

## Wytrzymałość na ścinanie i ściskanie gruntów polskiego Bałtyku na głębokości 10 i 20 m poniżej dna morskiego

Leszek Józef Kaszubowski<sup>1</sup>, Ryszard Coufal<sup>1</sup>



L.J. Kaszubowski R. Coufal

**Resistance of shear and compressive of the Polish Baltic soils on the depth of 10 and 20 m below the sea bottom.** Prz. Geol., 62: 609–620.

*Abstract.* Authors analyze the resistance of shear and compression of the Polish Baltic soils on the depth of 10 and 20 m below the sea bottom. On the basis of selected mechanical properties of the Polish Baltic soils have been characterized the divided geological-engineering units on the depth of 10 and 20 m below the sea bottom. These characteristics concern the engineering-geological division of the sea bottom are founded on the detailed analyses of the geological maps of the Baltic Sea bottom in scale of 1: 200 000 and on the geological interpretation of seismoacoustic investigations which were executed in selected parts of the area of the Baltic Sea and also on the base of the results of detailed engineering-geological research of some fragments of the sea bottom and the coastal zone in the area of western Pomerania. On this base, the

authors present the engineering-geological units of the Polish Baltic soils on the depth of 10 and 20 m below the sea bottom. There were taken into account certain geological criteria such as a lithological type, genesis and age of deposits and also geotechnical criteria beside of resistance of shear ( $\tau_f$ ) and resistance of compression ( $R_c$ ), the next properties such as a index of density ( $I_D$ ), index of liquidity ( $I_L$ ), angle of internal friction ( $\phi$ ), cohesion ( $c$ ).

**Keywords:** resistance of shear, resistance of compression, Polish Baltic soils on the depth of 10 and 20 m below the sea bottom, engineering-geological units of the Baltic Sea.

Autorzy przedstawiają analizę wytrzymałości na ścinanie i ściskanie gruntów polskiego Bałtyku na głębokości 10 i 20 m poniżej dna morskiego. Posługują się tutaj wartościami przybliżonymi wynikającymi ze szczegółowych analiz map geologicznych dna Bałtyku w skali 1 : 200 000 oraz geologiczną interpretacją badań sejsmoakustycznych wybranych fragmentów dna Bałtyku, jak również wynikami szczegółowych badań geologiczno-inżynierskich wybranych fragmentów dna morskiego i badań geologiczno-inżynierskich strefy brzegowej Pomorza Zachodniego. Na tej podstawie scharakteryzowano jednostki geologiczno-inżynierskie występujące na analizowanych głębokościach poniżej dna morskiego.

### CEL PRACY

Celem pracy jest przedstawienie gruntów polskiego Bałtyku na głębokości 10 i 20 m poniżej dna morskiego pod względem wytrzymałości na ścinanie i ściskanie. Oprócz tych podstawowych parametrów geotechnicznych rzutujących na określone warunki geologiczno-inżynierskie analizowanego podłoża dna Bałtyku w charakterystykach uwzględniane są również inne parametry geotechniczne, takie jak: stopień zagęszczenia ( $I_D$ ), stopień plastyczności ( $I_L$ ), kąt tarcia wewnętrznego ( $\phi$ ) i kohezja ( $c$ ). Ważnym zadaniem jest również określenie przybliżonych miąższości gruntów polskiego Bałtyku występujących na analizowanych poziomach poniżej dna morskiego.

### MATERIAŁY I METODY

Do osiągnięcia celu pracy wykorzystano szczegółowe analizy map geologicznych dna Bałtyku w skali 1 : 200 000

oraz geologiczną interpretację badań sejsmoakustycznych wybranych fragmentów dna Bałtyku, jak również szczegółowe badania geologiczno-inżynierskie wybranych fragmentów dna morskiego (Jegliński & Pruszkowski, 1981; Pieczka, 1981; Stucka, 1981) i strefy brzegowej Pomorza Zachodniego. Należy dodać, że formuły matematyczne analizowanych parametrów geotechnicznych zostały już wcześniej przez autorów omówione (Kaszubowski & Coufal, 2010).

### PODŁOŻE GRUNTOWE NA GŁĘBOKOŚCI 10 METRÓW PONIŻEJ DNA MORSKIEGO

Analiza geologiczno-inżynierska współczesnego dna polskiego Bałtyku wykazała (Kaszubowski & Coufal, 2011), że grunty skaliste jako grunty bardzo dobre dla budownictwa morskiego nie występują bezpośrednio na dnie morskim. Natomiast grunty dobre dla budownictwa morskiego są reprezentowane przez grunty niespoiste, wieku plejstoceńskiego i holocenońskiego, genezy glacialfluwialnej, fluwialnej i morskiej, które posiadają duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (300–1000 kPa).

Grunty dostateczne dla budownictwa morskiego (Kaszubowski & Coufal, 2011), reprezentowane przez grunty spoiste, wieku plejstoceńskiego, genezy glacialnej, posiadają dość duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (100–300 kPa). Bezpośrednio na dnie Bałtyku występują również grunty złe dla budownictwa morskiego reprezentowane przez grunty spoiste i niespoiste, wieku plejstoceńskiego i holocenońskiego, genezy zastoiskowej, eolicznej, glacialno-morskiej i jeziornej, które posiadają małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (50–100 kPa). Grunty bardzo złe dla budownictwa morskiego są reprezentowane

<sup>1</sup> Katedra Geotechniki, Zakład Geologii Inżynierskiej i Hydrogeologii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 50, 70-310 Szczecin; kaszubowski@zut.edu.pl.

przez grunty spoiste, wieku środkowego i górnego holocenu, które posiadają bardzo małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  ( $< 50$  kPa).

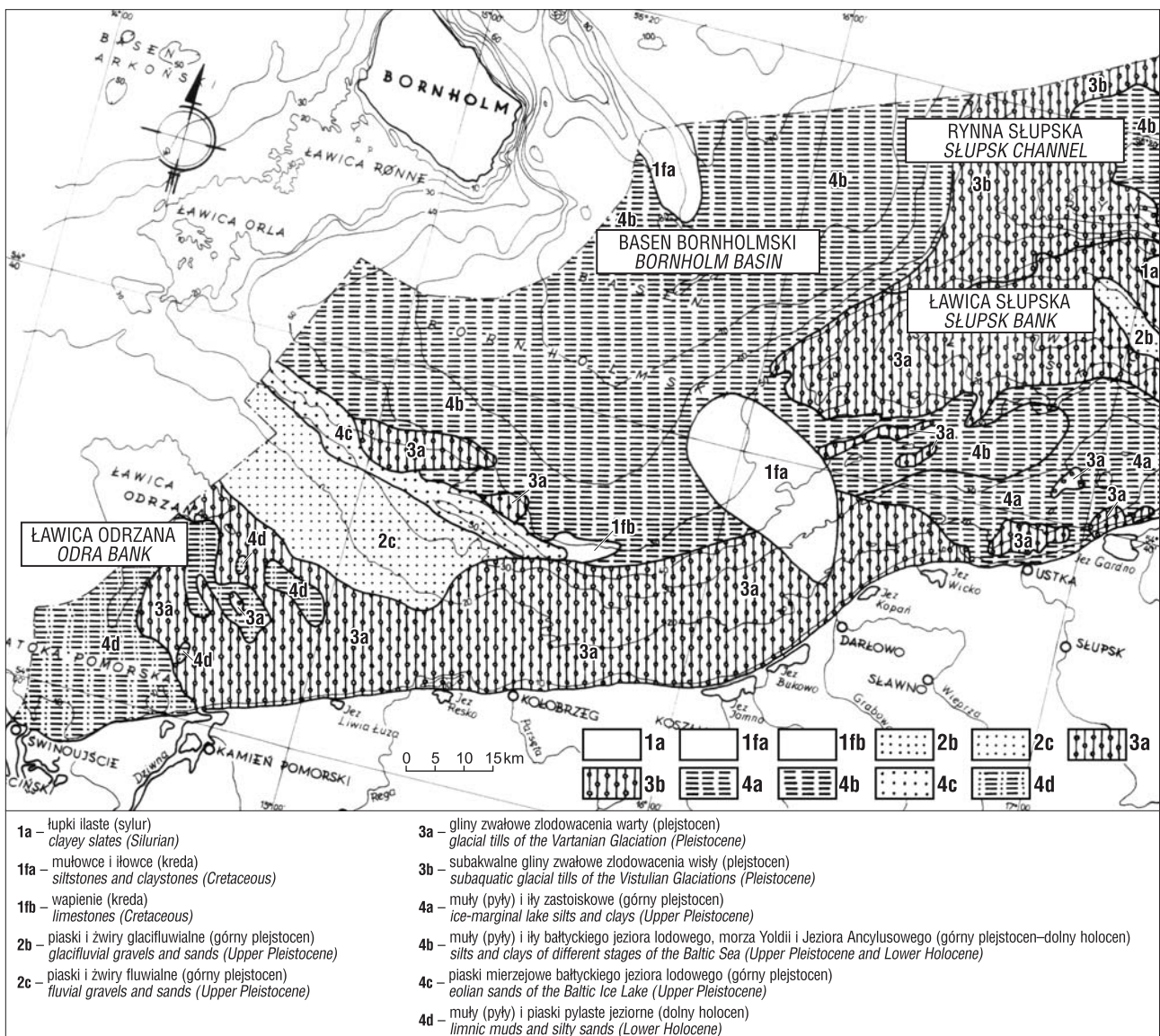
Natomiast szczegółowa analiza warunków geologicznych i warunków geotechnicznych podłoża gruntowego znajdującego się na głębokości 10 m poniżej dna morskiego pozwoliła na wydzielenie jednostek geologiczno-inżynierskich, przedstawionych na rycinach 1 i 2.

