

## Zastosowanie metody statycznego sondowania w analizie genezy osadów, na przykładzie sandru Gwdy

Application of static cone penetration method in the analysis of sediments' genesis: the example of the Gwda proglacial outwash plain

Renata Paluszkiewicz<sup>1</sup>, Ryszard Paluszkiewicz<sup>1</sup>, Jędrzej Wierzbicki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geoekologii i Geoinformacji, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań; reniach@amu.edu.pl

<sup>2</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Katedra Geotechniki, ul. Piątkowska 94, 61-606 Poznań, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geologii

**Zarys treści:** Przekonsolidowania serii piaszczysto-żwirowych sandru Gwdy-Piławy. Analiza statystyczna wyników prac umożliwiła podział serii glaciofluwialnych na trzy grupy, a co za tym idzie umożliwiła wyznaczenie trzech etapów depozycji serii sandrowych.

**Słowa kluczowe:** sondowanie statyczne (CPTU), wskaźnik przekonsolidowania (OCR), stratygrafia, procesy postgenetyczne.

**Abstract:** The paper presents the new possibilities of use the CPTU (Static Cone Penetration Test) results for the purpose of the stratigraphic analysis. On the basis of the CPTU results the overconsolidation ratio (OCR) has been computed along profile of investigated glaciofluvial deposits of Gwda-Pilawa outwash plain. The statistical analysis of the results allowed to divide the over 15 m of glaciofluvial series into 3 parts, which represent different stages of the outwash plain existence.

**Key words:** static cone penetration method, overconsolidation ratio, stratigraphic gaps, sedimentology, lithofacies, proglacial outwash plain

### Wprowadzenie

Sondowanie statyczne (CPTU – Cone Penetration Test) jest obecnie jednym z najczęściej wykorzystywanych badań geotechnicznych in situ (m.in. Mayne 2006, Młynarek, Wierzbicki 2007). Badanie to pozwala na ocenę wielu parametrów geotechnicznych podłoża w stanie naturalnym, tj. w miejscu występowania. Fakt ten stanowi o możliwości wykorzystania wyników badania CPTU w analizie wytrzymałości mechanicznej oraz stanu naprężenia osadów niezłityfikowanych (Wierzbicki i in. 2008). Kolejną zaletą tego rodzaju badania jest otrzymanie niemal ciągłego obrazu zmian analizowanego parametru w profilu wraz z głębokością (odczyt prowa-

dzony jest co 0,02 m). Połączenie tych możliwości pozwala na uchwycenie w profilach badawczych nieregularności zmian takich parametrów, jak odnoszący się do genezy podłoża wskaźnik przekonsolidowania OCR (Wierzbicki 2002, 2009). Analiza uzyskanych wyników może stanowić istotny element metodyki umożliwiającej odtworzenie historii procesów geologicznych, oddziałujących na osad od chwili jego powstania. Wieloaspektowe badania osadów z wykorzystaniem sondowania statycznego umożliwiają między innymi wychwycenie w profilach badawczych nieciągłości sedymentacyjnych oraz stwierdzenie oddziaływania na osad procesów związanych z obciążeniem i odciążeniem podłoża (wywołanych na przykład przemieszczającą się wydmą czy łądolodem,

erozją części zdeponowanych już osadów czy procesami związanymi ze zmianami położenia zwierciadła wód gruntowych) (Tjelta 2007, Wierzbicki i in. 2007, Wierzbicki 2010). Dodatkową zaletą badań CPTU jest parametryzacja analizowanego profilu, a więc opisanie jego cech poprzez wartości określonego parametru, traktowanego jako zmienna statystyczna. Umożliwia to prowadzenie analizy profilu w sposób w wysokim stopniu obiektywny, z wykorzystaniem statystycznej analizy danych (Młynarek i in. 2005).

