

# Warunki geologiczno-inżynierskie w obrębie dawnej rynny jeziornej wraz z przykładem posadowienia budynku

Agnieszka Gontaszewska-Piekarz<sup>1</sup>, Maciej Chodorowski<sup>2</sup>, Piotr Kuśnierz<sup>3</sup>

**Geological and engineering conditions in the area of the former lake channel – an example of the building foundations.** Prz. Geol., 72: 781–788; doi: 10.7306/2024.67

*Abstract.* The paper describes the geological structure of the area by the one of the largest lakes of the Lubuskie Lake District – Lake Niesłysz. The area, which was once meadows, is now intended for residential development. As the geological and geotechnical research shows, there are thick organic sediments in the subsoil: peats, gyttja and lake chalks. Geological data show that there was a water reservoir in the form of a ribbon lake. The organic soils were deposited in a standard geological setting, but due to their young age and location, they turned out to be above average weak and compressible. For the purposes of this study, data from 17 research points, consisting of CPTu drillings and soundings as well as hydrogeological drillings, were used. On their basis, a model of the geological structure of the former water reservoir was created. The following part of the work also presents the parameters of organic soils and the underlying mineral soils, obtained from CPTu investigations. Due to very unfavorable conditions and the need for piling, the building was designed and constructed in only 4 cases. Examples of foundation calculations for one of the tested area are presented.

**Keywords:** low-bearing soils, peat, building foundation, CPT probing

Praca opisuje budowę geologiczną terenu przylegającego od północy do jednego z większych jezior Pojezierza Lubuskiego – jeziora Niesłysz. Teren, w przeszłości użytkowany jako łąka, jest obecnie przeznaczony pod zabudowę mieszkalną. Jak wykazują przeprowadzane badania geologiczne i geotechniczne, w podłożu występują miększe osady organiczne: torfy oraz gytje i kredy jeziorne. Z danych geologicznych wynika, że był to zbiornik wodny o charakterze jeziora rynnowego. Grunty organiczne zostały zdeponowane w typowym dla takiego środowiska układzie geologicznym, jednak z uwagi na młody wiek i lokalizację okazały się ponadprzeciętnie słabe i ściśliwe.

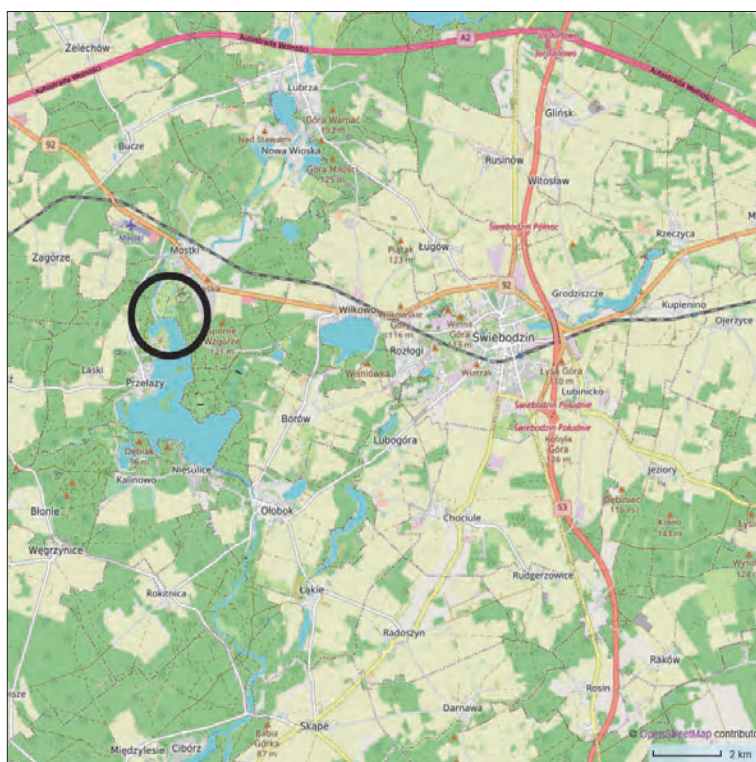
Dla celów niniejszej pracy wykorzystano dane z 17 punktów (węzłów) badawczych, składających się z wierceń oraz sondowań CPTu oraz wierceń hydrogeologicznych. Na ich podstawie stworzono model budowy geologicznej dawnego zbiornika wodnego. W dalszej części pracy przedstawiono także parametry geologiczno-inżynierskie gruntów organicznych oraz podścielających je gruntów mineralnych, uzyskane z sondowań CPTu. Ze względu na bardzo niekorzystne warunki i konieczność palowania zaledwie w 4 przypadkach doszło do zaprojektowania i postawienia budynku. Przedstawiono przykładowe obliczenia posadowienia pośredniego dla jednej z badanych działek.

## MORFOLOGIA I GENEZA TERENU

Teren badań położony jest na północnym brzegu jeziora Niesłysz w powiecie świebodzińskim, w województwie lubuskim (ryc. 1). Znaj-

duje się on w obrębie Pojezierza Łagowskiego, utworzonego na wysoczyźnie morenowej powstałej w fazie leszczyńskiej zlodowacenia wisły. W okolicy jeziora występują liczne pagórki morenowe.

Linia brzegowa jeziora jest dobrze rozwinięta, ma ono wiele zatok oraz półwyspów, co powoduje jego nieregularny kształt. Na jeziorze znajdują się trzy wyspy: Koziniec,



**Ryc. 1.** Lokalizacja jeziora Niesłysz oraz terenu badań  
**Fig. 1.** Location of Lake Niesłysz and the research area

<sup>1</sup> Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski, ul. prof. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; [AGea.geologia@interia.pl](mailto:AGea.geologia@interia.pl); ORCID ID: 0000-0003-2902-0673.