### Podłoże gruntowe bardzo dobre dla budownictwa morskiego

Pod względem geologiczno-inżynierskim są to najlepsze grunty rozpatrywanego podłoża (jednostka nr 1), reprezentowane przez grunty skaliste (tab. 1) o bardzo dużych wartościach wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  ( $> 1$  MPa). Można tutaj wyszczególnić grunty skaliste różnego wieku (ryc. 1, 2). W zachodniej części polskiego Bałtyku (Pożaryski, 1979) należy wymienić duży obszar wschodni skał kredy (subjednostka 1fa), prawdopodobnie reprezentowanych przez skały klastyczne w postaci mułowców i

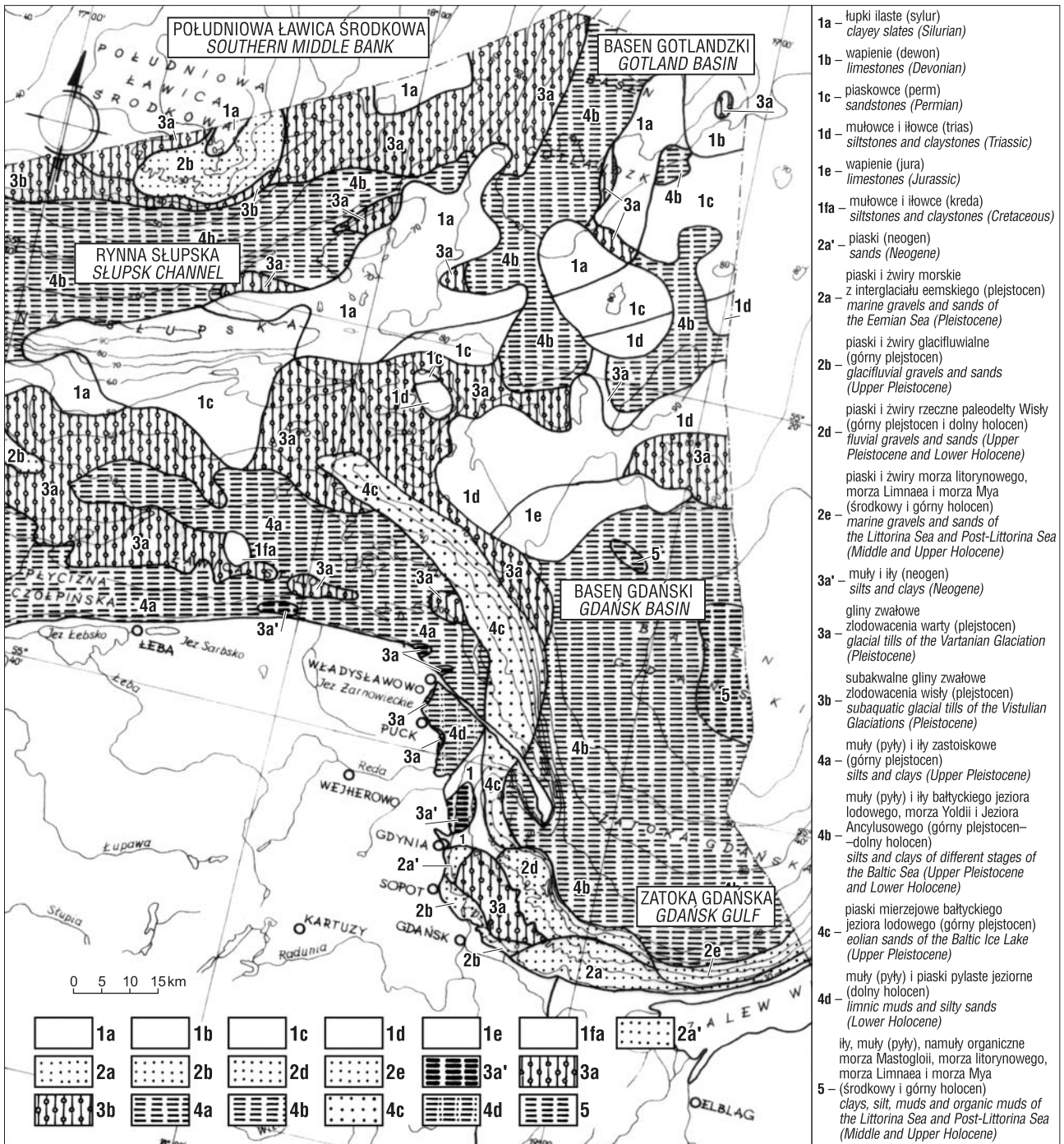
iłowców, miejscami piaskowców, w rejonie położonym na południowy-wschód od Basenu Bornholmskiego (ryc. 1) do izobaty 20 m na wysokości Darłowa o dużych miąższościach. Średnio wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  mułowców wynosi 20–40 MPa (Look, 2007). Nieduże wychodnie tych skał o podobnej litologii są usytuowane w północno-zachodniej części Basenu Bornholmskiego oraz w rejonie izobaty 50 m na wysokości Kołobrzegu (ryc. 1). Natomiast w rejonie izobaty 50 m (ryc. 1) na wysokości Kołobrzegu występują nieduże wychodnie skał węglanowych kredy (1fb). Z kolei w zachodniej części Rynny Słupskiej występują wychodnie skał syluru (subjednostka 1a) zbudowanych z łupków ilastych o ogromnych miąższościach.

Łupki ilaste syluru odsłaniają się w wielu miejscach wschodniej części polskiego Bałtyku (ryc. 2), w rejonie południowo-wschodniej części Basenu Gotlandzkiego, na obszarze pomostowym między Basenem Gotlandzkim a Rynną Słupską, w dnie Rynny Słupskiej (ryc. 3) oraz w części południowej Południowej Ławicy Środkowej i obszarze położonym od niej na wschód. Subjednostkę (1b)



Ryc. 1. Podłoże gruntowe zachodniej części polskiego Bałtyku na głębokości 10 m poniżej dna morskiego  
 Fig. 1. Soil substrate of the western part of the Polish Baltic Sea on the depth of 10 m below sea bottom





Ryc. 2. Podłoże gruntowe wsłodniej części polskiego Bałtyku na gęłokości 10 m poniżej dna morskiego  
Fig. 2. Soil substrate of the eastern part of the Polish Baltic Sea on the depth of 10 m below sea bottom

tworzą wychodnie skał dewonu reprezentowane przez wapień o znacznych miąższościach w rejonie południo-wschodniej części Basenu Gotlandzkiego (ryc. 2). Ocenia się, że przybliżone wartości (tab. 1) wytrzymałości na ścisłkanie (Racinoński & Coufal, 1999) wapieni wynoszą  $R_c$  (10–100 MPa). Na południe od tego rejonu występują wychodnie skał permu (subjednostka 1c) zbudowane prawdopodobnie ze skał klastycznych w postaci piaskowców o niedużej miąższości (poniżej 50 m). Podobna sytuacja występuje w rejonie południowych zboczy Rynny Słupskiej. Skały tego typu (tab. 1) osiągnają dość znaczne

wartości (Racinoński & Coufal, 1999) wytrzymałości na ścisłkanie  $R_c$  (15–150 MPa).