## Charakterystyka obszaru badań

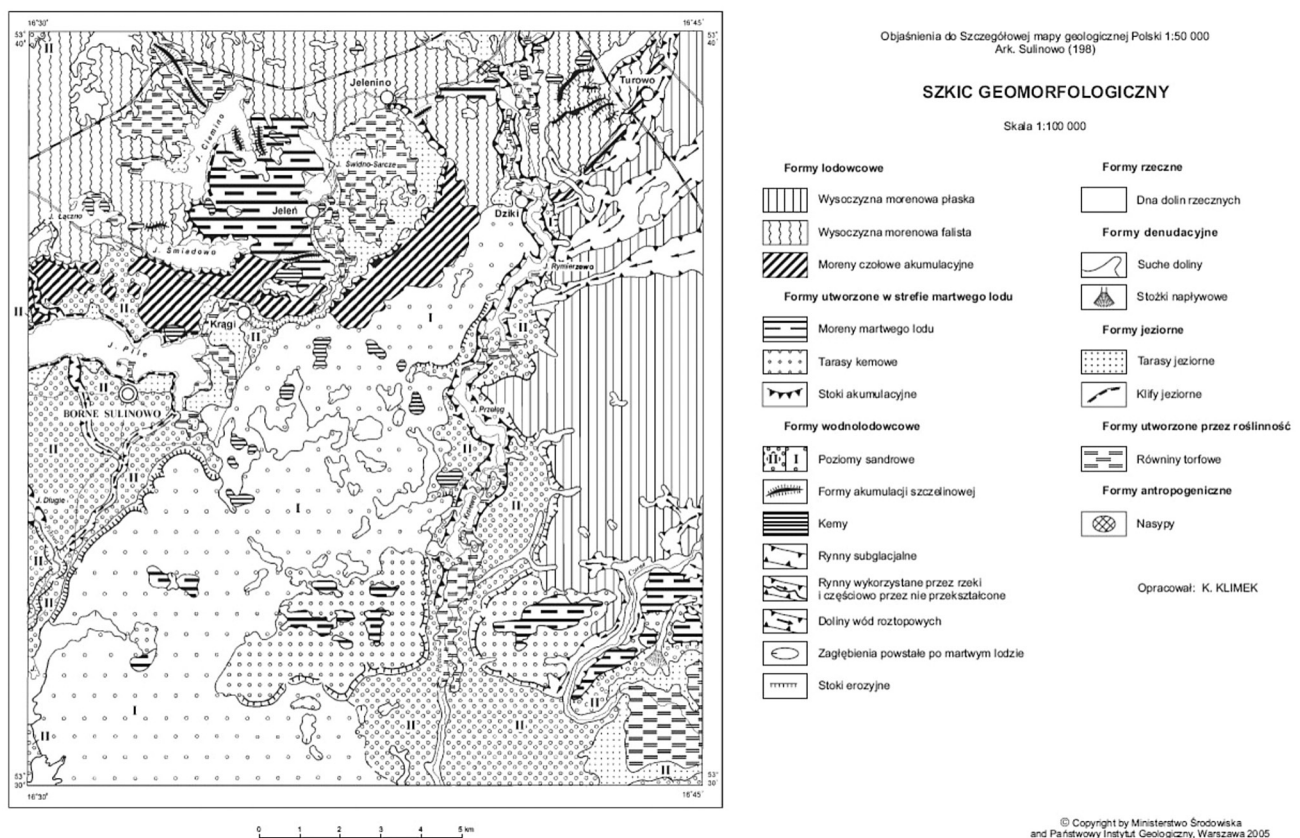
Obszar, na którym przeprowadzone zostały badania, zlokalizowany jest na przedpolu strefy marginalnej fazy pomorskiej zlodowacenia wisły, na południe od maksymalnego zasięgu lobu Parsęty (Karczewski 1989, 1997).

Jest to strefa tranzytowa szlaków odpływowych wód proglacialnych w tzw. międzorzeczu Piławy–Płytnicy (Klimek 1997). W efekcie depozycji transportowanego materiału mineralnego doszło do utworzenia znacznych powierzchni sandrowych we współczesnych dorzeczeniach prawobrzeżnych dopływów Gwdy, Piławy i Płytnicy. Sandry Piławy i Płytnicy w ogólnym ujęciu zaliczyć można do wielkiej strefy sandru Gwdy. W morfologii tego obszaru zaznacza się istnienie dwóch poziomów sandrowych. Poziom

I, starszy, o rzędnej wysokości od około 160 m do około 140 m w jego południowej części (ryc. 1) zbudowany jest w przeważającej mierze z piasków i żwirów wodnolodowcowych. Urozmaicony jest on szeregiem niewielkich wytopisk świadczących według Klimka (1997) o depozycji materiału na zakorzenione płyty martwego lodu. Strop osadów poziomu II, młodszego, sięga rzędnej około 150 m, również obniżając się w kierunku południowym. Dominują tutaj serie piaszczyste i piaszczysto-żwirowe. W ujęciu regionalnym cały ten teren zaliczany jest do regionu Pojezierza Szczecińskiego (Kondracki 2001).