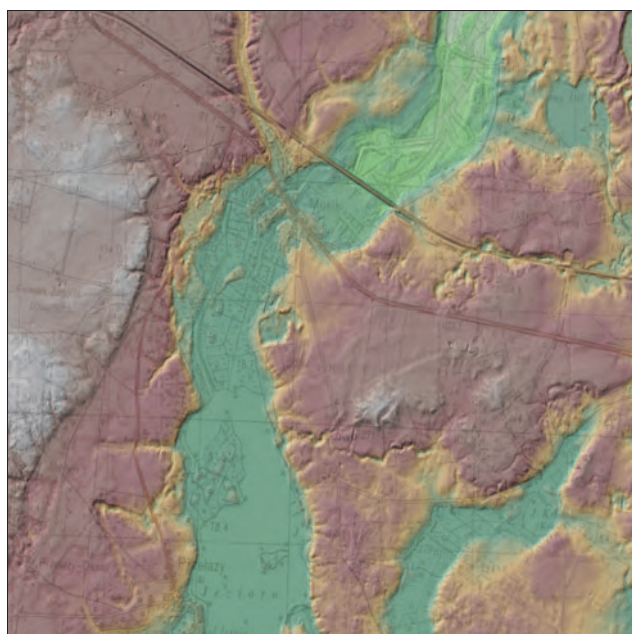
<sup>2</sup> INŻYNIERIA Maciej Chodorowski, ul. Strumykowa 21B/10, 65-101 Zielona Góra; [inzynieria@mchodorowski.pl](mailto:inzynieria@mchodorowski.pl)

<sup>3</sup> SOILIS Piotr Kuśnierz, ul. Węgierska 3/15, 65-941 Zielona Góra; [info@soilis.pl](mailto:info@soilis.pl)



Ryc. 2. Kształt jeziora Niesłysz na mapach: A – z 1852 r. (Reymann's Special Karte), B – z roku ok. 1980 (Mapa topograficzna w skali 1 : 10 000)

Fig. 2. The shape of Lake Niesłysz on maps: A – from 1852 (Reymann's Special Karte), B – from around 1980 (Topographic map in scale 1 : 10 000)



Ryc. 3. Północna część jeziora Niesłysz na cieniowanej mapie hipsometrycznej (geoportal.gov.pl)

Fig. 3. The northern part of Lake Niesłysz on the shaded hypsometric map (geoportal.gov.pl)

Ostrowie, Ptasia, które w 1960 r. zajmowały 10,4 ha, a wg danych z 2015 r. już 18 ha (ryc. 2).

Powierzchnia zwierciadła wody jeziora to 526 ha, średnia głębokość zbiornika to 6,9 m, a maksymalna – 34,7 m. Lustro wody znajduje się na wysokości 78,4 m n.p.m. (Choiński, 1995).

Jezioro Niesłysz jest zasilane wodą podziemną oraz ciekami z jezior Złoty Potok, Czarny Dół oraz Księżno. Powierzchnia zlewni całkowitej wynosi 51,4 km<sup>2</sup>. Jezioro Niesłysz ma dwa odpływy wód – na południe odpływ odbywa się rzeką Ołobok, a na północ Kanałem Niesulickim. Od 1960 r. odpływ wód na północ został zamknięty za pomocą zastawki i od tego czasu całość wód jest odprowadzana jest odpływem południowym w kierunku Odry.

Jezioro Niesłysz ma pochodzenie poligenetyczne, północna część jest pochodzenia rynnowego, a południowa morenowego. Rynnowy charakter północnej części zbiornika nie jest obecnie widoczny w kształcie jeziora, lecz jest doskonale rozpoznawalny w analizie morfologicznej przyległego terenu (ryc. 3). Ukształtowanie terenu wskazuje, że rynna jeziorna była znacznie dłuższa w kierunku północnym i mogła sięgać w okolice miejscowości Lubrza. Geneza jezior rynnowych nie jest w pełni wyjaśniona, przyjmuje się obecnie, że są one rezultatem erozji glacialnej (Choiński, 2007). Najbardziej charakterystyczną cechą jezior rynnowych jest ich kierunkowość (północ–południe), a inne to znaczne głębokości, dno o nierównomiernej konfiguracji (przegłębienia i płycizny) oraz duże spadki stoków dna, co można obserwować także w przypadku opisywanej części jeziora Niesłysz. Większa część rynnowego fragmentu tego jeziora jest obecnie wypełniona osadami jeziornymi.

Poligon badawczy jest położony w obrębie dawnej rynny jeziornej. Część północna znajduje się bezpośrednio na północ od jeziora i stanowi podmokłą łąkę przeciętą rowami melioracyjnymi oraz sztucznym Kanałem Niesulickim (obecnie „ślepo” zakończonym), który jest częścią Międzyrzeckiego Rejonu Umocnionego. Południowa część to niewielki półwysep. Teren badań jest bardzo płaski (rzędna ok. 79 m n.p.m.), z wyjątkiem kilku fragmentów, gdzie wznosi się ok. 2–3 m wyżej – są to najprawdopodobniej dawne wyspy jeziorne.

#### DANE GEOLOGICZNE

Teren badań jest dwudzielny: część północna jest położona bezpośrednio na północ od brzegu jeziora (ryc. 4), a część południowa tworzy półwysep, oddzielony Zatoką Juliusza (ryc. 5). Na obu tych częściach autorzy wykonali w ostatnich latach badania na kilkunastu działkach przewidzianych pod zabudowę mieszkaniową lub letniskową, na podstawie których wykonano opinie geotechniczne bądź dokumentacje badań podłoża gruntowego. W zależności od celu badań (wstępne badania przed zakupem działki lub badania dla celów projektowych budynku) wykonywano od jednego do trzech sondowań statycznych CPTu oraz co



**Ryc. 4.** Północna część badanego terenu z Kanałem Niesulickim. Fot. G. Walkowski

**Fig. 4.** The northern part of the study area with the Niesulicki Canal. Photo by G. Walkowski



**Ryc. 5.** Południowa część badanego terenu (półwysp). Fot. G. Walkowski

**Fig. 5.** The southern part of the study area (peninsula). Photo by G. Walkowski

najmniej jedno wiercenie okrętne lub udarowe (typu RKS). Sondowanie statyczne jest obecnie najważniejszym badaniem *in situ* wg standardów ISO (Sikora, 2006; Tarnawski, 2020).

