

## O specyfice parametru gruntowego w badaniach geologiczno-inżynierskich

Jędrzej Wierzbicki<sup>1</sup>, Robert Radaszewski<sup>1</sup>



J. Wierzbicki

R. Radaszewski

**On the soil parameter in the engineering-geological investigations.** Prz. Geol., 64: 694–700.

*Abstract.* The paper deals with the contemporary idea of soil parameter used in the engineering-geological analysis. The statistical basis of a characteristic and a design value of the geotechnical parameter based on Eurocode 0 is given. On this basis the idea of soil parameter describing as a spline function and its use for subsoil probabilistic analysis is presented. Furthermore, correlation between the results of tests on undisturbed and reconstructed samples, based on diagrams from Polish Standard PN-B-03020:1981, is discussed. Finally, some conclusions regarding the necessity of a more advanced and complex approach to the engineering-geological analysis are proposed.

**Keywords:** soil parameter, engineering-geological analysis, cluster analysis, reconstructed samples

Współczesne technologie oraz standardy techniczne obowiązujące w budownictwie sprawiają, że parametry pośrednie, jak np. stopień plastyczności czy stopień zagęszczenia gruntu, są niewystarczające do poprawnej oceny właściwości mechanicznych podłoża (Lipiński i in., 2016). Konieczne staje się precyzyjne określenie sposobu współpracy budowli z podłożem, zdefiniowanie modelu geotechnicznego gruntu oraz odpowiedni do tego dobór parametrów i metod ich wyznaczenia. Prawidłowe rozwiązanie złożonego zadania geologiczno-inżynierskiego nie jest w pełni możliwe w oderwaniu od geotechniki, czy też od aspektów związanych np. z ochroną środowiska (Dragowski, 2003). Stopień złożoności współczesnych zadań inżynierskich wymaga więc współpracy interdyscyplinarnej.

W tym kontekście szczególnie ważne jest właściwe rozumienie istoty parametrów opisujących grunt zarówno w odniesieniu do samej ich definicji, jak też do zastosowanego modelu obliczeniowego. Ważnym zagadnieniem staje się statystyczna adekwatność i wiarygodność wartości parametru przypisywanego do określonego fragmentu podłoża gruntowego, ale również merytoryczna poprawność i optymalny dobór metod, które prowadzą do wyznaczenia tych wartości na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych. Zdając sobie sprawę z obszerności i złożoności poruszanej tematyki, w artykule zwrócono uwagę jedynie na wybrane jej zagadnienia, zostały one poparte przykładami własnych obserwacji i propozycjami ewentualnych rozwiązań. Zasadniczym problemem podjętym w niniejszym artykule jest podkreślenie konieczności odpowiedniego pojmowania istoty parametru gruntowego, jako elementu modelu charakteryzującego podłoże budowlane.

### WARTOŚĆ REPREZENTATYWNA PARAMETRU

Podczas oceny wartości parametru geotechnicznego gruntu napotykamy dwie grupy niepewności pomiarowych. Pierwsze są związane z dokładnością i precyzją wykonywanych pomiarów, drugie – wynikają z naturalnej zmienności cech gruntu, jako ośrodka powstałego w wyniku procesów geologicznych (Lumb, 1966). Zdaniem wielu badaczy, wpływu tych czynników na wartość parametru nie można rozpatrywać oddzielnie, tylko łącznie, anali-

zując parametr jako zmienną losową o określonym rozkładzie wartości (Schultze, 1971; Lee, 1974; Młynarek i in., 1983; Lacasse & Nadim, 1994). Możliwością najbardziej zbliżoną do tych ogólnych założeń jest próba opisu rozkładu wartości parametru w przestrzeni poprzez wielowymiarowe pole losowe (Przewłocki, 2006). Niestety praktyczne trudności w powszechnym stosowaniu takiego podejścia prowadzą do uproszczonych rozwiązań, m.in. wydzielenie warstw geotechnicznych i implementowanie do modeli geotechnicznych wartości parametrów w różnym stopniu reprezentatywnych dla określonych fragmentów podłoża. Takie zdyskretyzowanie przestrzeni gruntowej pociąga za sobą konieczność zdecydowania jaką wartość danego parametru należy uznać za reprezentatywną. Tym samym, naturalne – geologiczne cechy gruntu zaczynają podlegać zasadom i ograniczeniom podobnym do innych materiałów stosowanych w budownictwie. Takie podejście, choć w pewnych swoich aspektach dyskusyjne (Olek i in., 2014; Puła, 2014), potwierdza podstawowa norma stosowana w budownictwie, tj. PN-EN-1990 (tzw. Eurokod 0). Podaje ona precyzyjnie, że punktem wyjścia wszelkich analiz jest określenie tzw. wartości obliczeniowej danego parametru geotechnicznego. Wartość tę można uzyskać na dwa sposoby: poprzez ocenę wartości charakterystycznej, dzielonej następnie przez współczynnik częściowy, oraz poprzez bezpośrednie określenie wartości obliczeniowej. Zgodnie z zaleceniami Eurokodu, oszacowanie wartości charakterystycznej powinno uwzględniać: wcześniejsze informacje o rozkładzie statystycznym badanego parametru, niepewności związane z liczbą dokonanych pomiarów oraz rozrzut uzyskanych wyników.