## Metodyka badań

Przyjęta metodyka prac badawczych zakładała wykonanie standardowych badań geologicznych i geotechnicznych oraz analizę uzyskanych wyników z wykorzystaniem metod statystycznych. Na przeprowadzone prace geologiczne składały się analizy profili badawczych zarówno w odsłonięciach, jak i na podstawie pobranych rdzeni o nienaruszonej strukturze. Badane osady zostały scharakteryzowane makroskopowo oraz w oparciu o laboratoryjne analizy składu granulometrycznego, stopnia obtoczenia, składu mineralnego i stopnia zagęszczenia gruntu. Wyniki tych prac szczegółowo opisano w opublikowanych wcześniej artykułach naukowych (Młynarek



Ryc. 1. Szkic geomorfologiczny obszaru badań (Klimek i in. 2005)  
Fig. 1. Geomorphologic sketch of research area (Klimek et al. 2005)

i in. 2009, Stefaniak 2009, Wierzbicki, Stefaniak 2009). Geotechniczne badania podłoża przeprowadzono z wykorzystaniem sondowania statycznego CPTU. Zgodnie z założeniami zasadnicza część wnioskowania badawczego opierała się na analizie rezultatów badania CPTU, którą przeprowadzono w oparciu o określone podczas statycznego sondowania parametry badanego podłoża, poddane statystycznej analizie istotności różnic pomiędzy wydzielonymi fragmentami profilu.

## Sondowanie statyczne CPTU

Badanie podłoża za pomocą sondowania statycznego jest obecnie jednym z podstawowych testów geotechnicznych, wykorzystywanych w analizie nośności niezłityfikowanego podłoża budowlanego (Lunne i in. 1997, Młynarek, Wierzbicki 2004). Trzy podstawowe parametry testu: opór stożka ( $q_c$ ), tarcie na poboczniczy ( $f_s$ ) oraz wzbudzone ciśnienie porowe ( $u_2$ ), mogą służyć do wyznaczenia parametrów charakteryzujących badany osad pod względem cech litologicznych (np. skorygowany opór stożka –  $q_t$ , współczynnik tarcia –  $R_f$ ) i cech wytrzymałościowo-odkształceniowych (np. opór stożka netto –  $q_n$ , znormalizowany opór stożka –  $Q_t$ ). W oparciu o te parametry możliwe jest skategoryzowanie badanego osadu ze względu na skład granulometryczny, stan gruntu czy historię obciążenia. O ile precyzyjne wyznaczenie wartości poszczególnych parametrów geotechnicznych nie zawsze jest łatwe i pozbawione wątpliwości (Młynarek, Wierzbicki 2007), to już same wartości podstawowych parametrów sondowania mogą stanowić cenną wskazówkę w analizie badanego profilu.

## Interpretacja wyników CPTU

Podstawowym parametrem geotechnicznym analizowanym w ramach niniejszych badań był wskaźnik przekonsolidowania OCR. Wybór tego parametru wynikał z jego związku z genetycznymi i postgenetycznymi procesami geologicznymi oddziałującymi na osad (Crawford 1986, Lacat i in. 2003). Wartość OCR w rozumieniu ścisłym wskazuje na stosunek maksymalnej wartości składowej pionowej stanu naprężenia podłoża do obecnej wartości tej składowej (Casagrande 1936). Jak jednak zauważyli liczni badacze, wyznaczone podczas badań wartości OCR niekoniecznie odpowiadają wiernie procesowi historycznego przeciążenia podłoża (m.in. Jamiolkowski i in. 1985). W tym kontekście należy raczej operować pojęciem efektu przekonsolidowania, będącym wynikiem wpływu różnych procesów geologicznych. Prace badawcze Wierzbickiego wykazały, że poszczególne metody oceny OCR w różnym stopniu

odzwierciedlają wpływ procesów prowadzących do przekonsolidowania podłoża (Wierzbicki 2010). Tym samym istnieje możliwość szerszej interpretacji genezy efektu przekonsolidowania.

W przypadku gruntów niespoistych wyznaczenie wskaźnika przekonsolidowania w oparciu o charakterystyki CPTU wymaga wszechstronnego rozpoznania badanego osadu (Wierzbicki 2002). Jak wykazali Wierzbicki (2002) oraz Mayne (2005), do obliczenia wskaźnika OCR niezbędna jest znajomość takich parametrów osadu, jak kąt tarcia wewnętrznego czy skład granulometryczny. Podczas analizy wyników CPTU w ramach niniejszych badań wykorzystano formuły opracowane przez Wierzbickiego (2001):

$$OCR = \frac{0,75\sigma'_{h0}}{q_t^{0,22} \sigma_{v0}^{0,69}}, \quad (1)$$

gdzie:  $\sigma'_{h0} = \sigma'_{v0} (3,45 + 0,002Q_t + 3,18f_s -$

$$0,34 \frac{\%f_{Pr}}{\%f_{Ps}} - 0,09\phi' + 1,48I_D),$$

$\%f_{Pr}$  – procentowa zawartość frakcji piasku grubego,  
 $\%f_{Ps}$  – procentowa zawartość frakcji piasku średniego,

$\phi'$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,

$I_D$  – stopień zagęszczenia,

$q_t$  – skorygowany opór stożka w metodzie CPTU oraz Mayne (2006):

$$OCR = \left( \frac{0,192 \left( \frac{q_t}{\sigma_{atm}} \right)^{0,22}}{(1 - \sin \phi') \left( \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma_{atm}} \right)} \right)^{\left( \frac{1}{\sin \phi' - 0,27} \right)}, \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma_{atm}$  – ciśnienie referencyjne = 100 kPa,  
 pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1).