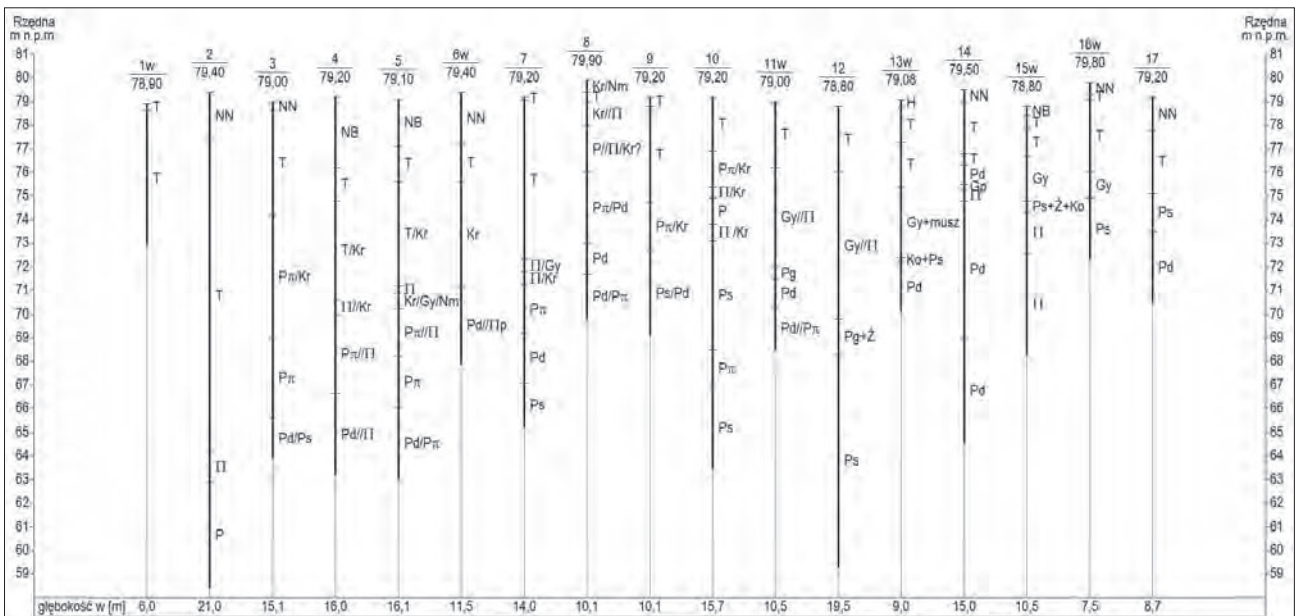
Dla celów niniejszej pracy wykorzystano 17 punktów badawczych (działka/budynek) i dla każdego z nich wybrano jedno reprezentatywne sondowanie CPTu oraz jedno odwiert. W niektórych punktach wykonano wyłącznie wiercenia, punkt taki oznaczono literą „w”. Łącznie wykorzystano w pracy dane z 13 odwiertów do maksymalnej głębokości 15 m oraz 12 sondowań statycznych CPTu do maksymalnej głębokości 21 m. Ich zestawienie pokazano na ryc. 6, a lokalizację na ryc. 7.

## MODEL GEOLOGICZNY

Do budowy modelu geologicznego posłużono się danymi z wierceń, sondowań statycznych oraz profili hydrogeologicznych okolicznych ujęć wody. Wynika z nich, że wypełniona obecnie osadami organicznymi rynna jeziorna jest wcięta w osady piaszczyste oraz gliniaste związane ze zlodowaceniem wisły. Głębokość tej rynny wynosiła co najmniej 16,5 m, możliwe jednak, że było to znacznie więcej, gdyż aktualna maksymalna głębokość jeziora Niesłysz przekracza 30 m.

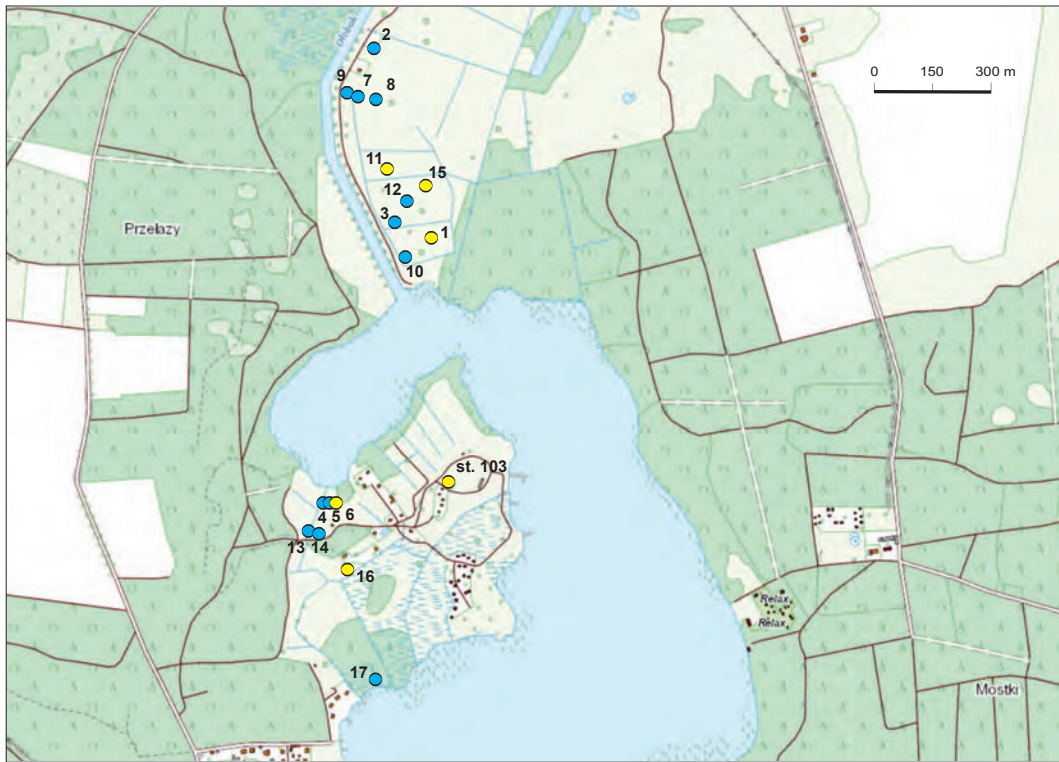
Rynna jeziorna jest wypełniona typowymi osadami jeziornymi: mułkami (wykształconymi jako pyły), gytjami, kredą jeziorną oraz torfami. Ich miąższości są bardzo zmienne, a miejscami torf zalega bezpośrednio nad mułkami jeziornymi. W spągu serii osadów jeziornych zalega piasek, nie został on (w obrębie badanego terenu) przewiercony w żadnym z punktów badawczych.