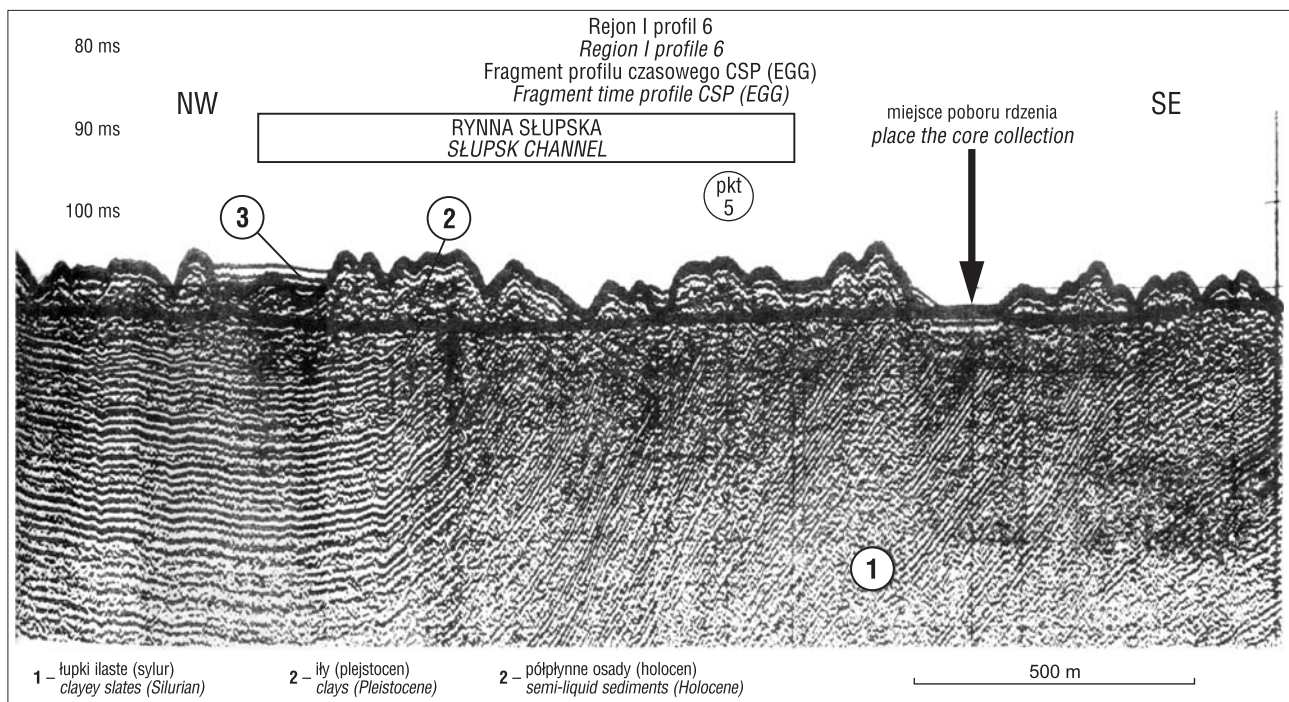
Na obszarze pomostowym między Rynną Słupską a Basenem Gdańskim występują wychodnie skał triasu (subjednostka 1d) i prawdopodobnie są to mułowce o znacznych miąższościach (ryc. 2). Na południe od tego obszaru występują wychodnie skał jury (subjednostka 1e) zbudowane z wapieni i margli o niezbyt dużych miąższościach jak na skały mezozoiczne (poniżej 100 m). Natomiast w rejonie izobaty 30 m na wysokości Lubiatoła występuje nieduże odsłonięcie skał kredy (subjednostka

**Tab. 1.** Parametry geotechniczne podłoża gruntowego polskiego Bałtyku na głębokości 10 m poniżej dna morskiego  
**Table 1.** Geotechnical parameters of the soil substrate of the Polish Baltic on the depth of 10 m below sea bottom

Jednostki geologiczno-inżynierskie <i>Engineering-geological units</i>	Typy litologiczne <i>Lithological types</i>	Geneza <i>Genesis</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Wartości przybliżone <i>Aproximal values</i>					
				I <sub>D</sub>	I <sub>L</sub>	Φ [°]	c [kPa]	τ <sub>f</sub> [kPa]	R <sub>c</sub> [MPa]
1 Podłoże bardzo dobre dla budownictwa morskiego <i>Very good substrate for marine constructions</i>	1a łupki ilaste <i>clayey slates</i>	morskie <i>marine</i>	sylur <i>Silurian</i>	–	–	–	–	–	50–150
	1b wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	dewon <i>Devonian</i>	–	–	–	–	–	10–100
	1c piaskowce <i>sandstones</i>	morskie <i>marine</i>	perm <i>Permian</i>	–	–	–	–	–	15–150
	1d mułowce i iłowce <i>siltstones and claystones</i>	morskie <i>marine</i>	trias <i>Triassic</i>	–	–	–	–	–	20–60
	1e wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	jura <i>Jurassic</i>	–	–	–	–	–	10–100
	1fa mułowce i iłowce <i>siltstones and claystones</i>	morskie <i>marine</i>	kreda <i>Cretaceous</i>	–	–	–	–	–	20–60
	1fb wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	kreda <i>Cretaceous</i>	–	–	–	–	–	10–100
2 Podłoże dobre dla budownictwa morskiego <i>Good substrate for marine constructions</i>	2a' piaski (Ps, Pd) <i>sands</i>	fluwialne <i>fluvial</i>	neogen <i>Neogene</i>	0,6–0,8	–	32–36	–	400–600	–
	2a piaski i żwiry (Pr,Ps,Pd,Ż) <i>sands and gravels</i>	morskie <i>marine</i>	i. eemski plejstocen <i>Eemian Interglacial Pleistocene</i>	0,5–0,7	–	30–35	–	300–500	–
	2b piaski i żwiry (Pr, Ps, Pd, Ż) <i>sands and gravels</i>	glacifluwialne <i>glacifluvial</i>	górný plejstocen <i>Upper Pleistocene</i>	0,5–0,7	–	32–35	–	350–500	–
	2c piaski i żwiry (Pr, Ps, Pd, Ż) <i>sands and gravels</i>	fluwialne <i>fluvial</i>	górný plejstocen <i>Upper Pleistocene</i>	0,4–0,6	–	30–33	–	300–400	–
	2d piaski i żwiry (Pr, Ps, Pd, Ż) <i>sands and gravels</i>	fluwialne <i>fluvial</i>	górný plejstocen i dolny holocen <i>Upper Pleistocene and Lower Holocene</i>	0,4–0,6	–	30–33	–	300–400	–
	2e piaski i żwiry (Pr,Ps,Pd,Ż) <i>sands and gravels</i>	morskie <i>marine</i>	środkowy i górný holocen <i>Middle and Upper Holocene</i>	0,4–0,5	–	30–32	–	300–350	–
3 Podłoże dostateczne dla budownictwa morskiego <i>Sufficient substrate for marine constructions</i>	3a' muły i iły <i>silts and clays</i>	limniczne <i>limnic</i>	neogen <i>Neogene</i>	–	0,1–0,2	23–20	55–45	250–350	–
	3a gliny zwałowe (Gp, G, Gπ) <i>glacial tills</i>	glacjalne <i>glacial</i>	plejstocen zlodowacenie warty <i>Pleistocene Vartanian Glaciation</i>	–	0,1–0,3	20–15	45–35	200–300	–
	3b gliny zwałowe (Gp, G, Gπ) <i>glacial tills</i>	glacjalne <i>glacial</i>	plejstocen zlodowacenie wisły <i>Pleistocene Vistulian Glaciation</i>	–	0,2–0,4	15–12	31–25	100–200	–



4 Podłoże złe dla budownictwa morskiego <i>Bad substrate for marine constructions</i>	4a pyły (muły) i ily <i>silts and clays</i>	zastoiskowe <i>glacio-limnic</i>	górný plejstocen <i>Upper Pleistocene</i>	–	0,2–0,5	15–10	18–10	80–100	–
	4b pyły (muły) i ily <i>silts and clays</i>	glacialno-limniczne, glacialno-morskie i limniczne <i>glacio-limnic, glacio-marine and limnic</i>	górný plejstocen i dolny holocen <i>Upper Pleistocene and Lower Holocene</i>	–	0,2–0,5	15–10	18–10	80–100	–
	4c piaski (Ps, Pd) <i>sands</i>	eoliczne <i>aeolian</i>	górný plejstocen <i>Upper Pleistocene</i>	0,1–0,3	–	15–20	–	90–130	–
	4d pyły (muły) i piaski pylaste <i>silts and silty sands</i>	limniczne <i>limnic</i>	dolny holocen <i>Lower Holocene</i>	–	0,2–0,6	10–5	50–30	50–100	–
5 Podłoże bardzo złe dla budownictwa morskiego <i>Very bad substrate for marine constructions</i>	5 ily,pyły (muły) i namuły organiczne <i>clays, silts and organic muds</i>	morskie <i>marine</i>	środkowy i górný holocen <i>Middle and Upper Holocene</i>	–	0,5–1,0	5–0	35–0	0–50	–



**Ryc. 3.** Przekrój sejsmoakustyczny dna morskiego w rejonie południowej części Rynny Słupskiej (Rosa & Wypych, 1981)  
**Fig. 3.** Seismoacoustic cross-section of the sea bottom on the area of southern part of Słupsk Channel (Rosa & Wypych, 1981)

1fa) reprezentowane przez mułowce i iłowce o znacznych miąższościach (ryc. 2).