Dodatkowo w analizie wykorzystano również wartości OCR wyznaczonego w oparciu o składową pionową naprężenia wirtualnego, którego wartość wynika z postsedymentacyjnych zmian struktury osadu, nie poddanego dodatkowemu obciążeniu pionowemu (Wierzbicki, Waliński 2007):

$$OCR_{virt} = \frac{5,64 \cdot q_t + 16,22}{\sigma'_{v0}}, \quad (3)$$

gdzie:

$OCR_{virt}$  – wartość OCR ustalona w oparciu o wyznaczone naprężenie wirtualne,  
 pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1).

Wytypowane na podstawie charakterystyki zmian wartości OCR z głębokością partie profilu zostały poddane statystycznej analizie istotności różnic. W analizie tej brano pod uwagę wartości oporu stożka netto ( $q_n$ ), parametru wykorzystywanego również podczas wydzielania jednorodnych warstw pod



względem parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu (Młynarek i in. 2005). Na tym etapie analizy założono, że partie profilu o podobnej litologii oraz genezie i diagenecie charakteryzują się podobnymi właściwościami wytrzymałościowo-odkształceniowymi. Jako dane porównawcze wykorzystano charakterystyczne wartości oporu stożka netto, wyznaczone dla osadów wodnolodowcowych zlodowacenia wisły fazy pomorskiej (normalnie konsolidowanych) oraz fazy poznańsko-leszczyńskiej (przekonsolidowanych) (Wierzbicki i in. 2008, Wierzbicki 2010).

## Statystyczna analiza danych

Analizę podobieństw i różnic przeprowadzono w obrębie wydzielonych partii profilu sandru Gwdy oraz pomiędzy tymi partiami a wspomnianymi charakterystycznymi fragmentami profili osadów fazy pomorskiej i poznańskiej. Celem analizy było stwierdzenie statystycznej istotności wydzielen dokonywanych w badanym profilu oraz sprawdzenie ewentualnych podobieństw z typowymi osadami wodnolodowcowymi, o określonej pozycji stratygraficznej. Ponieważ analiza normalności rozkładu oporu stożka netto nie wskazała jednoznacznie, czy badane zbiory charakteryzują się takim rozkładem, statystyczną istotność różnic zbadano za pomocą jednego z testów nieparametrycznych, testu  $U$  Manna-Whitneya (Stanisz 2006). Test ten jest nieparametrycznym odpowiednikiem – testu  $t$ -Studenta i pozwala zweryfikować hipotezę zerową o tym, że dwie badane próby pochodzą z jednej populacji, o równych medianach. Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Statistica 8, lic. JGNP905B037804AR-W.

## Wyniki analiz

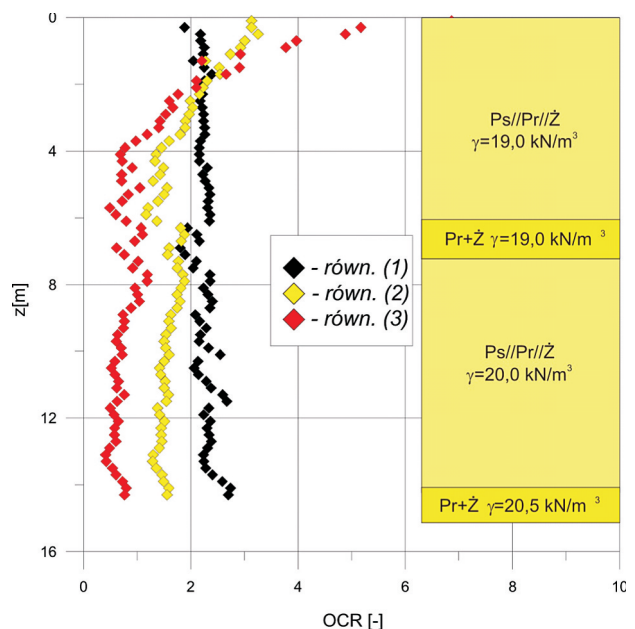
Prace badawcze pozwoliły na opracowanie podstawowego profilu litologicznego miejsca badań oraz wyznaczenie wartości parametru OCR analizowanych utworów (ryc. 2). Bardziej szczegółowe wyniki analiz składu granulometrycznego, stopnia obtoczenia oraz stanu gruntu przedstawili Wierzbicki i in. (2008) oraz Wierzbicki i Stefaniak (2009).