Mułki jeziorne mają z reguły niewielką miąższość (ok. 1 m) i są najczęściej wykształcone jako pyły. Kredę

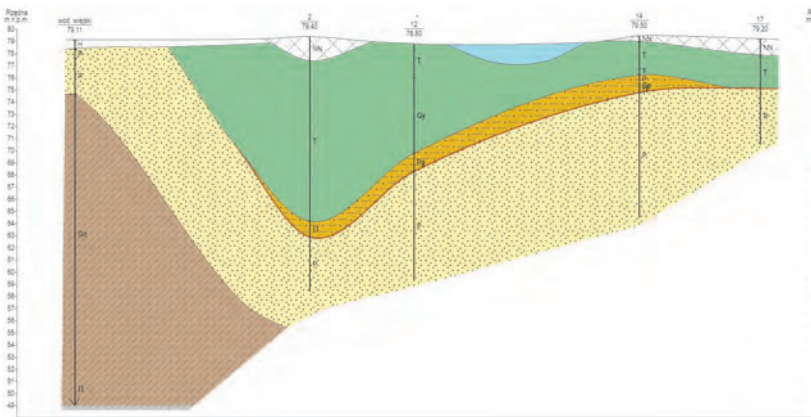


**Ryc. 6.** Zestawienie punktów badawczych. Litera „w” przy numerze oznacza, że wykonano wyłącznie wiercenia. Objaśnienia: P – piasek (P<sub>π</sub> – pylasty, Pd – drobny; Ps – średni); G<sub>π</sub> – glina pylasta; II – pył, Pg – piasek gliniasty; Ż – żwir, Ko – kamienie; T – torf, Gy – gytja; Kr – kreda jeziorna; NN, NB – nasypy; H – gleba

**Fig. 6.** List of research points. The letter “w” next to the number means that only drilling was performed. Explanations: P – sand (P<sub>π</sub> – silty sand, Pd – fine sand; Ps – medium sand); G<sub>π</sub> – clayey silt, II – silt, Pg – clayey sand; Ż – gravel, Ko – boulder; T – peat, Gy – gyttja; Kr – lake chalk; NN, NB – filled ground, H – humus

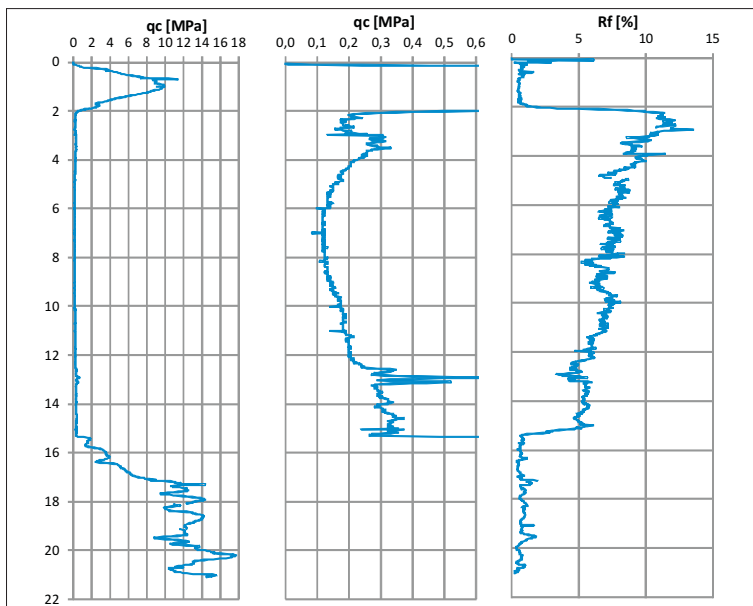


**Ryc. 7.** Lokalizacja punktów badawczych. Kolor żółty – wyłącznie wiercenia, niebieski – wiercenia oraz CPTu  
**Fig. 7.** Location of research points. Yellow – drilling only, blue – drilling and CPTu



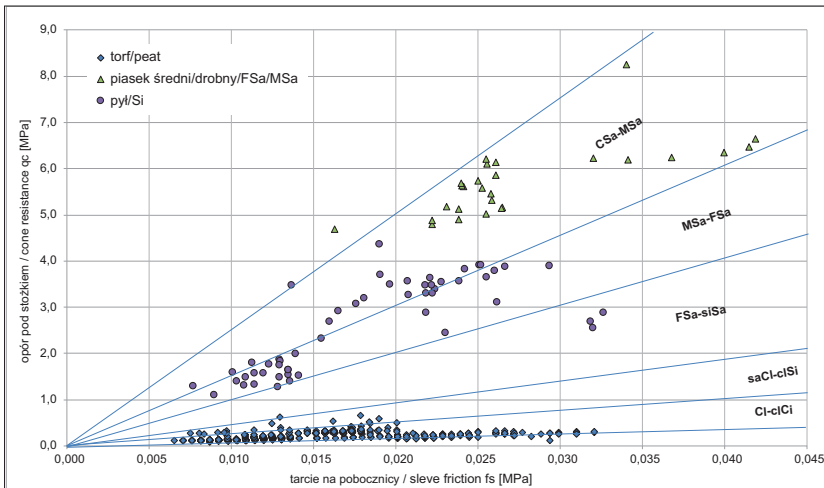
**Ryc. 8.** Zgeneralizowany przekrój geologiczny N-S przez dawną rynną jeziorną. Objaśnienia: P – piasek; Gπ – glina pylasta, Π – pył, Pg – piasek gliniasty; T – torf, Gy – gytja; NN – nasypy, H – gleba

**Fig. 8.** Generalized geological cross-section N-S through the former lake channel. Explanations: P – sand; Gπ – clayey silt, Π – silt, Pg – clayey sand; T – peat, Gy – gyttja; NN – filled ground, H – humus



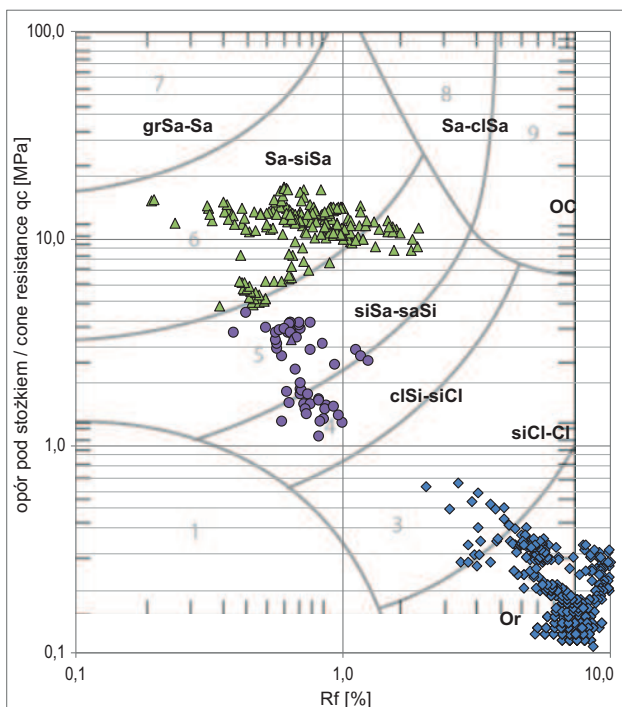
**Ryc. 9.** Wykres zmienności oporu stożka  $q_c$  [MPa] oraz współczynnika  $R_f$  [%] w punkcie 2.

