wartość 1 centyla wynosi 3,7 $\phi$ , a mediany 7,2 $\phi$ .

**Muły ilaste morskie** —  $\overset{m}{m}H_{3-5}$ . Osady te zajmują największe powierzchnie dna w południowo-zachodniej części obszaru na głębokościach od ok. 53 do ok. 65 m lokalnie do ok. 67 m. Drugim rejonem występowania mułów ilastych jest południowo-wschodnia część obszaru, gdzie występują na głębokościach od ok. 62 do ok. 72 m rozdzielając strefę osadów typu piasek-muł- $\mu$  od  $\mu$ ów mulistych. Zawartość frakcji mulistych (0,062–0,004 mm) waha się od 45,7 do 74,8%, a frakcji ilastych od 20,5 do 49%. Wartości 1 centyla wynoszą od 1,5 do 4,4 $\phi$ , a mediany od 4,9 do 8,0 $\phi$ .

**Iły piaszczyste morskie** —  $\overset{p}{p}H_{3-5}$ . Iły piaszczyste występują lokalnie w sąsiedztwie piasków ilastych. Leżą one na podobnych głębokościach i odznaczają się podobną miąższością jak piaski ilaste. W rozkładzie wielkości ziarna dominują frakcje ilaste (<0,004 mm) stanowiące od 52,6 do 54,8%. Domieszka frakcji piaszczystych waha się od 29,6 do 34,3%. Wśród frakcji piaszczystych dominują ziarna o średnicach, od 0,125 do 0,062 mm (tab. 6). Wartości 1 centyla wahają się od 0,3 do 3,0 $\phi$ , a wartości mediany od 7,9 do 8,0 $\phi$ .

**Iły muliste morskie** —  $\overset{m}{m}H_{3-5}$ . Iły muliste należą do najszerzej rozprzestrzenionych osadów wypełniających Basen Bornholmski. Na ogół występują na głębokościach większych niż 65–70 m, tylko w części południowo-zachodniej występują wśród mułów ilastych na głębokościach od ok. 55 do ok. 58 m. Iły muliste, podobnie jak muły ilaste i  $\mu$ ły, zalegają niezgodnie na osadach podłoża, wypełniając zagłębienia i budując rozległe równiny akumulacyjne. Dominujące frakcje ilaste (<0,004 mm) występują w ilościach od 50% do 75%, a frakcje muliste w ilości od 21% do 47%. Wartości pierwszego centyla wynoszą od 1,6 do 4,7 $\phi$ , a mediany od 7,1 do ok. 9,0 $\phi$ .

**Iły morskie** —  $\overset{m}{m}H_{3-5}$ . Osady te występują w południowej części obszaru w formie niedużych pól wśród  $\mu$ ów mulistych, na głębokościach od ok. 70 do ok. 78 m. W części północnej pola  $\mu$ ów występujące wśród  $\mu$ ów mulistych osiągają większe rozmiary. Iły morskie występują na głębokościach od ok. 82 m do ok. 95 m. Zawartości frakcji ilastych (<0,004 mm) występują w ilości od 75,1 do 94,1%. Wartości 1 centyla wahają się od 3,9 do 4,7 $\phi$ , a mediany przekraczają 8 $\phi$ .

\* \* \*

Skład mineralny wszystkich opisanych typów granulometrycznych, zależny od uziarnienia jest stały, zmieniają się jedynie stosunki ilościowe poszczególnych składników. W składzie frakcji 1,0–0,5 mm występującej jako domieszka, często bardzo mała, we wszystkich typach granulometrycznych oprócz  $\mu$ ów, zdecydowanie dominuje kwarc (tab. 2). Dominacja kwarcu oraz mały udział okruszków skał osadowych wyróżnia osady morza lityrnowego oraz osadów lodowcowych, wodnolodowcowych, lodowcowo-jeziornych i lodowcowo-morskich. Zawartość mineralów ciężkich frakcji 0,25–0,125 mm we wszystkich typach granulometrycznych osadów jest mała i nie przekracza na ogół 0,5% (tab. 4).

Wśród mineralów ciężkich występujących w piaskach i w piaskach mulistych dominują minerały przezroczyste, a w piaskach ilastych i pozostałych typach o drobniejszej granulacji — minerały zmienione. Wśród mineralów przezroczystych najliczniej występują amfibole, granaty, epidot, pirokseny i chloryty. Od osadów wcześniejszych faz rozwojowych Bałtyku i osadów glacialnych i wodnolodowcowych osady te różnią się zdecydowanie niższą zawartością węglanów i biotytu oraz nieco większą zawartością mineralów nieprzezroczystych (tab. 4). Analiza derywatograficzna wykazała powszechne występowanie zespołu mineralów: illit, kwarc, chloryty. Analiza dyfraktometryczna wykazała ponadto występowanie kaolinitu i skaleni. Kwarc i skalenie występują przede wszystkim we frakcjach większych niż 0,016 mm. We frakcjach 0,016–0,001 mm zawartość kwarcu szybko maleje, a wzrasta zawartość mineralów ilastych — głównie illitu. We frakcjach drobniejszych niż 0,001 mm brak jest skaleni a kwarc występuje w ilościach śladowych. Frakcje te (<0,001 mm) dominujące wśród cząstek ilastych, tj. drobniejszych niż 0,004 mm i składają się głównie z illitu oraz mniejszych ilości kaolinitu i chlorytu.

Istotny składnik osadów, jakim jest substancja organiczna, również wyraźnie zależy od uziarnienia.

Średnie zawartości substancji organicznej i odchylenia standardowe w poszczególnych typach osadów przedstawiają się następująco: piaski drobnoziarniste — 1,3% (2 analizy), piaski muliste — 2,2% (4 analizy), piaski ilaste — 3,1% (5 analiz), piasek-muł- $\mu$  — 5,2% (5 analiz),  $\mu$  piaszczysty — 8,4% (1 analiza), muły ilaste — 9,3% (5 analiz),  $\mu$ ły muliste — 9,9 $\pm$ 2,2% (15 analiz),  $\mu$ ły — 10,9 $\pm$ 0,8% (8 analiz).

Podstawowy skład chemiczny odzwierciedla zmiany ilościowe w składzie mineralnym związane z uziarnieniem osadów. Zawartość SiO<sub>2</sub> wynosząca w piaskach drobnoziarnistych średnio 88,67% (tab. 5) obniża się w  $\mu$ łach do 48,48%. Odwrotnie zachowuje się Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, którego zawartość wzrasta od 4,01% w piaskach do 9,40% w  $\mu$ łach, oraz tenki innych metali występujące w mniejszych ilościach (tab. 5). Istotną cechą wyróżniającą osady morza lityrnowego i bałtyka od osadów plejstoceny oraz osadów bałtyckiego jeziora lodowego jest mniejsza zawartość CaO. Metale śladowe: miedź, cynk, ołów, nikiel, kobalt, stront, również wykazują tendencję do koncentracji we frakcjach drobniejszych.