#### Podłoże gruntowe dobre dla budownictwa morskiego

Pod względem geologiczno-inżynierskim są to grunty nieskaliste dobre dla budownictwa morskiego (jednostka nr 2) reprezentowane przez grunty niespoiste (ryc. 1, 2) wieku neogeńskiego, plejstocenijskiego i holocenijskiego, genezy fluwialnej, glacialfluwialnej i morskiej, które posiadają (tab. 1) duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$

(300–1000 kPa). W zachodniej części polskiego Bałtyku można tutaj wyróżnić piaski i żwiry glacialfluwialne (subjednostka 2b) tworzące się w czasie deglacjacji lądolodu zlodowacenia wisły (Kaszubowski & Coufal, 2008). Grunty te pod analizowanym podłożem mają miąższość do 10 m i występują w południowo-wschodniej części Ławicy Słupskiej (ryc. 1). Kolejna subjednostka (2c) jest reprezentowana przez piaski i żwiry fluwialne tworzące się na przełomie górnego plejstocenu i dolnego holocenu, występujące na północny wschód od Ławicy Odrzanej. Miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem prawdopodobnie wynosi około 10 m.

We wschodniej części polskiego Bałtyku (ryc. 2) podłoże gruntowe dobre dla budownictwa morskiego tworzą piaski rzeczne neogenu (subjednostka 2a') występujące w rejonie Kępy Redłowskiej i Kępy Orłowskiej. Przypuszcza się, że miąższość omawianych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi więcej niż 10 m. Piaski neogeńskie są bardzo zagęszczone (tab. 1) i posiadają najwyższe wartości wytrzymałości na ścinanie w tej kategorii gruntów. Dalej należy wymienić żwiry i piaski morskie z interglaciału eemskiego (subjednostka 2a), również mocno skompresowane (tab. 1). W dalszej kolejności występują piaski i żwiry glacialne górnego plejstocenu (subjednostka 2b) położone w południowej części Południowej Ławicy Środkowej (ryc. 2). Osady tego typu występują także na obszarze Zatoki Puckiej. Prawdopodobnie miąższość wymienionych gruntów poniżej analizowanego podłoża wynosi około 10 m. Kolejne wydzielenie (subjednostka 2d) tworzą żwiry i piaski rzeczne paleodelty Wisły w rejonie Gdyni (ryc. 2). Ocenia się, że miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi ponad 10 m. Dalej należy wymienić piaski i żwiry morskie środkowego i górnego holocenu (subjednostka 2e). Grunty tego typu występują w południowej części Zatoki Gdańskiej (ryc. 2) naprzeciwko Mierzei Wiślanej i pod analizowanym podłożem osiągają miąższość około 5 m.

#### **Podłoże gruntowe dostateczne dla budownictwa morskiego**

Pod względem geologiczno-inżynierskim są to grunty nieskaliste dostateczne (ryc. 1,2) dla budownictwa morskiego (jednostka nr 3), reprezentowane przez grunty spoiste wieku neogeńskiego i plejstoceniowego, genezy limnicznej i glacialnej, które posiadają dość duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (100–300 kPa) (tab. 1). W zachodniej części polskiego Bałtyku w pierwszej kolejności (Kaszubowski & Coufal, 2008) należy wymienić gliny zwałowe zlodowacenia warty (subjednostka 3a). Gliny zwałowe tego zlodowacenia występują na obszarze Ławicy Słupskiej (Kramarska i in., 2002) i w południowo-zachodniej części, pomiędzy izobatą 10–40 m na wysokości wybrzeża od Dziwnowa do jeziora Wicko (ryc. 1). Ocenia się, że na tym obszarze pod analizowanym podłożem miąższość tych osadów dochodzi do ponad 20 m, a w rejonach południowych w pobliżu wybrzeża nawet do 40 m. Przeprowadzone badania sejsmoakustyczne (Kaszubowski, 1989) na obszarze dna Zatoki Koszalińskiej (ryc. 4) wykazały, że występują tutaj złożone struktury glacialne. W dalszej kolejności należy wymienić subakwalne gliny zwałowe zlodowacenia wisły (subjednostka 3b), które występują na północ i północno-zachód od Ławicy Słupskiej (ryc. 1). Należy przypuszczać, że pod analizowanym podłożem miąższość tych gruntów wynosi około 5 m.

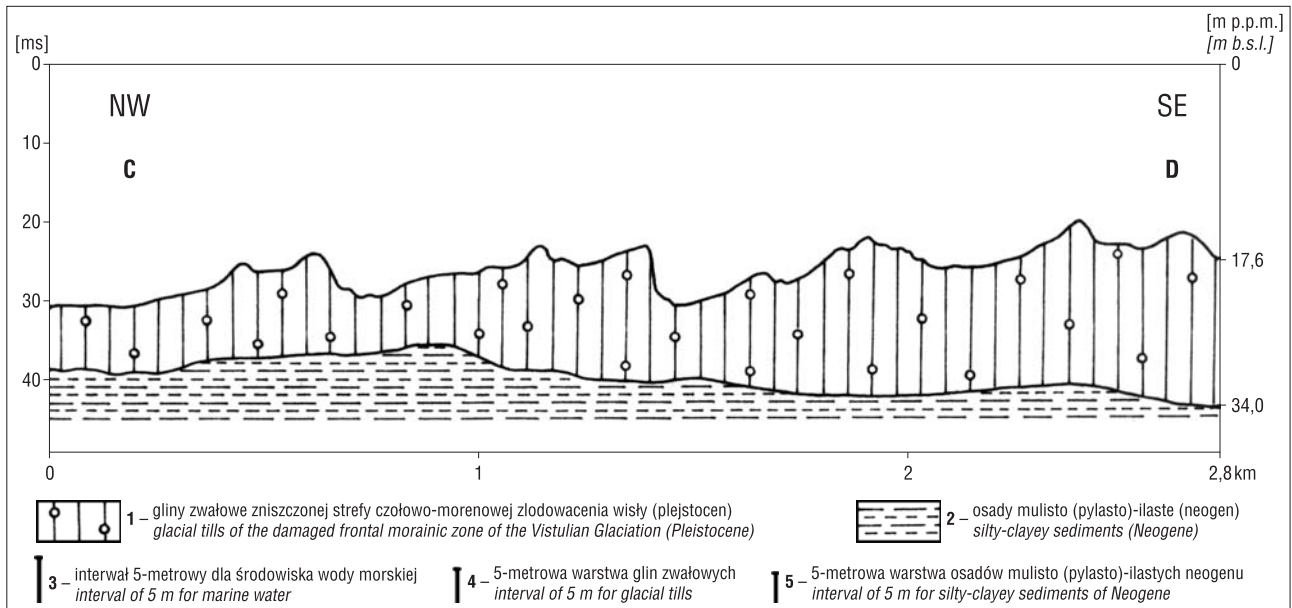
We wschodniej części polskiego Bałtyku podłoże dostateczne dla budownictwa morskiego tworzą muły i łyły pochodzenia limniczno-wodnego wieku neogeńskiego (subjednostka 3a'), usytuowane w pobliżu Karwi, Władysławowa i Kępy Oksywskiej (ryc. 2). Prawdopodobnie miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi ponad 20 m. Dalej należy wymienić gliny zwałowe zlodowacenia warty (subjednostka 2a) występujące w południowej części analizowanego akwenu na wysokości Łeby i Jeziora Żar-

nowieckiego. Ocenia się, że miąższość tych gruntów w tym rejonie pod omawianym podłożem wynosi ponad 20 m. Na obszarze pomostowym między Basenem Gdańskim a Rynną Słupską (ryc. 2) gliny zwałowe zlodowacenia warty pod podłożem osiągają miąższość do 10 m. Gliny zwałowe tego samego zlodowacenia występują między południową częścią Basenu Gotlandzkiego a Południową Ławicą Środkową oraz w południowo-zachodniej części Zatoki Gdańskiej na wysokości od Gdyni do Gdańska. Miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi do 10 m, a w rejonie gdańskim przekracza nawet 30 m. Gliny zwałowe zlodowacenia wisły (subjednostka 3b) występują na niewielkim obszarze położonym na południe od Południowej Ławicy Środkowej (ryc. 2), ich miąższość pod podłożem jest niewielka i wynosi poniżej 5 m.