**Fig. 9.** Graph of variability of cone resistance  $q_c$  [MPa] and  $R_f$  factor [%] at point 2.



←

**Ryc. 10.** Wyniki sondowania CPTu w punkcie 2. na zmodyfikowanym diagramie Marra (PN-B-04452:2002, zmienione)  
**Fig. 10.** Results of CPTu probing at point 2. on the modified Marr diagram (PN-B-04452:2002, changed)



**Ryc. 11.** Wyniki sondowania CPTu w punkcie 2. na wykresie Robertsona, oznaczenia jak na ryc. 10 (Robertson, Cabal, 2010)  
**Fig. 11.** Results of CPTu probing at point 2. on the Robertson chart, markings as in Fig. 10 (Robertson, Cabal, 2010)

jeziorną stwierdzono jak dotąd wyłącznie w południowej części badanego terenu, na półwyspie. Jej miąższość nie przekracza 4 m, a niekiedy stanowi wyłącznie przewarstwienia w obrębie torfów.

Miąższość gytii jest bardzo problematyczna, gdyż jej odróżnienie od torfów w wykonanych sondowaniach statycznych jest praktycznie niemożliwe. W wierceniach jej miąższość przekraczała 6 m. W obrębie gytii stwierdzono liczne domieszki muszli ślimaka *Valvata piscinalis*.

Największe miąższości (ponad 15 m) osiągają torfy, charakteryzujące się różnym stopniem rozłożenia. Spągowe partie (rozpoznane wyłącznie sondowaniami CPTu) mogą stanowić tu także namuły.

Uproszczony model budowy geologicznej badanego terenu przedstawiono na rycinie 8. Wykorzystano w nim także profil studni ujęcia wiejskiego we wsi Mostki, znajdujący się poza dawną rynną jeziorną.

## WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

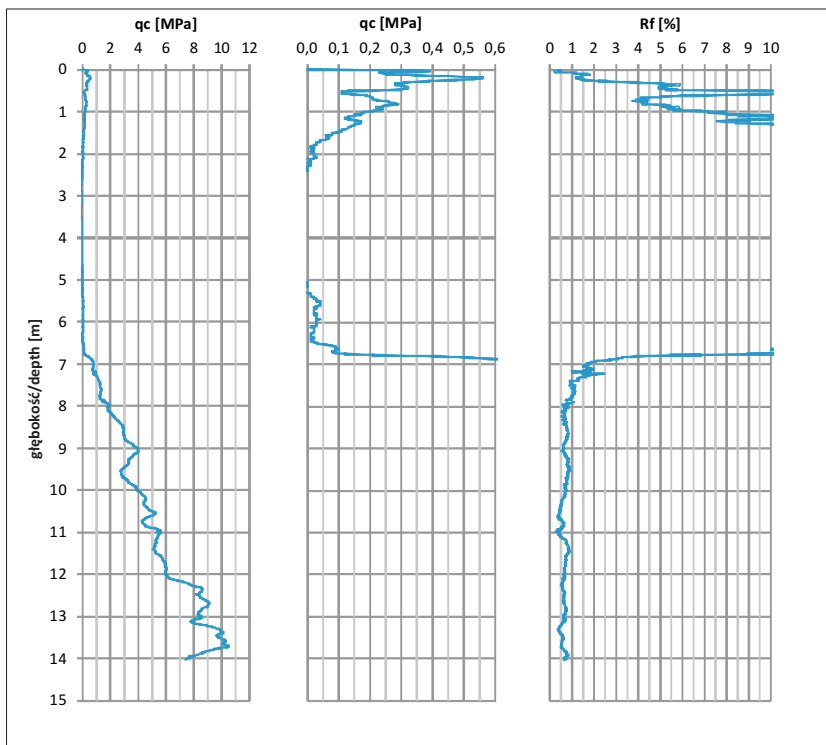
Opisane powyżej badania były wykonywane na potrzeby projektowe budynków mieszkalnych. Północna część terenu badań, położona na północ od jeziora, wzdłuż Kanału Niesulickiego, do 2010 r. była użytkowana wyłącznie jako łąka, później nieużytki. Teren ten był niedostępny dla cięższego sprzętu ze względu na występowanie warstwy ekstremalnie słabego torfu. Zwierciadło wody gruntowej występuje praktycznie równo z powierzchnią terenu lub kilkanaście cm poniżej.

Pierwsze próby posadawiania budynków (bez właściwych badań) na nasypach tłuczniowych utworzonych na torfach zakończyły się niepowodzeniem, nasyp wraz z płytą fundamentową osiadł ok. 80 cm. W kolejnych latach pod budynki wykonywano sondowania CPTu oraz wiercenia. W trakcie wierceń za pomocą sprzętu udarowego (RKS), próbnik pogrążał się aż do stropu warstw gruntów organicznych wyłącznie za pomocą ciężaru własnego. Wykonywanie sondowań CPTu było bardzo ograniczone ze względu na możliwość wjazdu sprzętu.

Nieco lepsza sytuacja panuje w południowej części terenu, na półwyspie. Teren ten od kilkadziesiąt lat jest użytkowany przez ośrodek wypoczynkowy, na większości powierzchni znajduje się nasyp piaszczysty.

Dla każdego z punktów badawczych, w zależności od celu badań (wstępne, do projektu) wykonano 1–3 sondowania statyczne CPTu oraz co najmniej jedno wiercenie okrętne lub udarowe (RKS). Poniżej przedstawiono wyniki sondowań dla punktu o największej miąższości osadów organicznych (punkt 2.) oraz punktu, w którym wystąpiły najniższe wartości  $q_c$  ( $q_c = 0,00–0,01$  MPa) – punkt 7. (ryc. 9–13).