Średnie zawartości tych metali w poszczególnych typach granulometrycznych osadów przedstawiają się następująco:



piaski drobnoziarniste (2 analizy): Cu-105, Zn-60, Pb-35, Ni-10, Co-5, Ba-75, Sr-10 ppm,

piaski muliste (4 analizy): Cu-98, Zn-68, Pb-30, Ni-10, Co-5, Ba-75, Sr-10 ppm,

piaski ilaste (3 analizy): Cu-120, Zn-106, Pb-33, Ni-17, Co-10, Ba-283, Sr-67 ppm,

piasek-muł-ii (5 analiz): Cu-100, Zn-86, Pb-39, Ni-18, Co-7, Ba-510, Sr-100 ppm,

ii piaszczysty (2 analizy): Cu-100, Zn-115, Pb-60, Ni-30, Co-15, Ba-425, Sr-55 ppm,

muł ilasty (6 analiz): Cu-110, Zn-88, Pb-35, Ni-37, Co-18, Ba-758, Sr-133 ppm,

ii mulisty (10 analiz): Cu-101, Zn-119, Pb-48, Ni-40, Co-18, Ba-600, Sr-119 ppm,

ii (7 analiz): Cu-107, Zn-91, Pb-50, Ni-44, Co-26, Ba-714, Sr-127 ppm.

Barwa osadów związana ze składem mineralnym i chemicznym, zmienia się od jasnoszarej i szarej czasem z brunatnym odcieniem w piaskach drobnoziarnistych, piaskach mulistych, piaskach ilastych i mułach piaszczystych do ciemnoszarej z odcieniem oliwkowym w osadach typu piasek-muł-ii, mułach, mułach ilastych, iiach mulistych i iiach. Ostatnie trzy typy mają czasami również barwę czarną. Zabarwienie osadów zależy głównie od zawartości substancji organicznej i stopnia utlenienia związków żelaza.

Wyraźny oliwkowy odcień występuje w osadach odznaczających się zawartością substancji organicznej w ilości powyżej 5%, występującej w obecności tlenu. W środowisku beztlenowym osady te mają zabarwienie ciemne powodowane przez rozproszone, związane przez substancję organiczną, bezpostaciowe siarczki żelaza. Osady o mniejszym stopniu zawartości substancji organicznej mają zależnie od stopnia natlenienia wód przydennych barwę szarą lub jasnoszarą. Przy dobrym natlenieniu występują na powierzchni osadu wytrącenia tlenków żelaza o rdzawym lub brunatnym zabarwieniu.

## ROZWÓJ BUDOWY GEOLOGICZNEJ

W podłożu osadów plejstoceniowych występują prekambryjskie skały krystaliczne oraz osady sylurskie, kredowe i trzeciorzędowe. Zebrane w trakcie badań dane nie pozwalają na interpretację zdarzeń zachodzących przed okresem kredowym na badanym obszarze.

W okresie kredowym na obszarze obejmującym arkusze Rønne i Nexø występował zbiornik morski w którym odłożyły się miąższe i szeroko rozprzestrzenione osady piaszczyste, widoczne na profilach sejsmoakustycznych i nawiercone w otworze 2 NE. Morze znajdowało się tu również w okresie paleogenu. Świadczą o tym osady paleocenu nawiercone w pobliżu południowych granic arkuszy Rønne i Nexø (Sz. Uścińowicz 1989a, Z. Jurowska, R. Kramarska 1990) oraz osady eocenu stwierdzone w otworze wiercniczym 13 (R. Kramarska, 1992) położonym na wschód od południowo-wschodniej części obszaru arkusza Nexø.

Strop osadów występujących w podłożu plejstocenu ma wyraźnie erozyjny charakter. Procesy erozji zostały zapoczątkowane w neogenie, kiedy to obszar południowego Bałtyku był lądem. Procesy erozji prawdopodobnie znacznie bardziej intensywne zachodziły w czasie kolejnych zlodowaceń plejstoceniowych. Wówczas to powstały na powierzchni osadów przedczwartorzędowych rozległe powierzchnie egzaracyjne oraz lokalnie — wcięcia dolinne. Osady trzeciorzędowe zostały prawie całkowicie zniszczone. W plejstocenie w czasie kolejnych zlodowaceń na obszarze Basenu Bornholmskiego przeważały procesy egzaracji. Świadczy o tym mała miąższość osadów czwartorzędu, tj. glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego, na ogół nie przekraczająca 5 m. Osady starszych zlodowaceń (nie udokumentowane bezpośrednio) występują prawdopodobnie tylko lokalnie w zagłębieniach stropu osadów przedczwartorzędowych. Cienka warstwa glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego jest dwudzielna. Gлина dolna, piaszczysta i zwarta, jak wskazują datowania metodą TL, została zdeponowana w początkach ostatniego zlodowacenia. Gлина górna, ilasta i plastyczna, powstała prawdopodobnie w czasie ostatniej deglacacji i korelować ją można z wyróżnioną przez A.I. Błażczyszyna (1985) moreną ablacijną. W czasie zlodowacenia północnopolskiego, prawdopodobnie w jego okresie schyłkowym podczas deglacacji, powstał w wyniku akumulacyjnej działalności wód roztopowych ciąg wałów zbudowanych z osadów piaszczystych i mulistych. Przebieg wałów i zaleganie budujących je osadów bezpośrednio na skałach przedczwartorzędowych wskazują, że były one zdeponowane w szczelinach lądolodu sięgających podłoża. Forma wałów sugeruje, że mogą to być ozy, jednak materiał z których są zbudowane nie jest typowym materiałem ozów. Zasięg formy wybiegający w kierunku północno-wschodnim daleko, poza granice obszaru arkuszy, oraz widoczne na przekrojach sejsmoakustycznych (przekrój E-F) uskoki w podłożu wału wskazują, że występowanie szczelin w lądolodzie związane było z dużym systemem aktywnych uskoku o przebiegu NE-SW.

Ostateczna deglacacja obszaru badań nastąpiła 16 300 ± 240 – 14 060 ± 220 lat BP. Okres ten wyznaczają: najmłodsza data otrzymana metodą TL (UG-784) dla glin zwałowych, pobranych na południe od południowej granicy obszaru badań oraz najstarsza data otrzymana metodą <sup>14</sup>C (Gd 2928) dla torfów występujących w rejonie na południe od Ławicy Odrzanej (R. Kramarska, 1992).

Okres deglacacji obszaru badań zaznaczył się powstaniem dwóch ciągów wzniesień, prawdopodobnie moren czołowych. Starszy z nich, występujący w południowo-wschodniej części obszaru badań może być korelowany z morenami Ławicy Słupskiej. Wiek i przebieg poza arkuszem Nexø, północnego — młodszego ciągu wzniesień nie jest znany.