W praktyce wartość obliczeniową wyznacza się ze wzoru [1]:

$$X_d = \eta_d \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_x \{1 - k_n V_x\} \quad [1]$$

gdzie:

$X_d$  – wartość obliczeniowa,

$X_{k(n)}$  – wartość charakterystyczna z uwzględnieniem statystycznej niepewności,

<sup>1</sup> Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; jwi@amu.edu.pl, robert.radaszewski@amu.edu.pl.

$k_n$  – współczynnik obliczeniowy przypisany odpowiedniemu kwantylowi (5 lub 95%) wartości charakterystycznej,  $V_x$  – współczynnik zmienności X,  $m_x$  – średnia z próby,  $\eta_d$  – wartość obliczeniowa współczynnika konwersji,  $\gamma_m$  – współczynnik materiałowy.

Wartość charakterystyczna parametru, a poprzez nią także jego wartość obliczeniowa, wynika z wartości średniej z dokonanych pomiarów, współczynnika zmienności oraz przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa badanej cechy (w Eurokodzie podano wartości  $k_n$  dla rozkładu normalnego i log-normalnego). Niektórzy badacze zauważają, że szczególnie w przypadku badań *in situ* (takich jak np. sondowanie statyczne) wartość średnią jest korzystniej zastąpić medianą (tj. wartością środkową), która jako parametr statystyczny jest „odporna” na wpływ sporadycznych (lokalnych) i gwałtownych zmian wartości analizowanych parametrów (Lacasse & Nadim, 1994; Młynarek, 2003). Wyznaczenie wartości obliczeniowej wymaga więc znajomości wartości współczynnika zmienności parametru i jej rozkładu prawdopodobieństwa. Możliwe jest również odwołanie się do wcześniejszej wiedzy o rozkładzie parametru i oceny wartości obliczeniowej z wykorzystaniem tzw. prawdopodobieństwa Bayes’a, co w przypadku prób o niedużej liczności (rzędu kilku pomiarów) powoduje istotne różnice w uzyskiwanych rezultatach. Niezależnie od wartości współczynnika materiałowego, zalecanych do stosowania przez Eurokod, należy zauważyć, że w połączeniu z zaleceniem przyjmowania 5% kwantyla rozkładu prawdopodobieństwa (a nie wartości średniej, czyli 50% kwantyla), takie podejście obliczeniowe jest niezwykle ostrożne. Sprowadza się ono w praktyce do projektowania na podstawie wartości minimalnych parametru, co nie we wszystkich przypadkach obliczeniowych wydaje się uzasadnione (np. analiza osiadań).

Druga z dopuszczonych przez Eurokod 0 możliwość wyznaczenia wartości obliczeniowej parametru wiąże się z koniecznością bezpośredniego uwzględnienia wszystkich niepewności związanych z badaniem danego parametru (jako składowych współczynnika konwersji  $\eta_d$ ):

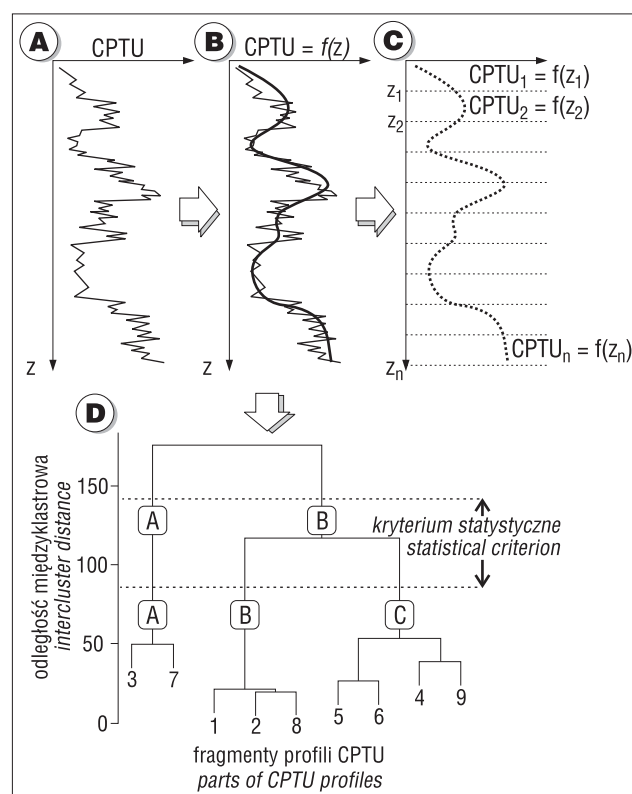
$$X_d = \eta_d m_x \{1 - k_{d,n} V_x\} \quad [2]$$