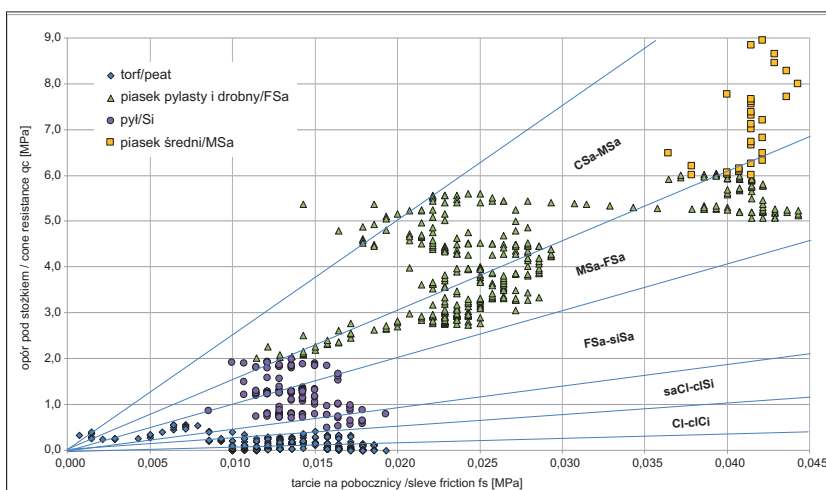
Warunki geologiczno-inżynierskie opisywanego terenu są bardzo trudne. Generalnie na całym badanym terenie występuje warstwa bardzo słabych torfów o miąższości 2–15 m. Na części terenu (głównie półwysp) bywają one podścielone warstwą kredy jeziornej bądź gytii. Opór pod stożkiem dla gruntów organicznych (często nie jest widoczna różnica pomiędzy torfem a kredą, ich identyfikacja jest możliwa wyłącznie za pomocą wierceń) mieści się w zakresie 0–0,2 MPa. W punkcie 7. przez ok. 4 m sondowania odczyty wskazywały 0 MPa (ryc. 10). Są to wartości skrajnie niskie, rzadko notowane w literaturze (np. Lechowicz, 2013; Straż, 2014).



←

Ryc. 12. Wykres zmienności oporu stożka  $q_c$  [MPa] oraz współczynnika  $R_f$  [%] w punkcie 9.

Fig. 12. Graph of variability of cone resistance  $q_c$  [MPa] and  $R_f$  factor [%] at point 9.



←

Ryc. 13. Wyniki sondowania CPTu w punkcie 7. na zmodyfikowanym diagramie Marra (PN-B-04452:2002, zmienione)

Fig. 13. Results of CPTu probing at point 7. on the modified Marr diagram (PN-B-04452:2002, changed)

Wilgotność torfów mieści się w zakresie 400–600% (ryc. 12), a zawartość substancji organicznej określona za pomocą strat przy prażeniu (Myślińska, 2001) mieści się w przedziale 88,62–92,04% (próbki z głęb. 1–5 m p.p.t.). W części przypowierzchniowej torfy charakteryzują się słabym stopniem rozłożenia, wyraźną strukturą włóknistą i bardzo dobrze widocznymi składnikami roślinnymi (trzcina). Wartości wilgotności oraz zawartości  $I_{om}$  są typowe jak dla torfu trzcinowego (Wierzbicki, 2015).

Warstwa tak słabych torfów jest ogromnym problemem nie tylko w aspekcie posadowienia budynku, lecz nawet w wykonawstwie samych badań – miejscami niemożliwy jest wjazd jakiegokolwiek sprzętu, w tym palownicy. Problematyczne jest także wykonawstwo mediów podziemnych oraz dróg dojazdowych.

Poniżej warstwy torfów najczęściej stwierdzano warstwę pyłów o niewielkiej miąższości. Są one trudne do identyfikacji na wykresach CPTu, ze względu na dość niski współczynnik  $R_f$ .

Grunt nośny stanowią dopiero piaski występujące pod kompleksem osadów jeziornych. W stropie charakteryzują

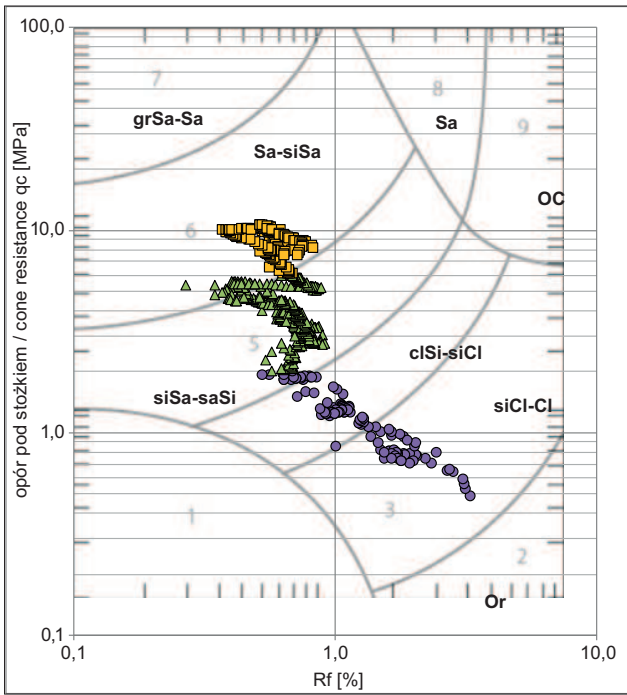
się one dość słabym zagęszczeniem (ok.  $I_D = 0,3$ ), a następnie wzrasta ono do  $I_D = 0,5–0,6$ . Opór pod stożkiem sondy w piaskach nie przekracza z reguły 12–14 MPa.

### PRZYKŁAD POSADOWIENIA BUDYNKU MIESZKALNEGO

W południowej części opisywanego terenu, gdzie panują bardziej korzystne warunki gruntowe (głównie mniejsza miąższość torfów), zaprojektowano osiedle 24 domków letniskowych. Konieczne było rozwiązanie posadowienia budynków jako pośredniego na palach, które przeniosą obciążenia na warstwy nośne gruntu zalegające poniżej wspomnianych gruntów organicznych. Dla każdego z budynków wykonano sondowanie CPTu (ryc. 16).

Projektowane domki letniskowe to lekkie konstrukcje posadowione na ruszcie drewnianym, który został oparty punktowo na palach fundamentowych, zrezygnowano z żelbetonowych ocepów ze względu na ich ciężar. Układ pali pod rusztem zaprezentowano na rycinie 17.