#### **Podłoże gruntowe złe dla budownictwa morskiego**

Pod względem geologiczno-inżynierskim są to grunty nieskaliste złe (ryc. 1, 2) dla budownictwa morskiego (jednostka nr 4), reprezentowane przez grunty spoiste i niespoiste, wieku górnego plejstocenu i dolnego holocenu, genezy zastoiskowej, eolicznej, glacialno-morskiej i jeziornej, które posiadają małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (50–100 kPa). W zachodniej części polskiego Bałtyku (Kaszubowski & Coufal, 2010) należy wymienić muły (pyły) i łyły (subjednostka 4a) zastoiskowe utworzone w górnym plejstocenie. Grunty tego typu występują na południe od Ławicy Słupskiej (ryc. 1) na wysokości Ustki. Miąższość tych gruntów pod omawianym podłożem wynosi poniżej 10 m. Duże powierzchnie dna morskiego budują muły (pyły) i łyły (subjednostka 4b) bałtyckiego jeziora lodowego, morza Yoldii i Jeziora Ancylusowego, utworzone w górnym plejstocenie i dolnym holocenie, które występują w rejonie Basenu Bornholmskiego i na południowo-wschód od niego (ryc. 1) oraz na południe od Ławicy Słupskiej, a także w zachodniej części Rynny Słupskiej. Miąższość tych gruntów pod podłożem wynosi około 10 m, w rejonie północno-wschodnim Basenu Bornholmskiego może przekraczać 15 m. Podłoże złe dla budownictwa morskiego budują także osady mierzejowe (subjednostka 4c), które utworzyły się podczas funkcjonowania bałtyckiego jeziora lodowego (Uścinowicz, 1995). Grunty tego typu występują na północny wschód od Ławicy Odrzanej (ryc. 1). Pod omawianym podłożem osiągają one miąższość poniżej 10 m. Dalej występują muły (pyły) i miejscami piaski pylaste (subjednostka 4d), które utworzyły się w warunkach jeziornych na przełomie górnego plejstocenu i dolnego holocenu (Kramarska i in., 2002). Prawdopodobnie miąższość tych gruntów pod omawianym podłożem jest mniejsza od 5 m.

We wschodniej części polskiego Bałtyku podłoże złe dla budownictwa morskiego tworzą również muły (pyły) i łyły bałtyckiego jeziora lodowego, morza Yoldii i Jeziora Ancylusowego górnego plejstocenu i dolnego holocenu (subjednostka 4b), które występują na obszarze Rynny Słupskiej, Zatoki Gdańskiej, Basenu Gdańskiego, południowej części Basenu Gotlandzkiego oraz obszaru pomostowego między Basenem Gdańskim a Basenem Gotlandzkim (ryc. 2). Miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem na obszarze Zatoki Gdańskiej i Basenu



Ryc. 4. Przekrój sejsmoakustyczny przez dno Zatoki Koszalińskiej (Kaszubowski, 1989)  
 Fig. 4. Seismoacoustic cross-section across of the Kozalin Gulf bottom (Kaszubowski, 1989)

Gdańskiego wynosi około 20 m. Natomiast na pozostałych obszarach wschodniej części polskiego Bałtyku miąższości są mniejsze i wynoszą około 10 m. Należy także wyróżnić piaski mierzejowe bałtyckiego jeziora lodowego (subjednostka 4c), które występują na wysokości Jeziora Żarnowieckiego i Mierzei Helskiej. Miąższość tych gruntów pod podłożem szacuje się również na około 10 m. Podłoże złe dla budownictwa morskiego budują na obszarze Zatoki Puckiej muły (pyły) i miejscami piaski pylaste (subjednostka 4d), jeziorne dolnego holocenu (ryc. 2). Prawdopodobnie miąższość tych gruntów nie przekracza 5 m.

#### Podłoże gruntowe bardzo złe dla budownictwa morskiego

Pod względem geologiczno-inżynierskim są to grunty nieskaliste bardzo złe (ryc. 2) dla budownictwa morskiego (jednostka nr 5), reprezentowane przez grunty spoiste, wieku środkowego i górnego holocenu, które posiadają bardzo małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_r$  ( $< 50$  kPa). Można tutaj wymienić muły (pyły), łyły oraz namuły organiczne utworzone w czasie istnienia morza Mastogloii, morza lityrnowego, morza Limnaea i morza Mya. W zachodniej części polskiego Bałtyku wymienione grunty na głębokości 10 m poniżej dna morskiego nie występują (ryc. 1).

We wschodniej części polskiego Bałtyku grunty tego typu reprezentowane przez muły (pyły), łyły oraz namuły organiczne genezy morskiej środkowego i górnego holocenu występują na obszarze Basenu Gdańskiego (ryc. 2). Miąższość tych gruntów pod podłożem wynosi około 5 m.

#### PODŁOŻE GRUNTOWE NA GŁĘBOKOŚCI 20 M PONIŻEJ DNA MORSKIEGO

Szczegółowa analiza geologiczno-inżynierska gruntów polskiego Bałtyku na głębokości 20 m poniżej dna morskiego pozwoliła na wydzielenie wymienionych dalej

jednostek geologiczno-inżynierskich analizowanego podłoża gruntowego.

#### Podłoże bardzo dobre dla budownictwa morskiego

Podobnie jak w przypadku podłoża gruntowego położonego na głębokości 10 m poniżej dna morskiego należy tutaj również zaliczyć (jednostka nr 1) grunty skaliste (tab. 2) o bardzo dużych wartościach wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  ( $> 1$  MPa). W zachodniej części polskiego Bałtyku obszar występowania gruntów skalistych (ryc. 5) w analizowanym poziomie jeszcze bardziej się powiększył. Na zachód od Ławicy Słupskiej występuje dość znaczny obszar łupków ilastych syluru (subjednostka 1a) oraz w zachodniej części Rynny Słupskiej. Na wysokości Darłowa w kierunku wyspy Bornholm występuje bardzo duży obszar skał kredy (subjednostka 1fa) reprezentowanych przez mułowce i ıłowce, a w niektórych miejscach przez piaskowce (ryc. 5). Między izobatą 40 i 50 m na wysokości jeziora Resko występują również wychodnie skał kredy (subjednostka 1fb) prawdopodobnie reprezentowane przez wapienie (Dadlez, 1995), których wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  wynosi 10–100 MPa. Natomiast wychodnie skał kredy na wysokości jeziora Bukowo i Ustki (ryc. 5) zbudowane są ze skał klastycznych w postaci mułowców i ıłowców o wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  od 20 do 60 MPa. Wychodnie skał jury na wysokości jeziora Jamno (subjednostka 1e) budują skały węglanowe w postaci wapieni.

Łupki ilaste syluru (subjednostka 1a) występują w wielu miejscach wschodniej części polskiego Bałtyku (ryc. 6), w rejonie południowej części Basenu Gotlandzkiego, na obszarze pomostowym między Basenem Gotlandzkim a Rynną Słupską, w dnie Rynny Słupskiej (ryc. 6) oraz w części południowej Południowej Ławicy Środkowej i obszarze położonym od niej na wschód. Wychodnie skał dewonu (subjednostka 1b) zbudowane z wapieni o znacznych



**Tab. 2.** Parametry geotechniczne podłoża gruntowego polskiego Bałtyku na głębokości 20 m poniżej dna morskiego  
**Table 2.** Geotechnical parameters of the soil substrate of the Polish Baltic on the depth of 20 m below sea bottom