objaśnienia jak we wzorze [1].

To podejście może być uzupełnione zgodnie z ideą statystycznej oceny wyników badań geotechnicznych sformułowaną przez Lumba (1974). Dla rzeczywistej wartości parametru i odpowiadającej jej wartości zmierzonej, powtórzenia badania tej samej próbki mogą dać różne wyniki, ze względu na brak precyzji samego badania, a średnia z pomiarów może różnić się od średniej rzeczywistej, ze względu na brak dokładności badania. W kontekście uwag do pierwszego sposobu wyznaczania wartości obliczeniowej, druga z możliwości wydaje się zdecydowanie bardziej odpowiadać specyfice gruntu jako „tworowi” naturalnemu, również w odniesieniu do wymagań współczesnych zagadnień geologiczno-inżynierskich. Co istotne, jak zauważyli Wierzbicki i Młynarek (2015), odpowiednie podejście analityczne do wyników badań *in situ*, a w szczególności sondowań statycznych, daje obecnie możliwość bezpośredniego wyznaczenia wartości obliczeniowych pa-

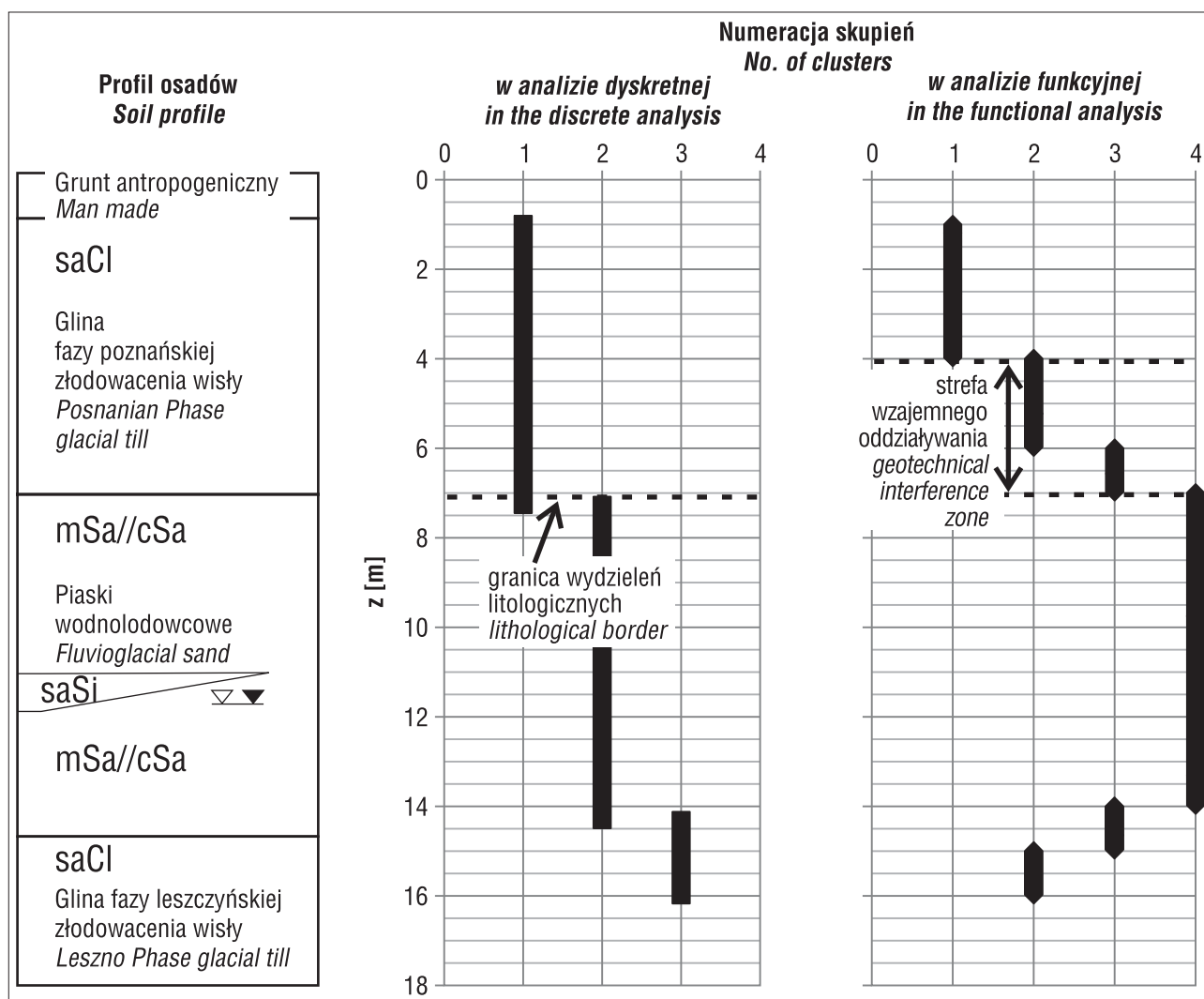
rametrów geotechnicznych. Taka możliwość pozwala również myśleć o wyrażeniu w przyszłości wartości parametru geotechnicznego nie przez wartość dyskretną, lecz poprzez funkcję o wartości zależnej, np. od miejsca w analizowanej przestrzeni. Przykładem ilustrującym możliwości obrania takiego kierunku w analizach geologiczno-inżynierskich, jest wykorzystanie analizy funkcyjnej do wydzielenia jednorodnych obszarów podłoża na podstawie sondowania statycznego. Istota tej koncepcji opiera się na transformacji wyników sondowania do postaci funkcji, a następnie jej wykorzystaniu w analizie podłoża. Wyniki pierwszych prac (m.in. Młynarek i in., 2016) wskazują na możliwość efektywnego grupowania otrzymanych funkcji (a właściwie ich fragmentów), w celu osiągnięcia statystycznie uzasadnionego modelu rozkładu danego parametru w podłożu (ryc. 1). Uzyskane rezultaty jednoznacznie wskazują, że prowadzenie podobnej analizy skupień na podstawie danych dyskretnych, a nie funkcyjnych, prowadzi do pominięcia w geologiczno-inżynierskim modelu budowy podłoża stref przejściowych, wynikających ze wzajemnego oddziaływania na siebie przyległych warstw geologicznych (ryc. 2).