W miarę postępów deglacacji w obrębie Basenu Bornholmskiego, na przedpolu lądolodu tworzyły się jeziora przykrawędziowe w których powstawały osady warwowe. Nieregularny i zaburzony układ warw oraz występowanie domieszek piasku i żwirów oraz grudek (wkładek) ilów wskazuje, że sedymentacja zachodziła w bliskiej odległości od krawędzi lądolodu. Występowanie osadów warwowych na głębokościach większych niż 60 m wskazuje, że powstawały one głównie w lokalnych zbiornikach przykrawędziowych, przed połączeniem zastoisk Basenu Bornholmskiego i Basenu Gdańskiego. Sedymentacja warwowa trwała prawdopodobnie również w początkach bałtyckiego jeziora lodowego powstałego przez



połączenie się lokalnych zastolsk przykrawędziowych. W miarę postępów deglacjacji i wycofywania się krawędzi lodolodu warwy stają się coraz cieńsze. Osady bałtyckiego jeziora lodowego są w części dolnej mikrowarwowe (mikrolaminowane), a w części górnej homogeniczne. Na lodowcowomorski (lodowcowojeziorny) charakter sedymentacji wskazuje występowanie w osadach wkładek piaszczystych (ang. sandy pocket) oraz pojedynczych ziarn żwiru. Według danych geochemicznych (T. Szczepańska 1986) charakter zbiornika był na ogół słodkowodny.

Związek z wodami oceanicznymi, o ile istniał, był krótki i nie zaznaczył się wyraźnie w cechach chemicznych osadów. Regresja bałtyckiego jeziora lodowego około 10 163 BP (H. Ignatius i in. 1981) kończąca tę fazę rozwoju Bałtyku zaznaczyła się procesami erozji niszczącymi stropową część osadów zdeponowanych w tym zbiorniku. Erozją objęte zostały osady bałtyckiego jeziora lodowego występujące na obrzeżach Basenu Bornholmskiego w południowo-wschodniej, południowo-zachodniej i północno-zachodniej części obszaru badań, oraz lokalnie wyniesienia dna wewnątrz Basenu. Centralne części Basenu nie zostały objęte erozją. Dokładny zasięg tych procesów jest trudny do ustalenia w związku z powtarzającymi się procesami erozji w młodszych fazach rozwojowych Bałtyku.

Morze yoldiowe i jezioro ancylusowe pozostawiło osady, których cechy wskazują na spokojne warunki sedymentacji. Ocieplenie klimatu spowodowało rozwój życia organicznego, co zostało zarejestrowane w osadach przez podwyższoną, w stosunku do osadów bałtyckiego jeziora lodowego, zawartością substancji organicznej. Uzyskane wyniki badań geochemicznych i okrzemkowych nie dostarczyły jednoznacznych danych o stopniu zasolenia wód ówczesnych zbiorników. Skład kompleksu sorpcyjnego osadów preborealnych (korelowanych z morzem yoldiowym) jest charakterystyczny dla zbiorników słonowodnych (T. Szczepańska 1986). W osadach tych nie stwierdzono flory okrzemek (K. Zaborowska 1990). Osady borealne jeziora ancylusowego, zawierają okrzemki typowe dla wód słodkich, natomiast skład kompleksu sorpcyjnego wskazuje na środowisko słonowodne. Sprzeczność tę można wyjaśnić dyfuzją wód porowych z osadów morza litorynowego. Nie jest znany zasięg tych procesów dyfuzji w głąb osadów, w związku z czym nie można stwierdzić czy skład kompleksu sorpcyjnego osadów preborealnych jest pierwotny, czy też został zmodyfikowany przez procesy dyfuzji. Wyniki analiz palinologicznych (J. Zachowicz 1990) i okrzemkowych (K. Zaborowska 1990) wskazują na istnienie fazy przejściowej pomiędzy jeziorem ancylusowym a morzem litorynowym we wczesnym okresie atlantyckim (K. Aker i in. 1988). Okres ten charakteryzuje się wyraźnym ociepleniem klimatu, (pojawiają się ciągłe krzywe drzew ciepłolubnych — dębu, wiązu, lipy), co znalazło odzwierciedlenie w osadach. Osady te zachowane w centralnych obniżonych częściach Basenu Bornholmskiego, gdzie istniała ciągłość sedymentacji, mają barwę jasnoszarą z odcieniem zielonkawym i zawartość substancji organicznej tylko nieco niższą od osadów morza litorynowego. Osady te zbliżone pod względem litologicznym do osadów litorynowych, zawierają głównie okrzemki słodkowodne i słonowodne z przewodnim gatunkiem *Mastogloia*. Reprezentują one fazę przejściową pomiędzy jeziorem ancylusowym a morzem litorynowym. Regresja kończąca istnienie jeziora ancylusowego i początek transgresji litory-

nowej zaznaczyła się na dużych obszarach obrzeży Basenu Bornholmskiego procesami erozji. Osady jeziora ancylusowego zostały w wielu miejscach zniszczone całkowicie lub częściowo. Procesy te zaznaczyły się powstaniem warstewki piasku na granicy ilastych i mulistych osadów ancylusowych i litorynowych. Głębokości morza, do których sięgnęły procesy erozji, są różne w różnych częściach basenu, co wskazuje, że istotniejszym czynnikiem były lokalne warunki morfologiczne, tj. ekspozycja wyniesień dna i zboczy basenu na przeważające prądy przydenne, aniżeli ogólne uwarunkowania dynamiki przydennych mas wodnych związane z poziomem wody w basenie. Procesy zapoczątkowane w początkach transgresji morza litorynowego zachodzą również we współczesnym Bałtyku, nazywanym przez W. Gudelisa (1982) i R. Kotlińskiego (1989) morzem bałtica.

Na dużych obszarach dna objętych procesami erozji na przełomie faz ancylus – litoryna, również obecnie, nie występują pokrywy akumulacyjne osadów mulisto-ilastych morza litorynowego i bałtica. Całe, objęte, badaniami, dno morskie położone jest bądź na styku pinokliny z dnem (głębokości ok. 50–70 m) bądź poniżej pinokliny, co określa głębokomorskie środowisko sedymentacji osadów współczesnych. Osady zdeponowane w tym obszarze zawierają więcej niż 5% frakcji drobniejszych niż 0,062 mm. Na podstawie analizy zespołu cech litologicznych osadów w powiązaniu z warunkami hydrologicznymi wyróżniono następujące obszary (strefy) różniące się dominującymi procesami litodynamicznymi i przedstawiono je na mapie litodynamiki.

#### Obszar głębokomorski

Strefa depozycji ciągłej (lokalnie okresowej) mulów, mulów ilastych, ilów mulistych i ilów zajmuje centralne obniżone części obszaru badań gdzie w całym późnym glacialu i holocenie występowała ciągłość sedymentacji.

Osady tej strefy występują też na obrzeżach Basenu Bornholmskiego, wkraczając częściowo na obszary objęte erozją na przełomie ancylusa i litoryny. Uziarnienie osadów, należących wg diagramu C-M (Passega R., Byramje R., 1969) do typu VIII czasami VI wskazuje na spokojne warunki sedymentacji pozwalające na depozycję cząstek drobniejszych niż 0,062 mm z zawiesiny jednorodnej, co przy częstych niedoborach tlenu w wodach przydennych sprzyja gromadzeniu się substancji organicznej.