W związku z utrudnionym dojazdem spowodowanym występowaniem torfów od powierzchni terenu do wykonywania pali przewidziano lekką wiertnicę o masie poniżej 10 t. Uniknięto w ten sposób wykonywania grubej платфор-

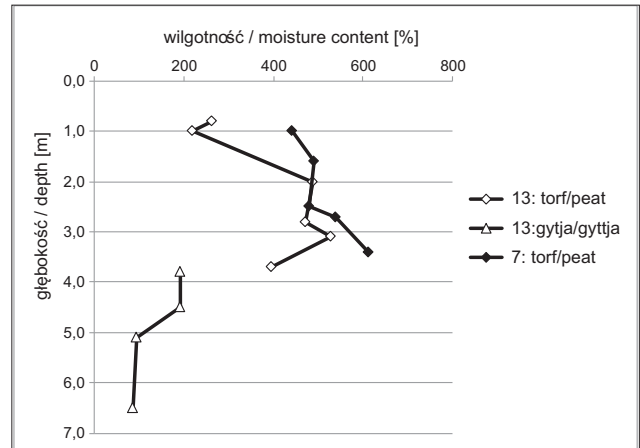


Ryc. 14. Wyniki sondowania CPTu w punkcie 2. na wykresie Robertsona, legenda jak na ryc. 11. Torfy nie są widoczne na wykresie, gdyż ich  $q_c < 0,1$  (Robertson, Cabal, 2010)

Fig. 14. Results of CPTu probing at point 2. on the Robertson chart, legend as in Fig. 11. Peats are not visible on the chart because their  $q_c < 0.1$  (Robertson, Cabal, 2010)

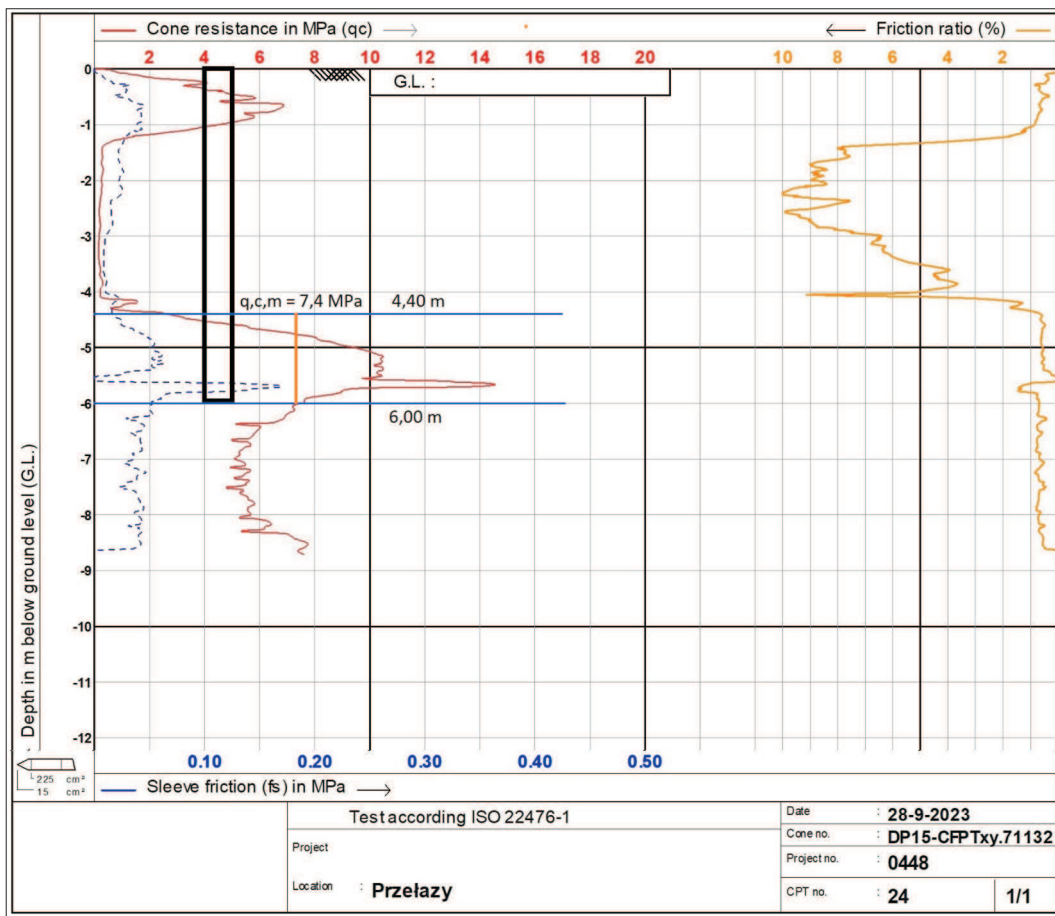
my roboczej, wystarczyło wyrównanie terenu i wykonanie cienkiej podbudowy.

Na podstawie wykonanych badań podłoża gruntowego, w szczególności sondowań CPTu, stwierdzono, że wytrzymałość na ścinanie su gruntów organicznych ma wartość większą od 15 kPa, co pozwala na zastosowanie technologii wierconych pali wykonywanych na budowie. Biorąc pod uwagę niewielkie ciężary budynków lotniskowych, zaprojektowano mikropale fundamentowe o śr. 300 mm.



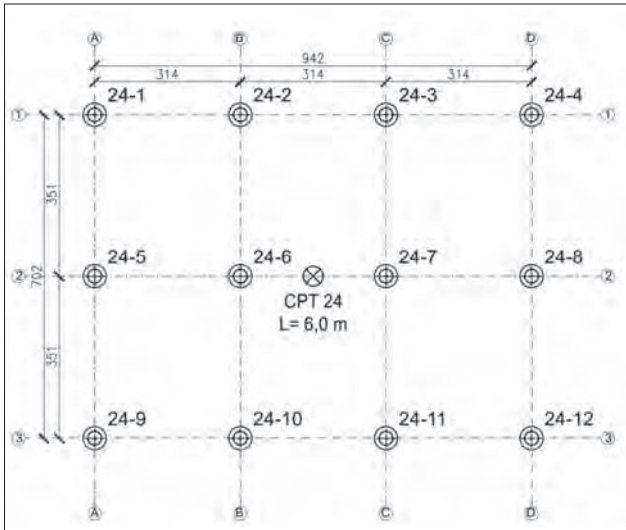
Ryc. 15. Wykres wilgotności torfów oraz gytii na poszczególnych głębokościach

Fig. 15. Graph of peat and gyttja moisture content at different depths



Ryc. 16. Parametry wyznaczone na podstawie sondowania CPTu (średnie opory pod stożkiem)

Fig. 16. Parameters determined based on CPTu testing (average cone resistance)



Ryc. 17. Układ pali pod rusztem  
Fig. 17. Pile arrangement under the grate

Obliczenia nośności pala fundamentowego wykonano wg wytycznych Eurokodu 2 – obliczenia wytrzymałości wewnętrznej pala oraz Eurokodu 7 – obliczenia nośności zewnętrznej. Obliczenia nośności zewnętrznej wykonano wykorzystując bezpośrednio wyniki wykonanych sondowań statycznych CPTu. Biorąc pod uwagę wielkość obiektów (domek letniskowy), dla każdego z nich wykonano po jednym sondowaniu. W obliczeniach nośności uwzględniono ten fakt, stosując odpowiednią wartość współczynników zmniejszających nośność  $\xi_3$  i  $\xi_4$ . Maksymalne obciążenie przypadające na pal wynosiło 90 kN, zatem warunki nośności wewnętrznej, jak i zewnętrznej zostały spełnione.