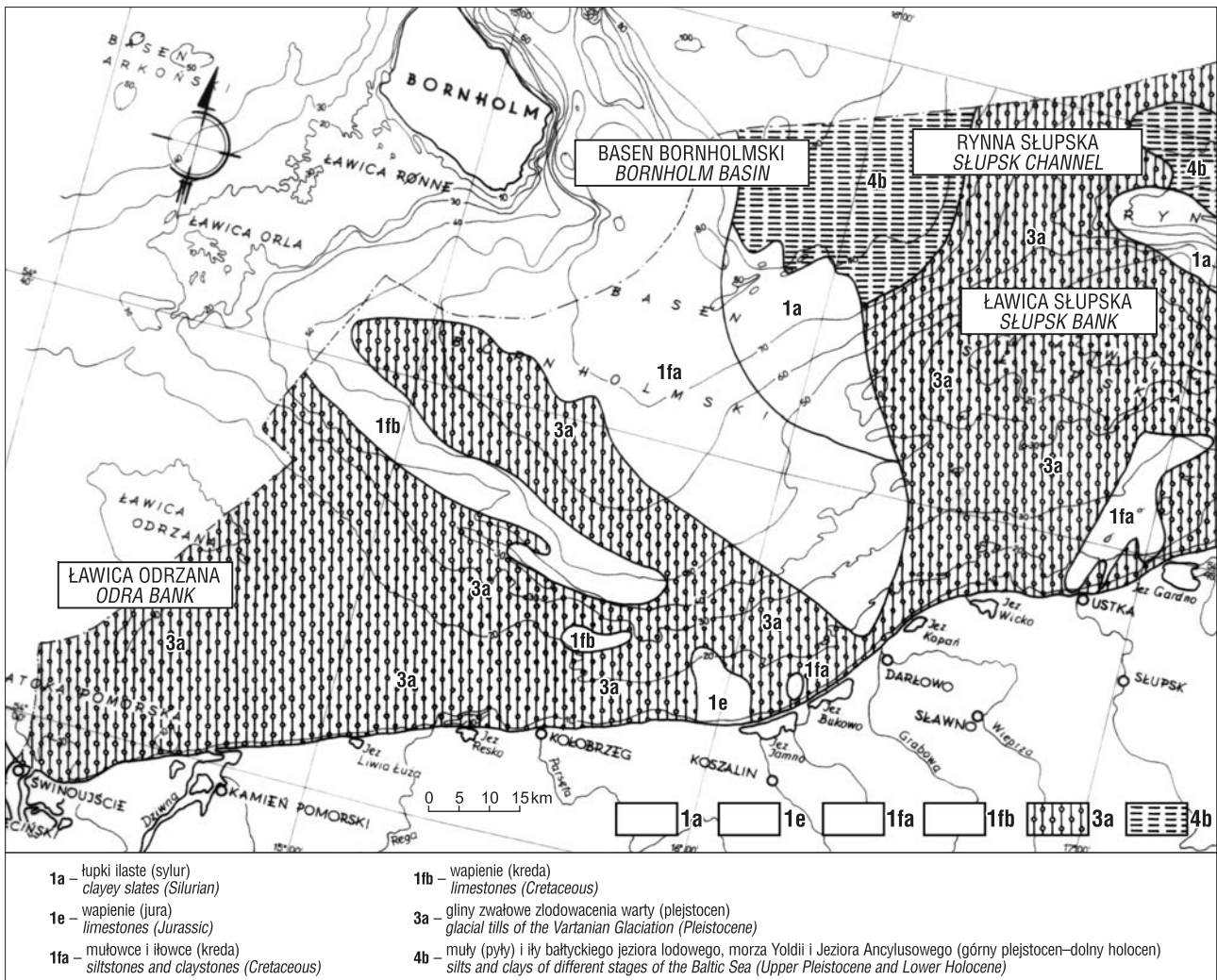
Jednostki geologiczno-inżynierskie <i>Engineering-geological units</i>	Typy litologiczne <i>Lithological types</i>	Geneza <i>Genesis</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Wartości przybliżone <i>Approximal values</i>					
				$I_D$	$I_L$	$\Phi$ [°]	$c$ [kPa]	$\tau_f$ [kPa]	$R_c$ [MPa]
1 Podłoże bardzo dobre dla budownictwa morskiego <i>Very good substrate for marine constructions</i>	1a łupki ilaste <i>clayey slates</i>	morskie <i>marine</i>	sylur <i>Silurian</i>	–	–	–	–	–	50–150
	1b wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	dewon <i>Devonian</i>	–	–	–	–	–	10–100
	1c piaskowce <i>sandstones</i>	morskie <i>marine</i>	perm <i>Permian</i>	–	–	–	–	–	15–150
	1d mułowce i iłowce <i>siltstones and claystones</i>	morskie <i>marine</i>	trias <i>Triassic</i>	–	–	–	–	–	20–60
	1e wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	jura <i>Jurassic</i>	–	–	–	–	–	10–100
	1fa mułowce i iłowce <i>siltstones and claystones</i>	morskie <i>marine</i>	kreda <i>Cretaceous</i>	–	–	–	–	–	20–60
	1fb wapienie <i>limestones</i>	morskie <i>marine</i>	kreda <i>Cretaceous</i>	–	–	–	–	–	10–100
2 Podłoże dobre dla budownictwa morskiego <i>Good substrate for marine constructions</i>	2a' piaski (Ps,Pd) <i>sands</i>	fluwialne <i>fluvial</i>	neogen <i>Neogene</i>	0,6–0,8	–	32–36	–	400–600	–
	2a piaski i żwiry (Pr,Ps,Pd,Ż) <i>sands and gravels</i>	morskie <i>marine</i>	i. eemski plejstocen <i>Eemian Interglacial Pleistocene</i>	0,5–0,7	–	30–35	–	300–500	–
	2d piaski i żwiry (Pr,Ps,Pd,Ż) <i>sands and gravels</i>	fluwialne <i>fluvial</i>	górnny plejstocen i dolny holocen <i>Upper Pleistocene and Lower Holocene</i>	0,4–0,6	–	30–33	–	300–400	–
3 Podłoże dostateczne dla budownictwa morskiego <i>Sufficient substrate for marine constructions</i>	3a' muły i iły <i>silts and clays</i>	limniczne <i>limnic</i>	neogen <i>Neogene</i>	–	0,1–0,2	23–20	55–45	250–350	–
	3a gliny zwałowe (Gp,G,Gπ) <i>glacial tills</i>	glacialne <i>glacial</i>	plejstocen zlodowacenie warty <i>Pleistocene Vartanian Glaciation</i>	–	0,1–0,3	20–15	45–35	200–300	–
4 Podłoże złe dla budownictwa morskiego <i>Bad substrate for marine constructions</i>	4b pyły (muły) i iły <i>silts and clays</i>	glacialno-limniczne, glacialno-morskie i limniczne <i>glacio-limnic, glacio-marine and limnic</i>	górnny plejstocen i dolny holocen <i>Upper Pleistocene and Lower Holocene</i>	–	0,2–0,5	15–10	18–10	80–100	–

miąższościach występują w rejonie południowo-wschodniej części Basenu Gotlandzkiego (ryc. 6). Posiadają dość duże wartości wytrzymałości na ściskanie (tab. 1,2). Na południe od tego rejonu występują wschodnie skały permu (subjednostka 1c) zbudowane ze skał klastycznych w postaci piaskowców o niedużej miąższości (poniżej 50 m). Podobna sytuacja występuje w rejonie południowych

zboczy Rynny Słupskiej (ryc. 6), ale tym razem jeszcze na większym obszarze. Skały tego typu, jak już wcześniej wspomniano (tab. 1,2), osiągają dość znaczne wartości wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  (15–150 MPa).

Na obszarze pomostowym między Rynną Słupską a Basenem Gdańskim występuje jeszcze większy obszar wschodni skał triasu (subjednostka 1d) reprezentowanych





Ryc. 5. Podłoże gruntowe zachodniej części polskiego Bałtyku na głębokości 20 m poniżej dna morskiego  
 Fig. 5. Soil substrate of the eastern part of the Polish Baltic Sea on the depth of 20 m below sea bottom

przez mułowce i iłowce o znacznych miąższościach. Na południe od tego obszaru występują wychodnie skał jury (subjednostka 1e) zbudowane z wapieni i margli o niezbyt dużych miąższościach. Natomiast w północno-zachodniej części Basenu Gdańskiego oraz na wysokości Lubiatowa i Karwi występują wychodnie skał kredy (subjednostka 1fa) jako mułowce i iłowce, miejscami skały węglanowo-krzemionkowe (ryc. 6) o dużych miąższościach.