Strefa depozycji okresowej piasków mulistych, mulów piaszczystych, osadów typu piasek-mul-ił i ilów piaszczystych występuje na obrzeżach Basenu Bornholmskiego w południowo-zachodniej części obszaru badań do głębokości ok. 55 m, a w części południowo-wschodniej do głębokości ok. 65 m. Osady występujące w tej strefie należą wg diagramu C-M głównie do typu VI, lokalnie do VII lub IX. Wskazuje to na złożone procesy sedymentacji. Osady składają się z mieszaniny frakcji mulistych i ilastych deponowanych z zawiesiny jednorodnej oraz frakcji piaszczystych transportowanych i deponowanych z zawiesiny frakcjonalnej. Strefa ta stanowi obszar przejściowy pomiędzy strefą depozycji ciągłej osadów mulisto-ilastych, poniżej pinokliny, a strefą redepozycji piasków drobnoziarnistych piasków mulistych i piasków ilastych znajdujących się pod wpływem fal wewnętrznych rozwijających się w obrębie pinokliny.



Strefa o przewodze redepozycji piasków drobnoziarnistych, piasków mulistych i piasków ilastych występuje podobnie jak strefa poprzednia na obrzeżu Basenu Bornholmskiego w części południowo-wschodniej obszaru na głębokościach ok. 57–62 m. Duże obszary o przewodze redepozycji osadów piaszczystych, piaszczysto-mulistych i piaszczysto-ilastych, występują też na przedłużeniu Ławicy Południowo-Wschodniej biegnącym w kierunku NW na SE przez środek Basenu Bornholmskiego oraz na innych wyniesieniach dna wewnątrz basenu.

Wartość 1 centyla i mediana, kwalifikują najczęściej osady tej strefy do typu III (wg diagramu C-M). Stwierdzono również występowanie typu II i I. Charakterystycznymi cechami osadów tej strefy są: mała miąższość (najczęściej od 0,05 do 0,2 m), oraz występowanie domieszek frakcji piasku średnio- i gruboziarnistego (od 0,25 do 2,0 mm) w ilości od ok. 10 do ok. 40% i frakcji drobnoziarnistych (2,0–8,0 mm) najczęściej w ilości ok. 1–2%. Udział frakcji mulistych i ilastych (<0,062 mm) waha się w szerokim zakresie od ok. 10 do ok. 50%.

Uziarnienie osadów odzwierciedla skomplikowane procesy litodynamiczne. Prawdopodobnie okresowo w strefie tej występują prądy o prędkościach pozwalających na transport w zawieszynie frakcjonalnej oraz przez wleczenie i toczenie ziarn o średnicach do ok. 2–4 mm. Większe okruchy skalne prawdopodobnie nie są transportowane, na wielu z nich występują otoczki i naloty tlenków żelaza i manganu. Również jądra kongrecji stanowią na ogół okruchy większe niż ok. 4 mm. W okresach spokoju i stagnacji następuje sedymentacja cząstek drobniejszych niż 0,062 mm, które następnie w okresach wzmożonej aktywności hydrodynamicznej są erodowane i mieszanne z frakcjami piaszczystymi.

Frakcje żwirowe i piaszczyste zostały wymyte prawdopodobnie z osadów bałtyckiego jeziora lodowego przez procesy zachodzące przy niższym poziomie morza. Możliwe, że w północno-zachodnią część obszaru zostały przetransportowane z Ławicy Południowo-Wschodniej, a w rejonie południowo-wschodnie z Ławicy Słupskiej. W rejonie południowo-wschodnim omawiana strefa położona jest w górnej części pinokliny i znajduje się pod wpływem fal wewnętrznych i prądów z nimi związanych.

Obszary redepozycji piasków ilastych, występujących w północno-zachodniej części arkusza Nexø i wewnątrz Basenu Bornholmskiego, znajdują się poniżej pinokliny. Bezpośredni wpływ fal wewnętrznych jest więc słabszy, a cechy litologiczne osadów kształtowane są prawdopodobnie głównie przez prądy przydenne związane z wlewami wód oceanicznych. Wskazuje na to również występowanie kongrecji Fe-Mn powstających na obszarach, gdzie wody przydenne są dobrze natlenione i występują prądy przydenne uniemożliwiające trwałą depozycję osadów mulisto-ilastych.

Strefa okresowej abrazji wychodni osadów wodnolodowcowych występuje we wschodniej części badanego obszaru. W rejonie tym występują najwyższe kulminacje wałów zbudowanych z piasków i mulów pochodzenia wodnolodowcowego. Abradowane są wzniesienia oraz ich północno-zachodnie zbocza znajdujące się pod okresowym wpływem fal wewnętrznych oraz prądów związanych z wlewami wód z Morza Północnego. Północno-zachodnie zbocza eksponowane są na przeważające kierunki ruchu wód przydennych powiązanych z wlewami, przemieszczających się przez północną część Basenu Bornholmskiego w kierunku Rynny Słupskiej. Tezę

tę zdaje się potwierdzać fakt, że strefa ciągłej sedymentacji mulów i ilów morza lityrnowego i baltica występuje po północno-zachodniej stronie wałów o ok. 2–5 m niżej niż po stronie południowo-wschodniej.

Frakcje piaszczyste wymyte z osadów wodnolodowcowych przenoszone są na niewielkie odległości i deponowane na zboczach i u podnóża wałów.

Poza procesami hydrodynamicznymi warunkującymi procesy erozji i akumulacji, istotny wpływ na miąższość osadów deponowanych od początku postglacialnej historii rozwoju Morza Bałtyckiego ma tektonika obszaru. Minimalne miąższości osadów późnoglacialnych i holocenijskich występują na obszarach wyniesionych tektonicznie (przekrój E-F).

## CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNO-SUROWCOWA

**Surowce piaszczyste.** Piaski (p) zajmują niewielkie powierzchnie w południowo-wschodniej części obszaru badań oraz szczytowe partie wałów wodnolodowcowych. W obu rejonach są to piaski drobnoziarniste, o miąższości mniejszej niż 0,5 m i zawartości krzemionki poniżej 80%, co dyskwalifikuje je jako potencjalne źródła surowców.

**Surowce ilaste.** Obszary występowania surowców ilastych związane są z osadmi bałtyckiego jeziora lodowego, morza yoldiowego i jeziora ancylusowego występującymi na południowym wschodzie, południowym zachodzie, północnym zachodzie obszaru badań oraz lokalnie na niewielkich obszarach wewnątrz Basenu Bornholmskiego. Iły (i) te leżą na głębokościach większych niż 50 m i są przysłonięte cienką (do 20 m) warstwą piasków drobnoziarnistych, piasków mulistych i ilastych. Podstawowe cechy tego surowca przedstawiają się następująco:

frakcja <0,062 mm — ±84,6–100%,  
frakcja >2,0 mm — 0,0–1,6%,  
CaCO<sub>3</sub> — 0,0–21,8%,  
straty prażenia — 5,3–16,0%,  
substancja organiczna — 1,0–3,6%,  
S — 0,0–0,21%.