Wartości wskaźnika przekonsolidowania zostały wyznaczone zgodnie ze wzorami (1), (2) i (3) (ryc. 2). Różnice w otrzymanych wynikach, obserwowane wzdłuż profilu, wynikają ze wspomnianych już różnic w interpretacji poszczególnych metod oceny OCR. Wartości parametru wyznaczone zgodnie ze wzorem (1) oddają w największym stopniu wpływ prostego przeciążenia na powstanie efektu przekonsolidowania (uwzględniony w formule obliczeniowej poprzez składową poziomą stanu naprężenia). Z kolei for-

muła oparta na ocenie naprężenia wirtualnego (3) uwzględnia głównie wpływ zmian poziomu wody gruntowej i ciśnienia sphywowego oraz efekt zmian strukturalnych (Wierzbicki, Waliński 2007).

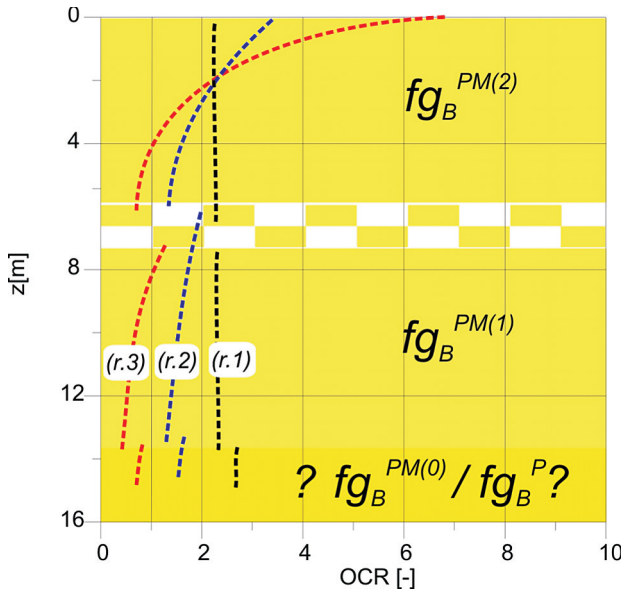
Niezależnie od interpretacji wartości bezwzględnych OCR, interesujące wnioski nasuwają się po analizie kształtu profili tego parametru, wyznaczonego w oparciu o różne równania. Niemal pionowy wykres OCR otrzymany z równania (1) wskazuje na brak istotnych różnic w historycznym przeciążeniu osadów sandru Gwdy. Pewne oznaki efektu przeciążenia widoczne są w spągu profilu. Niestety ze względu na bardzo wysoką wytrzymałość gruntu w tej warstwie (co również może być cechą diagnostyczną), badanie CPTU zakończyło się już w jej strefie stropowej. Głębsze rozpoznanie podłoża okazało się niemożliwe. Wyniki uzyskane w oparciu o formuły (2) i (3) wskazują natomiast na trójdzielność analizowanego profilu pod względem zmian postgenetycznych (ryc. 3).

Podobnie jak w przypadku formuły (1) wydzielaniu podlega spągowa partia profilu. Dodatkowo wyżej ległe utwory można podzielić na dwie odrębne serie, o zbliżonej jednak litologii. Niższa (od k. 7,5 do 13,5 m –  $fg_B^{PM(1)}$ ) wykazuje niewielki wpływ zmian związanych ogólnie ze zmianami poziomu wód gruntowych. Wyższa seria (od 0 do 6 m –  $fg_B^{PM(2)}$ ) w wyraźny sposób pozwala zauważyć ślady oddziaływania ciśnienia sphywowego i wysychania osadu na strukturę



**Ryc. 2.** Wartości OCR wyznaczone na podstawie badania CPTU (równania 1, 2, 3) na tle profilu litologicznego podłoża w punkcie sondowania (badania wykonane z powierzchni II poziomu sandrowego)

**Fig. 2.** OCR values were determined on the basis of CPTU survey (equations 1, 2, 3) against the background of lithologic profile, which presents geologic structure in the point of sounding (the survey was done on the surface of II level of outwash plain)



**Ryc. 3.** Proponowany podział profilu osadów wodnolodowcowych sandru Gwdy na tle średnich trendów OCR z badania CPTU (wg równań 1, 2, 3)

$fg_B^P$  – utwory wodnolodowcowe fazy poznańskiej zlodowacenia wisły,  $fg_B^{PM}$  – utwory wodnolodowcowe fazy pomorskiej zlodowacenia wisły: (0) – spągowe, (1) – środkowe, (2) – stropowe