### WNIOSKI

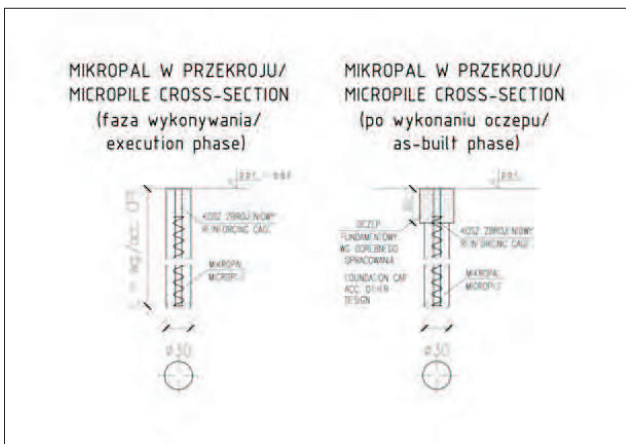
Występowanie gruntów organicznych w pobliżu naturalnych zbiorników wodnych jest rzeczą zupełnie typową. Jednak na opisywanym terenie stwierdzono zdecydowanie większe niż przeciętnie miąższości tychże osadów, przekraczające 15 m. Również ich parametry wytrzymałościowe trzeba zaliczyć do ekstremalnie słabych (opór pod stożkiem sondy CPTu równy zero). Posadowienie budynków na takim terenie jest oczywiście możliwe, jednak nie zawsze opłacalne. Wykonawstwo pali jest bardzo trudne ze względu na brak możliwości wjazdu cięższego sprzętu oraz trudności z budową platform roboczych oraz dróg dojazdowych. W opisywanym przypadku autorzy korzystając z tradycyjnych wierceń oraz sondowań CPTu, określili budowę geologiczną, ustalili parametry niezbędne do obliczeń i finalnie zaprojektowali posadowienie pośrednie dla osiedla 24 domów jednorodzinnych.

Autorzy dziękują Recenzentom za merytoryczne uwagi do artykułu.

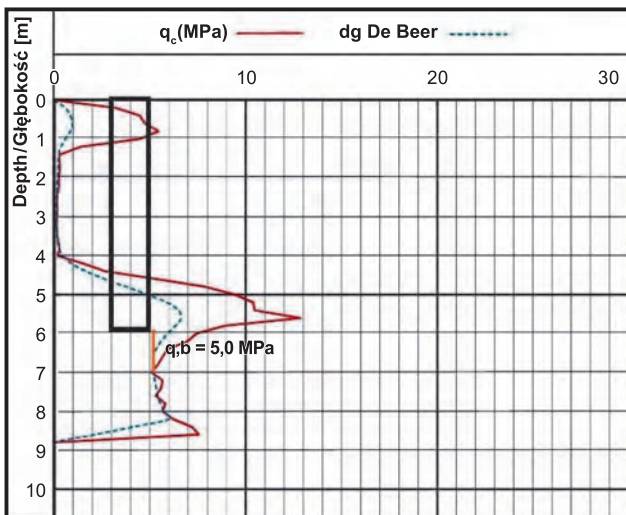
### LITERATURA

CHOIŃSKI A. 1995 – Katalog jezior polskich. Wydaw. Nauk. UAM, Poznań.  
 CHOIŃSKI A. 2007 – Limnologia fizyczna Polski. Wydaw. Nauk. UAM, Poznań.  
 LECHOWICZ Z., WRZESIŃSKI G. 2013 – Posadowienie budowli ziemnych na podłożu słabonośnym. Międzynarodowe Seminarium „Budowle ziemne jako obiekty na terenach zalewowych”, Poznań, 24.09.2013: 33–54.  
 MYŚLIŃSKA E. 2001 – Grunty organiczne laboratoryjne metody ich badania. PWN, Warszawa.  
 PN-EN 1992 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu.  
 PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.  
 PN-EN 1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.  
 PN-B-04452:2002 Geotechnika Badania polowe.  
 ROBERTSON P.K., CABAL K.L. 2010 – Guide to Cone Penetration Testing for Geo-Environmental Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc. 2<sup>nd</sup> Edition.  
 SIKORA Z. 2006 – Sondowanie statyczne. Metody i zastosowanie w geoinżynierii. Wydaw. Nauk.-Tech., Warszawa.  
 STRAŻ G. 2014 – Identyfikacja lokalnych gruntów organicznych na podstawie wyników badań sondą CPT. Budow. Arch., 13 (2).  
 WIERZBICKI J., STEFANIAK K., BOCZKOWSKI B. 2015 – Analiza wybranych właściwości geotechnicznych torfu w zależności od jego gatunku i wilgotności. Inż. Mor. Geotech., 3: 212–216.  
 TARNAWSKI M. (red.) 2020 – Badanie podłoża budowli. Metody polowe. PWN, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 27.06.2024 r.  
 Akceptowano do druku 15.12.2024 r.



Ryc. 18. Szczegóły zastosowanych pali fundamentowych  
Fig. 18. Details of the foundation piles used



Ryc. 19. Jednostkowy opór graniczny podstawy pala wyznaczony wg teorii De Beera  
Fig. 19. The unit ultimate resistance of the pile base, acc. to De Beer's theory

Mikropale wykonano świdrem ciągłym typu CFA. Zastosowano beton klasy C30/37 W10, XA1, XF1. Ze względu na występowanie w podłożu gruntów słabonośnych pale zostały zaprojektowane jako żelbetowe, zbrojone kosztem zbrojeniowym ze stali AIIIIN na pełnej długości.