Osady o zawartości frakcji <0,062 mm przekraczającej 50%, zawartości substancji organicznej większej niż 2% (*I<sub>org</sub>*) i miąższości powyżej 0,2 m zalegają na przeważającej części dna morskiego w obszarze arkuszy Rønne i Nexø. Na obszarach perspektywicznych miąższość ich przekracza 1 m, a zawartość substancji organicznej jest wyższa niż 5%. Podstawowe cechy tego surowca w obszarach perspektywicznych kształtują się następująco:

frakcja <0,062 mm — 86,8–99,9%,  
frakcja >2,0 — 0,0%,  
CaCO<sub>3</sub> — 0,0%,  
straty prażenia — 8,9–21,0%,  
substancja organiczna — 5,2–11,0%,  
S — 1,0–1,41%.



**Konkrecje żelazowo-manganowe.** Występowanie konkrecji żelazowo-manganowych (Fe-Mn) związane jest z osadami ilastymi zalegającymi w północno-zachodniej części obszaru arkusza Nexø oraz na zboczach wałów osadów wodnolodowcowych. Konkrecje są rozproszone na niewielkich polach dna morskiego. Zawartości graniczne metali w konkrecjach przedstawiają się następująco:

Fe — 59300–309600 ppm, Mn — 58800–371500 ppm, Co — 115,5–142,6 ppm, Ni — 64,1–170,5 ppm, Cu — 19,1–40,9 ppm, Zn — 525–2659 ppm, Cr — 10,5–28 ppm.

## PODSUMOWANIE

Sporządzenie arkuszy Rønne i Nexø Mapy Geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000, umożliwiło przedstawienie budowy geologicznej południowej części Basenu Bornholmskiego z dokładnością wcześniej nie uzyskiwaną.

Zakres badań rejsowych i laboratoryjnych umożliwił wykonanie map i tabel obrazujących rozmieszczenie, sposób występowania i cechy litologiczne osadów plejstoceńskich i holoceniowych. Badania sejsmoakustyczne dostarczały informacji o miąższości osadów czwartorzędowych, a także o skałach podłoża. Wykazały bardzo duży wpływ tektoniki podłoża oraz egzaracji lodowcowej na współczesną morfologię dna Basenu Bornholmskiego. Tektonika odzwierciedla się również w wyraźny sposób w miąższości i litologii osadów czwartorzędowych, a zwłaszcza holoceniowych osadów morza litynowego i bałtyka.

Do osadów plejstoceńskich należą gliny zlodowacenia północnopolskiego, osady fluwioglacjalne oraz osady warwowe. Osady wodnolodowcowe tworzą unikalne formy w południowej części Morza Bałtyckiego.

Badania geochemiczne i okrzemkowe osadów późnoglacialnych i holoceniowych nie pozwoliły na ich jednoznaczne i dokładne rozpoziomowanie, zwłaszcza na ustosunkowanie się do licznych poglądów wyróżniających różnorodne fazy rozwojowe Morza Bałtyckiego.

Podziału osadów Morza Bałtyckiego dokonano w oparciu o opisy makroskopowe rdzeni, wyniki badań litologicznych i palinologicznych oraz korelację tych wyników z profilami sejsmoakustycznymi. Wyróżnione osady bałtyckiego jeziora lodowego, osady morza yoldiowego i jeziora ancylusowego. Osady morza litynowego i bałtyka nawiązują do podziałów H. Ignatiusa (1981), A.I. Błażczyszyna (1985) i R. Kotlińskiego (1989).

Obraz kartograficzny rozmieszczenia typów granulometrycznych osadów współczesnych (morza litynowego i bałtyka) występujących na powierzchni dna, znacznie różni się od dotychczas przedstawianego w opublikowanych mapach przeglądowych. Różnorodność osadów i ich rozmieszczenie wskazuje na znaczne zróżnicowanie współczesnych procesów litodynamicznych. Na znacznych obszarach dna współczesne osady mulisto-ilaste tworzą bardzo ciekłą warstwę, często poniżej 0,2 m miąższości. Miejsca te, jak wykazuje obraz sejsmoakustyczny związa-

ne są często, zwłaszcza w północno-wschodniej części arkusza Nexø, z wypiętrzonymi tektonicznie blokami czwartorzędowymi.

## LITERATURA

- AKER K., ERIKSSON B., GRONLUND T., KANKAINEN T., 1988 — Sediment stratigraphy in the northern Gulf of Finland. Geol. Survey of Finland. Special Paper Nr 6.
- BŁAŻCZYŚZYN A.I., 1985 — Lithostratigraphical complex (sequences) of deep sea deposits (W: Lito- and biostratigraphy of the Baltic sea bottom deposits), red. W. Gudelis, Vilnius.
- GAWOR-BIEDOWA E., 1990 — Określenie wieku próbek z Basenu Bornholmskiego i Basenu Gdańskiego — ekspertyza paleontologiczna. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Oddz. Geol. Morza, Sopot.
- GUDELIS W., 1982 — Historia Morza Bałtyckiego (w: Geologia Morza Bałtyckiego, red. W. Gudelis, J.M. Jemielianov. Wyd. Geol. Warszawa.
- GUDELIS W., (red), 1985 — Lito- and biostratigraphy of the Baltic sea bottom deposits. Vilnius.
- IGNATIUS H., AXBERG S., NIEMISTO L., WINTERHALTER B., 1981 — Quaternary geology of the Baltic Sea (W: The Baltic Sea, red. A. Volpino) Elsevier Publishing Company, Amsterdam — London.
- JUROWSKA Z., KRAMARSKA R., 1990 — Mapa geologiczna dna Bałtyku 1:200 000, arkusz Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JUROWSKA Z., KRAMARSKA R., 1991 — Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200 000 arkusz Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KOTLIŃSKI R., 1989 — Litostatygrafia osadów późnoglacialnych i holoceniowych południowej części Morza Bałtyckiego. Studia i Materiały Oceanologiczne Nr 56, KBM PAN, Gdańsk.
- KÖGLER F.C., LARSEN L.B., 1979 — The West Bornholm basin on the Baltic Sea: geological structure and Quaternary sediments. Boreas, 8.
- KRAMARSKA R., 1991 — Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200 000, arkusz Ławica Słupska, Ławica Słupska N. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KRAMARSKA R., 1992 — Mapa geologiczna dna Bałtyku 1:200 000. Arkusz Ławica Słupska, Ławica Słupska N. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ŁOMNIEWSKI K., MAŃKOWSKI W., ZALESKI J., 1975 — Morze Bałtyckie. PWN, Warszawa.
- MAJEWSKI A., 1987 — Charakterystyka wód (w: Bałtyk południowy, red. B. Augustowski). GTN Gdańsk.
- MOJSKI J.E. 1987 — Zarys budowy geologicznej obszaru południowobałtyckiego (bez czwartorzędu) (w: Bałtyk południowy, red. B. Augustowski). GTN Gdańsk.
- PASSEGA R., BYRAMJE R., 1969 — Grain-size image of clastic deposits. Sedimentology 13, Amsterdam.
- POŻARYSKI W., i inni, 1979 — Mapa geologiczna Polski i krajów ościennych bez utworów kenozoicznych 1:1000 000. Inst. Geol., Warszawa.
- ROSA B., 1987 — Pokrywa i rzeźba dna (w: Bałtyk południowy, red. B. Augustowski). GTN Gdańsk.
- ROSSA W., WYPYCH K., 1981 — Sejsmostratygrafia dna Bałtyku Południowego. Materiały sesji naukowej nt: Geologiczno-inżynierskie badania wybrzeży i dna Bałtyku Południowego. Gdańsk.
- SZCZEPAŃSKA T., 1986 — Wyniki badań chemicznych rdzenia 13348 z dna Głębi Bornholmskiej. (streszcz. ref.) Kwart. Geol. Nr 1.
- UŚCINOWICZ SZ., KRAMARSKA R., PRZEŹDZIECKI P., 1989 — The Quaternary of the South-West region of the Polish Baltic. Geol. Survey of Finland. Special Papers 6.
- UŚCINOWICZ SZ., 1989a — Mapa geologiczna dna Bałtyku 1:200 000, arkusz Kołobrzeg. Państw. Inst. Geol., Warszawa.