**Fig. 3.** Proposed division of fluvio-glacial deposits profiles of the Gwda outwash plain against the background of mean OCR trends from CPTU survey (according to equations 1, 2 and 3)

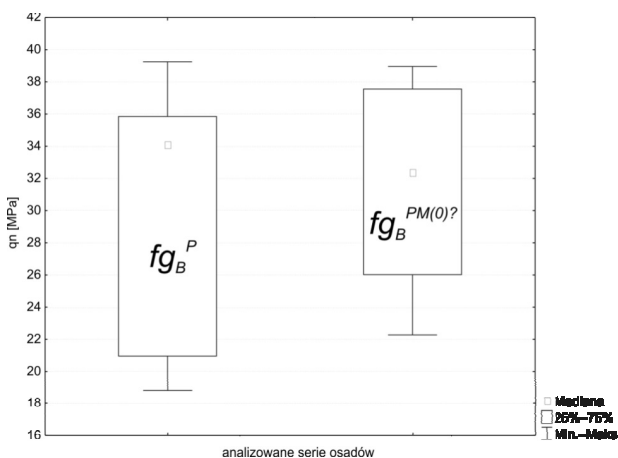
$fg_B^P$  – fluvio-glacial deposits of Vistulian glaciation Poznań phase,  $fg_B^{PM}$  – fluvio-glacial deposits of Vistulian glaciation Pomeranian phase: (0) – bottom part, (1) – middle part, (2) – top part

gruntu. Co ważne, w strefie załamania się trendu OCR na granicy pomiędzy serią górną ( $fg_B^{PM(2)}$ ) i środkową ( $fg_B^{PM(1)}$ ) zaobserwowano również obecność warstwy o większym udziale frakcji zwirowej, która może świadczyć o wysokoenergetycznej depozycji następującej po epizodzie erozyjnym.

Przeprowadzony test *U* Manna-Whitneya potwierdził statystyczną istotność dokonanych wydzielen, bowiem, biorąc pod uwagę wartości oporu stożka w metodzie CPTU, prawdopodobieństwo popełnienia błędu przy odrzuceniu hipotezy zerowej o braku różnic wynosiło  $p = 0,00$ , czyli było mniejsze od przyjętej wartości progowej 0,05 (ryc. 4).

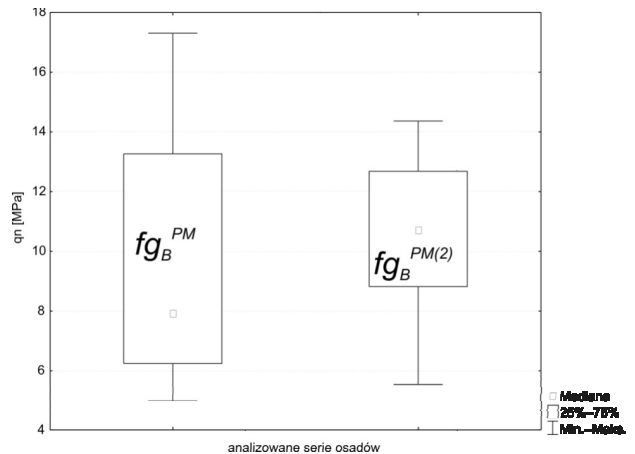
Pewne podobieństwo wyników badania CPTU, choć statystycznie nadal nieistotne, można zaobserwować pomiędzy najwyżej położonymi osadami sandru Gwdy ( $fg_B^{PM(2)}$ ) a typowymi osadami wodnolodowcowymi fazy pomorskiej, opisanymi przez Wierzbickiego (2010) (ryc. 5).

Na tym tle wyraźnie wyróżnia się podobieństwo spągowej serii sandru Gwdy ( $fg_B^{PM(0)}$ ) do typowych wodnolodowcowych utworów fazy poznańskiej, opisanych przez Wierzbickiego (2010) (ryc. 6). W tym przypadku nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o braku różnic pomiędzy wyżej wymienionymi grupami osadów ( $p > 0,4$ ). Na uwagę zasługuje fakt, że stwierdzone podobieństwo nie jest związane z głębokością zalegania utworów, lecz wynika z niemal identycznych właściwości geotechnicznych wskazujących na występowanie wyraźnego efektu przekonsolidowania tych gruntów.