#### Podłoże gruntowe dobre dla budownictwa morskiego

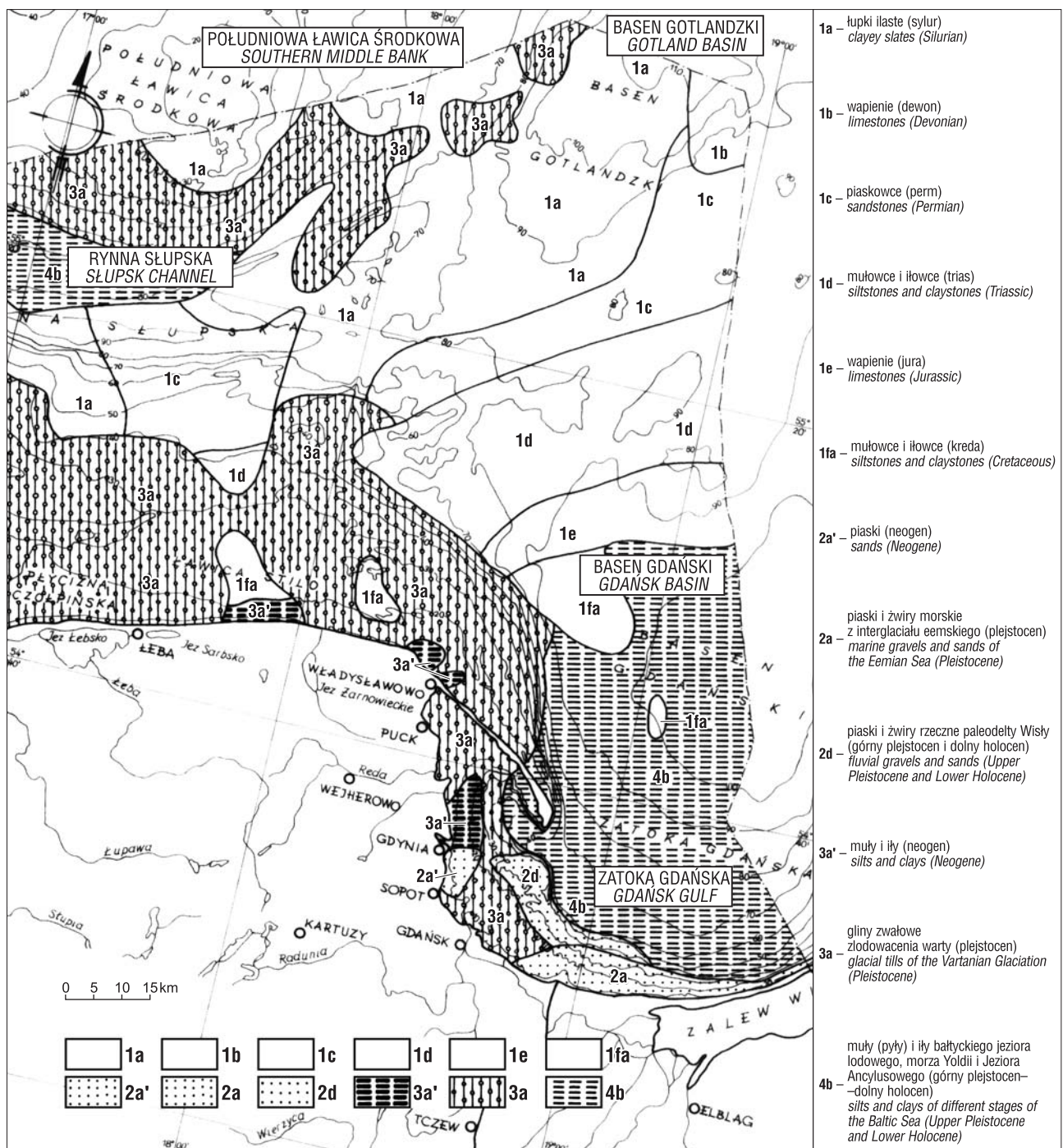
Podobnie jak w przypadku podłoża gruntowego położonego na głębokości 10 m poniżej dna morskiego należy tutaj również zaliczyć grunty nieskaliste dobre dla budownictwa morskiego (jednostka nr 2), reprezentowane przez grunty niespoiste (ryc. 5,6), wieku neogeńskiego, plejstoceniowego i holoceniowego, genezy fluwialnej i morskiej, które posiadają duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_r$  (300–1000 kPa) (tab. 2). W zachodniej części polskiego Bałtyku w analizowanym podłożu tego typu grunty nie występują (ryc. 5).

We wschodniej części polskiego Bałtyku (ryc. 6) podłoże gruntowe dobre dla budownictwa morskiego

tworzą piaski rzeczne neogenu (subjednostka 2a') występujące w rejonie Kępy Redłowskiej i Kępy Orłowskiej. Przypuszcza się, że miąższość opisywanych gruntów pod wymienionym podłożem wynosi około 5 m. Piaski neogeńskie, jak już wcześniej wspomniano, są bardzo zagęszczone (tab. 2). Następnie należy wymienić żwiry i piaski morskie z interglacjalnego eemskiego (subjednostka 2a) również o dobrych parametrach geotechnicznych (tab. 2). Kolejne wydzielenie (subjednostka 2d) tworzą żwiry i piaski rzeczne paleodelty Wisły w rejonie Gdyni (ryc. 6). Ocenia się, że miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi mniej niż 10 m.

#### Podłoże gruntowe dostateczne dla budownictwa morskiego

Podobnie jak w poprzedniej sytuacji są to grunty nieskaliste dostateczne (ryc. 5, 6) dla budownictwa morskiego (jednostka nr 3) reprezentowane przez grunty spoiste wieku neogeńskiego i plejstoceniowego, genezy limnicznej i glacialnej, które posiadają dość duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_r$  (100–300 kPa) (tab. 1). W zachodniej części polskiego Bałtyku należy wymienić gliny zwałowe zlodowacenia warty (subjednostka 3a). Gliny zwałowe tego zlo-



Ryc. 6. Podłoże gruntowe wschodniej części polskiego Bałtyku na głębokości 20 m poniżej dna morskiego  
Fig. 6. Soil substrate of the eastern part of the Polish Baltic Sea on the depth of 10 m below sea bottom

dowacenia występują w dalszym ciągu na obszarze Ławicy Słupskiej o miąższości pod podłożem do 10 m. Ponadto gliny zwałowe tego samego złodowacenia występują na bardzo dużym obszarze w części południowo-zachodniej analizowanego akwenu (ryc. 5). Ocenia się, że na tym obszarze pod podłożem miąższość tych osadów wynosi od 10 do 30 m, gdzie oprócz osadów złodowacenia warty spodziewane są osady złodowacenia odry, a może nawet starszych złodowaceń. Zwiększona miąższość występuje w pobliżu wybrzeża Bałtyku. Opisane grunty występują jeszcze na północ od Rynny Słupskiej o miąższości od 10 do 20 m i na południe od Ławicy Słupskiej o miąższości od 10 do 30 m, a nawet więcej na wysokości jeziora Wicko.

We wschodniej części polskiego Bałtyku podłoże dostateczne dla budownictwa morskiego w dalszym ciągu tworzą muły i ily pochodzenia limnicznego wieku neogennego (subjednostka 3a') usytuowane w pobliżu Karwi, Władysławowa i Kępy Oksywskiej (ryc. 6). W dalszym ciągu należy wymienić gliny zwałowe złodowacenia warty (subjednostka 2a) występujące w południowej części analizowanego akwenu. Ocenia się, że miąższość tych gruntów w tym rejonie pod opisanym podłożem wynosi od 10 do 20 m. Gliny zwałowe złodowacenia warty występują między południową częścią Basenu Gotlandzkiego a Południową Ławicą Środkową (ryc. 6) oraz w południowo-zachodniej części Zatoki Gdańskiej. Miąższość tych gruntów pod



podłożem wynosi od 10 do 20 m, a w rejonie Zatoki Puckiej przekracza nawet 30 m, gdzie mogą występować osady glacialne starszych zlodowaceń.

### Podłoże gruntowe złe dla budownictwa morskiego

Podobnie jak poprzednio są to grunty nieskaliste złe (ryc. 5, 6) dla budownictwa morskiego (jednostka nr 4) reprezentowane tylko przez grunty spoiste, wieku górnego plejstocenu i dolnego holocenu, genezy glacialno-morskiej i limnicznej, które posiadają małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (50–100 kPa). W zachodniej części polskiego Bałtyku należy wymienić muły (pyły) i łyły (subjednostka 4b) bałtyckiego jeziora lodowego, morza Yoldii i Jeziora Ancylusowego utworzone w górnym plejstocenie i dolnym holocenie, które występują w południowo-wschodniej części Basenu Bornholmskiego i w zachodniej części Rynny Słupskiej (ryc. 5). Miąższość tych gruntów pod analizowanym podłożem wynosi około 5 m.

We wschodniej części polskiego Bałtyku podłoże złe dla budownictwa tworzą także muły (pyły) i łyły bałtyckiego jeziora lodowego, morza Yoldii i Jeziora Ancylusowego górnego plejstocenu i dolnego holocenu (subjednostka 4b), które występują na niedużym obszarze Rynny Słupskiej oraz w rejonie Zatoki Gdańskiej i Basenu Gdańskiego (ryc. 6). Miąższość tych gruntów pod podłożem wynosi około 5 m.