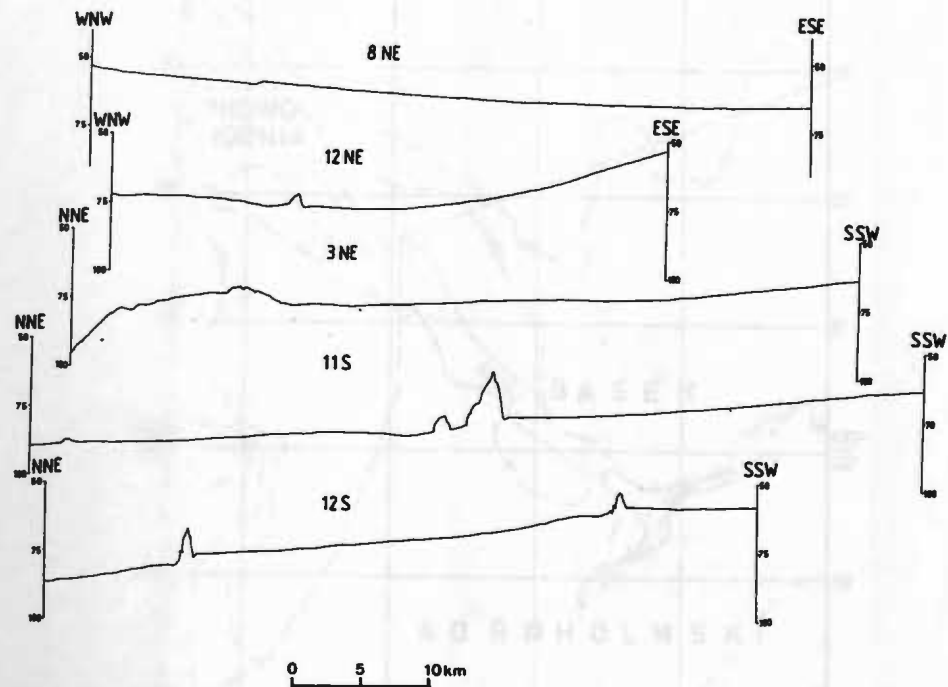
UŚCINOWICZ SZ., 1989b — Litofacje osadów dna południowej części Basenu Bornholmskiego (praca doktorska). Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Oddz. Geol. Morza, Sopot.

UŚCINOWICZ SZ., 1991 — Objasnienia do Mapy geologicznej dna Bałtyku 1:200 000, arkusz Kolobrzeg. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

WITKOWSKI A., (red.), 1979 — Atlas geologiczno-strukturalny południowej części Morza Bałtyckiego 1:750 000. Inst. Geol., Warszawa.

ZABOROWSKA K., 1990 — Ekspertyza okrzemkowa próbek rdzenia 12 K02 z Basenu Bornholmskiego. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Oddz. Geol. Morza, Sopot.

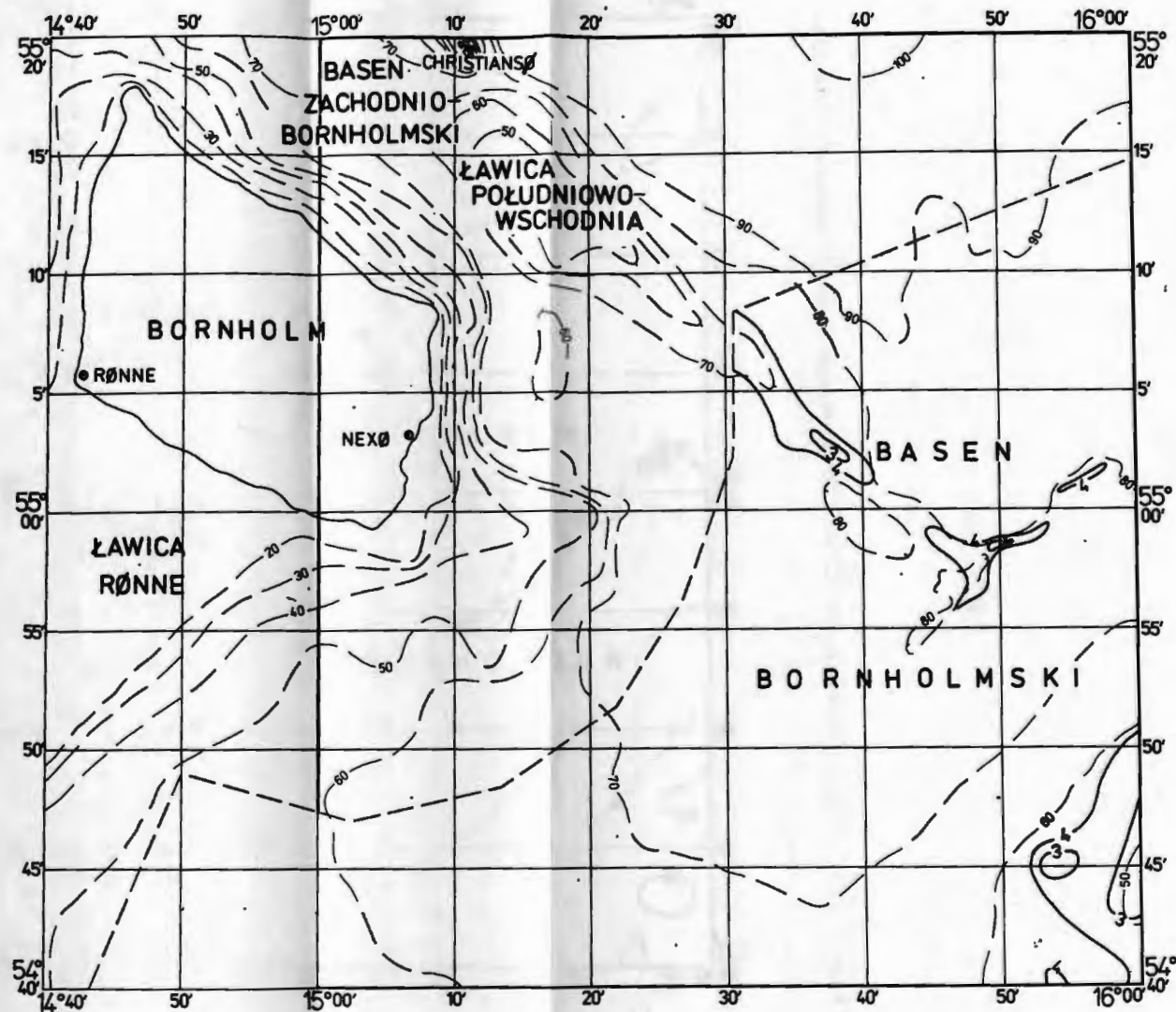
ZACHOWICZ J., 1990 — Ekspertyza palinologiczna próbek rdzenia 12 K02 z Basenu Bornholmskiego. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Oddz. Geol. Morza, Sopot.