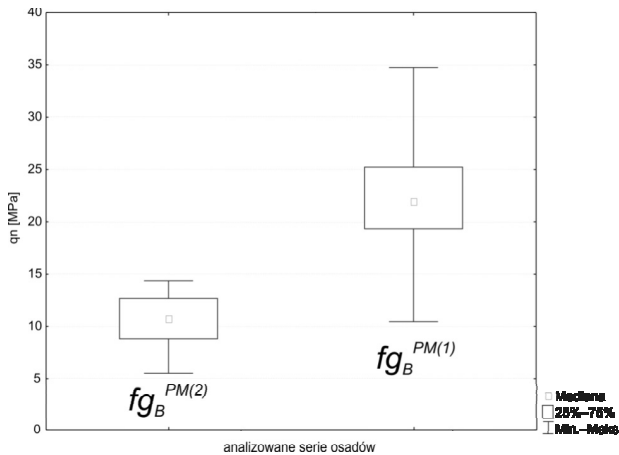
**Ryc. 4.** Porównanie podstawowych parametrów statystycznych (mediana, wartości ekstremalne oraz kwartył górny i dolny) oporu stożka netto ( $q_n$ ) w serii górnej ( $fg_B^{PM(2)}$ ) i środkowej ( $fg_B^{PM(1)}$ ) badanych osadów sandru Gwdy

**Fig. 4.** Comparison of basic statistical parameters (median, extreme values, upper and lower quartile) of cone netto resistance ( $q_n$ ) in the upper ( $fg_B^{PM(2)}$ ) and middle ( $fg_B^{PM(1)}$ ) sequence of studied deposits of the Gwda outwash plain



**Ryc. 5.** Porównanie podstawowych parametrów statystycznych (mediana, wartości ekstremalne oraz kwartył górny i dolny) oporu stożka netto ( $q_n$ ) w serii górnej ( $fg_B^{PM(2)}$ ) badanych osadów sandru Gwdy oraz w typowych osadach wodnolodowcowych fazy pomorskiej ( $fg_B^{PM}$ )

**Fig. 5.** Comparison of basic statistical parameters (median, extreme values, upper and lower quartile) of cone netto resistance ( $q_n$ ) in the upper sequence ( $fg_B^{PM(2)}$ ) of studied deposits of the Gwda outwash plain and typical fluvio-glacial deposits of Pomeranian phase ( $fg_B^{PM}$ )



**Ryc. 6.** Porównanie podstawowych parametrów statystycznych (mediana, wartości ekstremalne oraz kwartył górny i dolny) oporu stożka netto ( $q_n$ ) w serii spągowej profilu sandru Gwdy ( $fg_B^{PM(2)}$ ) oraz w typowych wodnolodowcowych osadach fazy poznańskiej ( $fg_B^P$ )

**Fig. 6.** Comparison of basic statistical parameters (median, extreme values, upper and lower quartile) of cone netto resistance ( $q_n$ ) in the bottom sequence ( $fg_B^{PM(2)}$ ) and typical fluvioglacial deposits of Poznań phase ( $fg_B^P$ )

## Podsumowanie

Na podstawie obserwacji terenowych oraz analiz wyników laboratoryjnych można wysunąć kilka wniosków natury ogólnej:

- Analiza efektu przekonsolidowania, w oparciu o wartości OCR wyznaczone z różnych zależności, umożliwia stwierdzenie występowania oraz rozróżnienie wpływu poszczególnych procesów prekonsolidujących oddziałujących na osad (Lacat i in. 2005, Wierzbicki 2010). Tym samym uzupełnia obraz stratygraficzny podłoża, szczególnie w miejscach o utrudnionym dostępie do odsłoneń.
- Badania CPTU oraz interpretacja parametru przekonsolidowania OCR pozwalają na wydzielenie warstw osadów w obrębie serii fluwioglacialnych niezależnie od ich litologii. Opisanie badanych osadów poprzez parametry geotechniczne uzyskane z sondowania statycznego pozwala na wykorzystanie statystycznej analizy danych w interpretacji stratygrafii podłoża.
- Sondowania statyczne (CPTU) wraz z określonym parametrem przekonsolidowania (OCR) umożliwiają względną korelację osadów różnych profili badawczych pod kątem ich właściwości geotechnicznych niezależnie od różnic głębokości ich zalegania.
- Analiza parametru przekonsolidowania OCR umożliwia wychwycenie stref nieciągłości sedymentacyjnych osadów oraz ewentualną interpretację ich genezy.

- Badanie CPTU oraz parametru przekonsolidowania dostarcza dodatkowych, cennych informacji o osadzie w aspekcie jego stratygrafii względnej.