Zaawansowane techniki badawcze *in situ* niewątpliwie poszerzają możliwości określenia wartości parametru reprezentatywnej dla wybranego fragmentu podłoża. Duża liczba danych pozwala budować model geologiczno-inżynierski z wykorzystaniem analizy statystycznej, co w



**Ryc. 1.** Schemat funkcyjnej analizy skupień wyników przykładowego sondowania CPTU (A – rezultaty badania, B – dopasowanie funkcji, C – przyjęcie przedziału fragmentacji funkcji, D – analiza skupień i przyjęcie rozwiązania na podstawie odpowiednich kryteriów statystycznych)

**Fig. 1.** Scheme of cluster functional analysis on the example of CPTU results (A – test results, B – function fitting, C – assumption of CPTU profile division, D – cluster analysis and assumption of the final solution)



**Ryc. 2.** Porównanie wyników analizy skupień danych dyskretnych i funkcyjnych na tle przykładowego profilu osadów  
**Fig. 2.** Comparison between the cluster analysis of discrete and functional data exemplified by a lithological profile

przyszłości być może pozwoli efektywnie wykorzystać koncepcję opisu właściwości gruntu za pomocą pola losowego. Przykładem kroku w tym kierunku może być próba konstrukcji modelu geologiczno-inżynierskiego podłoża z wykorzystaniem probabilistycznego systemu klasyfikacyjnego (Zhang & Tumay, 1999), podjęta przez Tumaya i in. (2011) dla osadów zlodowacenia wisły z okolic Poznania. W kontekście wspomnianych wyżej propozycji, wartościowym rozwiązaniem wydaje się być również połączenie w przyszłości zalet funkcyjnej analizy skupień z możliwościami dostarczenia informacji statystycznej, jakie daje stosowanie probabilistycznych systemów interpretacji badań *in situ*.