Profile Batymetryczne  
(wg Sz. Uścińowicza)



TABLICA II



1:500 000

Średnia średnica ziarn –  $M_z$  ( $\varphi$ )

(wg Sz. Uścińowicza)

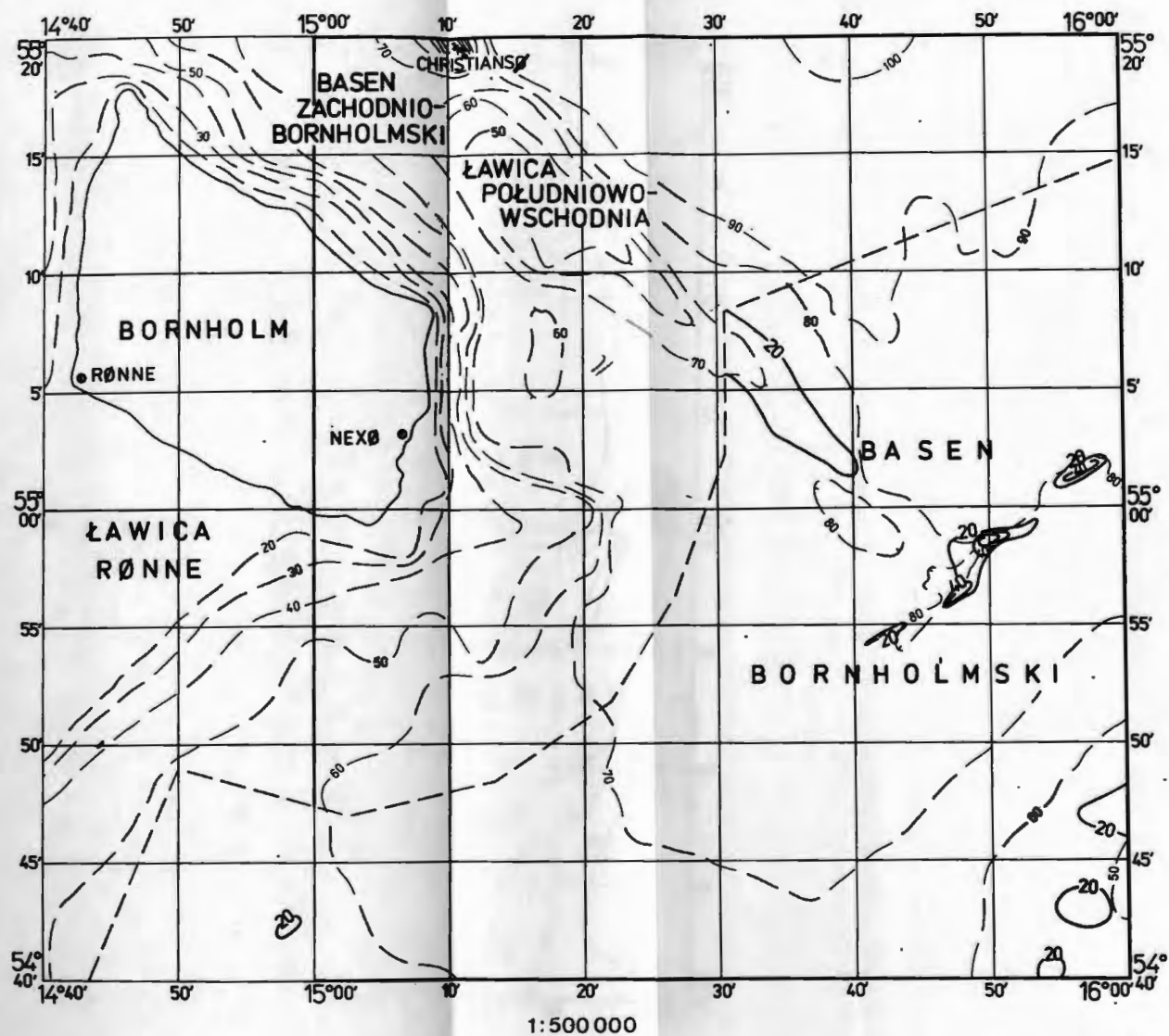
Wartości obliczono według wzoru R. L. Folka, W. C. Warda (1957)

Uwaga: tabl. II-V dotyczą warstwy powierzchniowej (0-20 cm) osadów morza łitynowego i bałtyka.

Linia przerywaną oznaczono izobaty, linią ciągłą – izarytmy wartości odpowiednich parametrów