## Literatura

- Casagrande A., 1936. The Determination of the Preconsolidation Load and its Practice Significance. *Proc. 1<sup>st</sup> ICSMFE*, Cambridge, Mass. 3: 60–64.
- Crawford C.B., 1986. State of the Art.: Evaluation and Interpretation of Soil Consolidation Tests. *Consolidation of Soils: Testing and Evaluation. ASTM STP*, Philadelphia 892: 71–103.
- Jamiolkowski M., Ladd C.C., Germaine J.T., Lancelotta R., 1985. New developments in field and laboratory testing of soils. *Proc. 11<sup>th</sup> ICSMFE*, San Francisco 1: 57–154.
- Karczewski A., 1989. *Morfogeneza strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w vistulianie (Pomorze Środkowe)*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Karczewski A., 1997. Paleogeografia fazy pomorskiej vistulianu w środkowej części Pomorza ze szczególnym uwzględnieniem Pojezierza Drawskiego. W: E. Bukowska-Jania, M. Pulina (red.), *Studia nad środowiskiem geograficznym Bornego Sulinowa*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa: 15–27.
- Klimek K., 1997. Charakterystyka rzeźby i paleogeografii północnej części międzyrzecza Piławy–Płytnicy. W: E. Bukowska-Jania, M. Pulina (red.), *Studia nad środowiskiem geograficznym Bornego Sulinowa*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Klimek K., Lewandowski J., Heliasz Z., Klimek K., 2005. *Objaśnienia szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000. Arkusz Borne Sulinowo (198)*. Warszawa.
- Kondracki J., 2001. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Locat J., Tanaka H., Tan T.S., Dasari G.R., Lee H., 2003. Natural soils: geotechnical behavior and geological knowledge. W: T.S. Tan, K.K. Phoon, D.W. Hight, S. Leroueil (red.), *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse: 3–28.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., 1997. *Cone Penetration Testing in geotechnical practice*. E & FN Spon, London.
- Mayne P.W., 2006. In-situ test calibration for evaluating soil parameters. W: *Characterization and engineering properties of natural soils*. Balkema-Rotterdam, 3: 1601–1652.
- Młynarek Z., Wierzbicki J., 2004. Nowoczesne metody rozpoznawania podłoża budowlanego dla potrzeb budowy mostów i tuneli. W: *Materiały 50 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN*, Krynica–Warszawa 1: 217–238.

- Młynarek Z., Wierzbicki J., 2007. Nowe możliwości i problemy interpretacyjne polowych badań gruntów. *Geologos* 11: 97–118.
- Młynarek Z., Wierzbicki J., Stefaniak K., 2009. The effect of sand grain roundness on the interpretation of CPTU penetration characteristics. W: M. Hamza, M. Shahien, Y. El-Mossallamy (red.), *Proc. of 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt*. IOS Press, Amsterdam: 1091–1094.
- Młynarek Z., Wierzbicki J., Wołyński W., 2005. Use of Cluster Method for In Situ Tests. *Studia Geotechnica et Mechanica XXVII*(3–4): 16–27.
- Stanisz R., 2006. *Przystępny kurs statystyki*. T. 1. Statystyki podstawowe. StatSoft, Kraków.
- Stefaniak K., 2009. *Wpływ historii obciążenia na moduł ściśliwości piasków fluwioglacjalnych wyznaczany metodą CPTU. Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych*. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 599–606.
- Tjelta T.I., 2007. Some aspects of soil investigations aimed at detecting possible gas seepage in seabed and understanding seabed pockmarks. *Refereat International Workshop at NGI, Oslo 21 and 22 March 2007*.
- Wierzbicki J., 2002. Wykorzystanie techniki sondowania statycznego do oceny wskaźnika przekonsolidowania niektórych osadów plejstocenijskich. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 1, 1–2: 35–48.
- Wierzbicki J., 2010. *Ocena prekonsolidacji podłoża metodami in situ w aspekcie jego genezy*. Rozprawy Naukowe z. 410. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu: 182.
- Wierzbicki J., Paluszkiwicz R., Paluszkiwicz R., 2007. Analiza zmienności litofacjalnej osadów zastoiska złocienieckiego w oparciu o wyniki sondowania statycznego. W: E. Smolska, D. Giriat (red.), *Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady*. Oficyna Wyd. Łośgraf, Warszawa: 427–438.
- Wierzbicki J., Paluszkiwicz R., Paluszkiwicz R., 2008. Wytrzymałość mechaniczna osadu a jego geneza, na przykładzie wybranych utworów strefy marginalnej fazy pomorskiej zlodowacenia wisły. *Landform Analysis* 9: 390–393.
- Wierzbicki J., Stefaniak K., 2009. Ocena wpływu struktury i tekstury gruntu niespoistego na opór stożka w badaniu CPTU. W: *Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych*. Wyd. Uczelniane UTP, Bydgoszcz: 117–128.
- Wierzbicki J., Waliński M., 2007. Estimation of the influence of stress state changes in non-cohesive subsoil on CPTU parameters. *Geologos*, 11: 285–293.