### PODSUMOWANIE

Autorzy szczegółowo przeanalizowali wytrzymałość na ścinanie ( $\tau_f$ ) i wytrzymałość na ściskanie ( $R_c$ ) oraz inne ważne parametry geotechniczne takie jak: stopień zagęszczenia ( $I_D$ ), stopień plastyczności ( $I_L$ ), kąt tarcia wewnętrznego ( $\phi$ ), i kohezja ( $c$ ). Uwzględniono również kryteria geologiczne takie jak rodzaj osadów, geneza i wiek. Ważnym elementem analizy było określenie miąższości gruntów pod rozpatrywanym podłożem.

Podłoże gruntowe polskiego Bałtyku na głębokości 10 i 20 m poniżej dna morskiego zbudowane jest z wymienionych poniżej jednostek geologiczno-inżynierskich.

**Podłoże gruntowe bardzo dobre dla budownictwa morskiego**, zbudowane z najlepszych gruntów pod względem geologiczno-inżynierskim (jednostka nr 1), reprezentują grunty skaliste (tab. 1,2) o bardzo dużych wartościach wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  ( $> 1$  MPa). Na głębokości 10 m poniżej dna morskiego należy wyszczególnić (ryc. 1,2) łupki ilaste syluru (1a) o przypuszczalnej wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  od 50 do 150 MPa, wapienie dewonu (1b) o  $R_c$  od 10 do 100 MPa, piaskowce permu (1c) o  $R_c$  od 15 do 150 MPa, mułowce i iłowce triasu (1d) o  $R_c$  od 20 do 60 MPa, wapienie jury (1e) o  $R_c$  od 10 do 100 MPa, mułowce i iłowce kredy (1fa) o  $R_c$  od 20 do 60 MPa oraz wapienie kredy (1fb) o  $R_c$  od 10 do 100 MPa. Wymienione grunty pod analizowanym podłożem posiadają znaczne miąższości. Na głębokości 20 m poniżej dna morskiego występują te same grunty skaliste o bardzo dużych wartościach wytrzymałości na ściskanie (tab. 2) i jeszcze większym rozprze-

strzeniu niż poprzednio (ryc. 5, 6), również o znacznych miąższościach.

**Podłoże gruntowe dobre dla budownictwa morskiego** zbudowane z gruntów nieskalistych (jednostka nr 2) reprezentują grunty niespoiste wieku neogeńskiego, plejstoceniowego i holoceniowego, genezy fluwialnej, glacialno-fluwialnej i morskiej, które posiadają duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (300–1000 kPa) (tab. 1,2). Na głębokości 10 m poniżej dna morskiego (ryc. 1,2) występują osady piaszczyste neogenu (2a'), piaski i żwiry interglacjalne eemskiego (2a), piaski i żwiry różnej genezy (2b,2c,2d,2e) górnego plejstocenu, dolnego, środkowego i górnego holocenu. Miąższość wymienionych gruntów pod podłożem waha się od 5 do ponad 10 m. Na głębokości 20 m poniżej dna morskiego występują już tylko niektóre grunty niespoiste (ryc. 5,6) reprezentowane przez piaski neogenu (2a'), piaski i żwiry interglacjalne eemskiego (2a), piaski i żwiry górnego plejstocenu i dolnego holocenu (2d). Miąższość tych gruntów pod podłożem wynosi od 5 do 10 m.

**Podłoże gruntowe dostateczne dla budownictwa morskiego** zbudowane z gruntów nieskalistych (jednostka nr 3) reprezentują grunty spoiste, wieku neogeńskiego i plejstoceniowego, genezy limnicznej i glacialnej, które posiadają (tab. 1,2) dość duże wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (100–300 kPa). Na głębokości 10 m poniżej dna morskiego (ryc. 1,2) należy wymienić muły i łyły neogenu (3a'), gliny zwałowe zlodowacenia warty (3a) oraz gliny zwałowe zlodowacenia wisły (3b). Miąższość omawianych gruntów pod podłożem wynosi od 20 do 40 m, a w przypadku osadów zlodowacenia wisły tylko 5 m. Na głębokości 20 m poniżej dna morskiego występują tylko muły i łyły neogenu (3a') oraz gliny zwałowe zlodowacenia warty (3a) (ryc.5,6). Miąższość tych gruntów wynosi od 10 do 30 m.

**Podłoże gruntowe złe dla budownictwa morskiego** zbudowane z gruntów nieskalistych (jednostka nr 4) reprezentują grunty spoiste i niespoiste, wieku górnego plejstocenu i dolnego holocenu, genezy zastoiskowej, eolicznej, glacialno-morskiej i jeziornej, które posiadają małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  (50–100 kPa) (tab. 1, 2). Na głębokości 10 m poniżej dna morskiego (ryc. 1, 2) występują muły i łyły górnego plejstocenu (4a), muły i łyły górnego plejstocenu i dolnego holocenu (4b), piaski górnego plejstocenu (4c), pyły i piaski pylaste dolnego holocenu (4d). Miąższość tych gruntów waha się od 5 do 10 m. Na głębokości 20 m poniżej dna morskiego (ryc. 5, 6) występują tylko muły i łyły górnego plejstocenu i dolnego holocenu (4b). Miąższość omawianych gruntów wynosi około 5 m.

**Podłoże gruntowe bardzo złe dla budownictwa morskiego** zbudowane z gruntów nieskalistych (jednostka nr 5) reprezentują grunty spoiste, wieku środkowego i górnego holocenu, które posiadają bardzo małe wartości wytrzymałości na ścinanie  $\tau_f$  ( $< 50$  kPa) (tab. 1). Na głębokości 10 m poniżej dna morskiego występują łyły, muły i namuły organiczne środkowego i górnego holocenu (5). Występują tylko we wschodniej części polskiego Bałtyku (ryc. 2) i osią-



gają miąższość do 5 m. Na głębokości 20 m poniżej dna morskiego wymienione grunty nie występują.

### LITERATURA

- DADLEZ R. 1995 – Mezozoik. [W:] J.E.Mojski (red.) Atlas geologiczny południowego Bałtyku. Pol. Agencja Ekol.
- JEGLIŃSKI B. & PRUSZKOWSKI J. 1981 – Metodyka badań geologiczno-inżynierskich dla inwestycji portowych na przykładzie Portu Północnego. Materiały konferencji naukowej nt. Geologiczno-inżynierskie badania wybrzeża i dna Bałtyku Południowego, Gdańsk.
- KASZUBOWSKI L.J. 1989 – Czwartorzęd Zatoki Koszalińskiej w świetle badań sejsmoakustycznych. Studia i Materiały Oceanologiczne, 56. Gdańsk.
- KASZUBOWSKI L.J. & COUFAL R. 2008 – Preliminary engineering-geological division of the Baltic Sea bottom (Polish part) in the light of geological maps of the Baltic and seismoacoustic research. 11<sup>th</sup> Baltic Geotechnical Conference, Poland, Gdańsk.
- KASZUBOWSKI L.J. & COUFAL R. 2010 – Wstępny podział geologiczno-inżynierski dna polskiej części Morza Bałtyckiego. Inżynieria Morska i Geotechnika, 3: 392–401.
- KASZUBOWSKI L.J. & COUFAL R. 2011 – Analiza geologiczno-inżynierska polskiej części Morza Bałtyckiego. Biul. Państw. Inst. Geol., 446/2:341–350.
- KRAMARSKA R., UŚCINOWICZ Sz. & ZACHOWICZ J. 2002 – Kenozoik południowego Bałtyku – wybrane problemy. Prz. Geol., 50: 709–717.
- LOOK B.G. 2007 – Handbook of geotechnical Investigation and Design Tables. Routledge.
- PIECZKA F.B. 1981 – Charakterystyka geologiczno-inżynierska osadów dennych Bałtyku. Materiały konferencji naukowej nt. Geologiczno-inżynierskie badania wybrzeża i dna Bałtyku Południowego, Gdańsk.
- POŻARYSKI W. 1979 – Mapa geologiczna Polski i krajów ościennych bez utworów kenozoicznych. Państw. Inst. Geol.
- RACINOWSKI R. & COUFAL R. 1999 – Przewodnik do ćwiczeń z geologii inżynierskiej. Politech. Szcz.
- ROSA W. & WYPYCH K. 1981 – Sejsmostratygrafia dna Bałtyku Południowego. Materiały konferencji naukowej nt. Geologiczno-inżynierskie badania wybrzeża i dna Bałtyku Południowego, Gdańsk.
- UŚCINOWICZ Sz. 1995 – Quaternary of the Gdańsk Basin. Proceedings of the Third Marine Geological Conference "The Baltic". Pr. Państw. Inst. Geol., 149: 67–70.