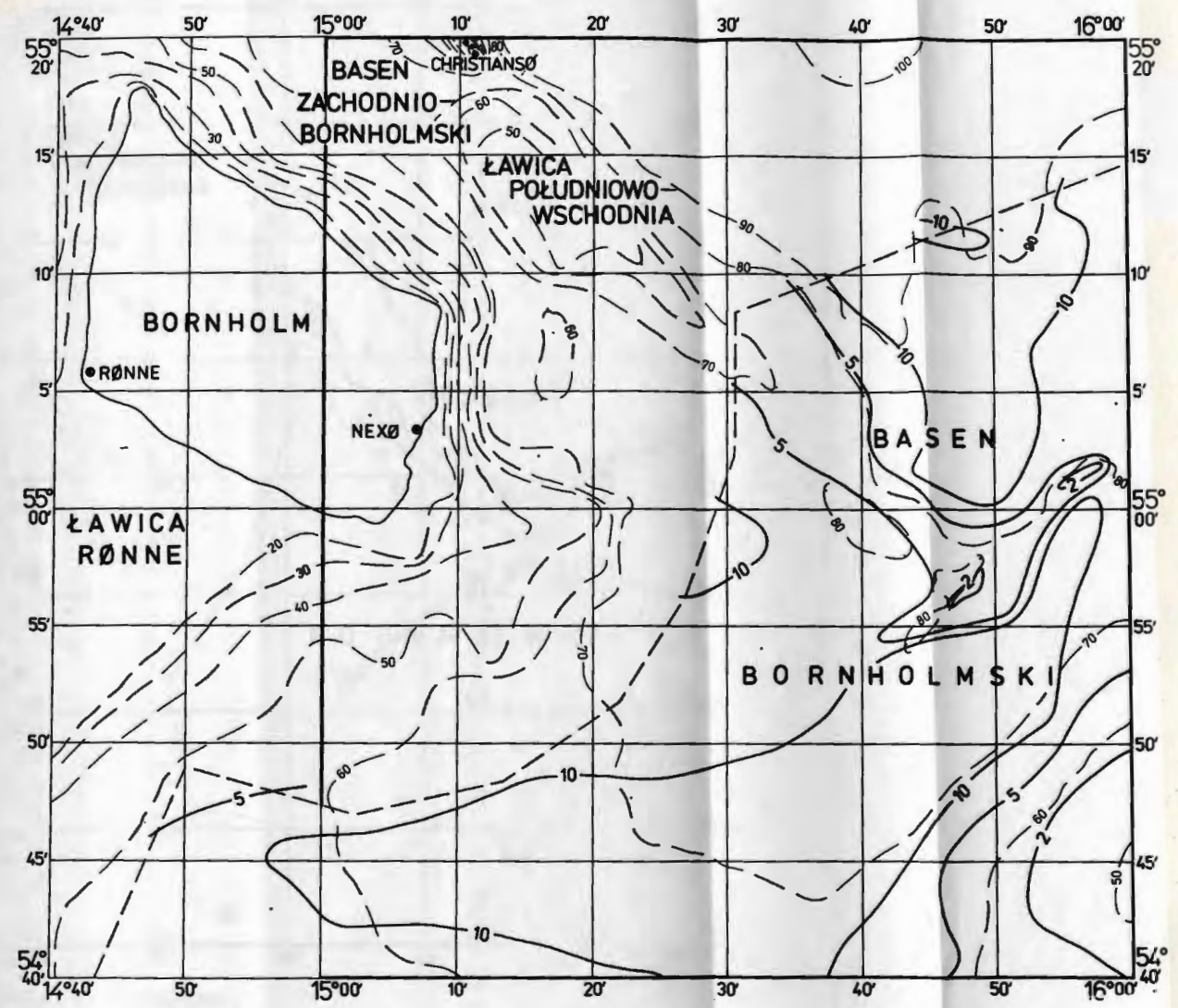
TABLICA III



Zawartość frakcji granulometrycznej 0,25–0,125 mm (w %)  
(wg Sz. Uścińnicza)



TABLICA IV

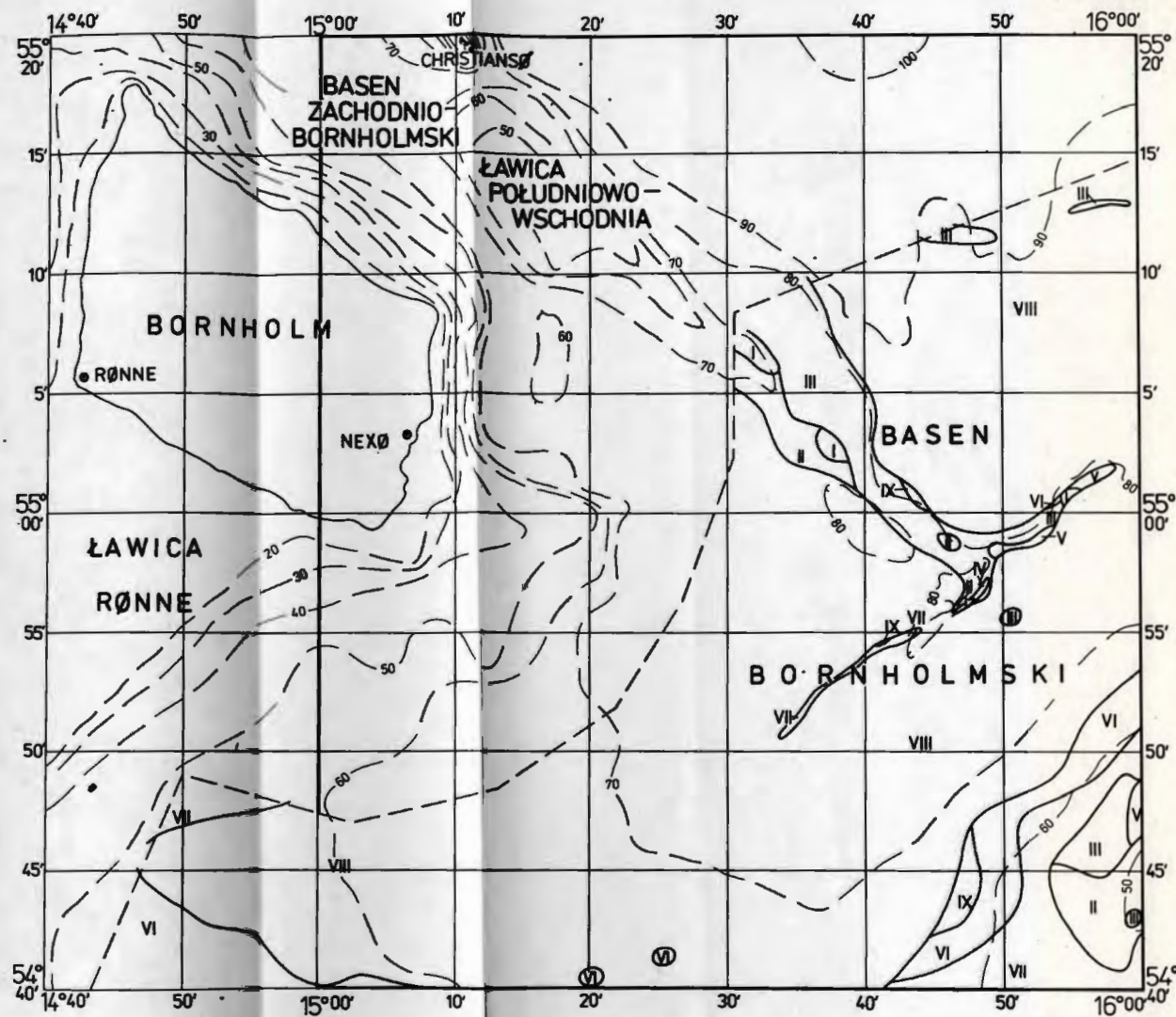


1:500000

Zawartość substancji organicznej (w %)  
(wg Sz. Uścińowicza)



TABLICA V



1:500 000

Wskaźnik uzłaznienia C - M  
(wg Sz. Uścirowicza)

Typy osadów według diagramu R. Passegi, R. Byramje (1969);

C — pierwszy percentyl rozkładu wielkości ziarna ( $\mu\text{m}$ ),

M — mediana rozkładu wielkości ziarna ( $\mu\text{m}$ )

- |                              |                             |                                    |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| I — C > 1000; M > 200        | IV — C < 1000; M > 200      | VII — 1000 > C > 200; 100 > M > 15 |
| II — C > 1000; 200 > M > 100 | V — C < 1000; 200 > M > 100 | VIII — C < 1000; M > 15            |
| III — C > 1000; 100 > M > 15 | VI — C < 200; 100 > M > 15  |                                    |