#### PARAMETR GRUNTU A JAKOŚĆ I RODZAJ PRÓBKİ

Klasyczny sposób ustalania właściwości podłoża gruntowego był od zawsze związany (i wciąż pozostaje) z poborem próbek gruntów oraz ich badaniami w laboratorium. Pomimo ciągłego rozwoju technik *in situ*, ten schemat realizacji badań geologiczno-inżynierskich wciąż ma rację bytu. Co więcej, wyniki specjalistycznych badań *in situ* powinny być każdorazowo uzupełniane tradycyjnymi

wierceniami i laboratoryjnymi badaniami próbek gruntów (Powell, 2005). Dzieje się tak m.in. w celu kalibracji stosowanych zależności interpretacyjnych wyników badań polowych z miejscowymi warunkami gruntowo-wodnymi. Charakterystyki parametryczne gruntów oparte na badaniach *in situ* oraz laboratoryjnych mają jednak swoją odmienną specyfikę (Jamiołkowski i in., 1985). W gruntach analizowanych bezpośrednio w terenie podczas badań jest zachowany przede wszystkim naturalny stan naprężeń w podłożu, podczas gdy już sam pobór próbek do analiz laboratoryjnych, nawet przy zachowaniu staranności procedur ich pozyskiwania, powoduje ich odprężenie, a tym samym zmianę stanu naprężeń (Hight & Higgins, 1995). Ponadto należy sobie zdawać sprawę, że schematy badań laboratoryjnych są jedynie pewnym, mniej lub bardziej dopasowanym odwzorowaniem zachowania się gruntu. Dominującą rolę w tym względzie odgrywają dwie zasadnicze kwestie: efekt skali oraz efekt czasu (Młynarek, 1975; Radaśzewski & Nowak, 2011). Kluczowe znaczenie dla poprawności charakterystyki parametrycznej podłoża gruntowego ma bez wątpienia liczba i reprezentatywność próbek, natomiast dla samych badań laboratoryjnych fundamentalną kwestią jest jakość analizowanych próbek gruntu. Wątek ten był wielokrotnie podkreślany w literaturze

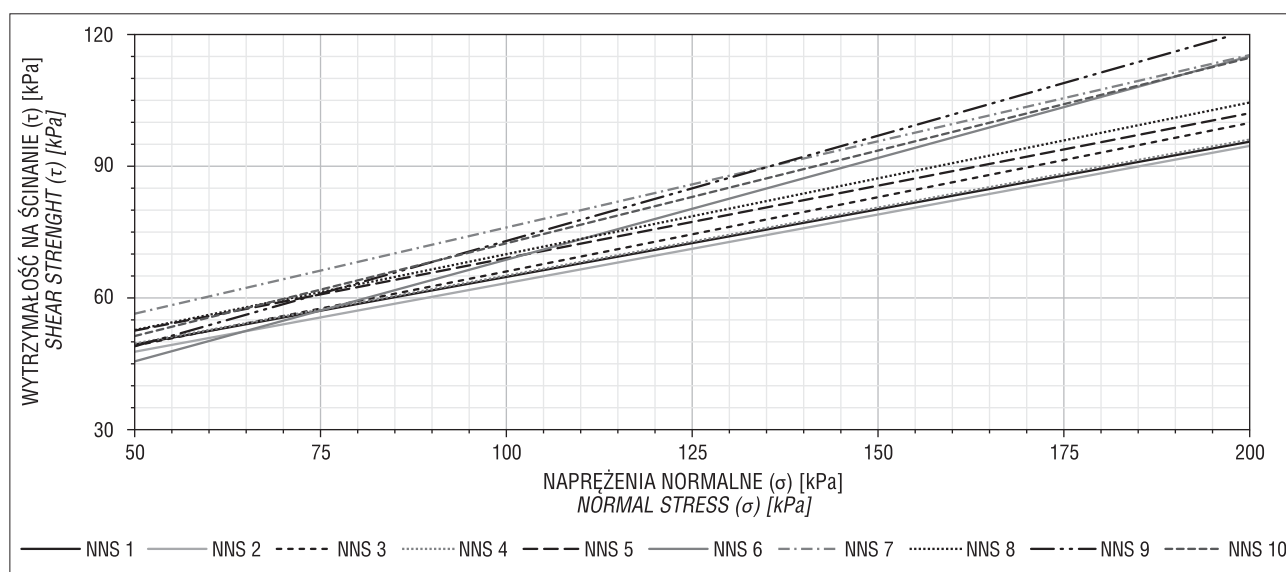
(m.in.: Cotecchia & Chandler, 1997; Bażyński i in., 1998; Long, 2002; DeGroot, 2005; Młynarek & Wierzbicki, 2011; Lipiński i in., 2016).

Oczywista, niepodważalna i bezdyskusyjna jest większa przydatność do badań laboratoryjnych próbek o nienaruszonej strukturze (tzw. NNS) niż pozostałych, w których zachowane są jedynie wilgotność, czy skład ziarnowy (NW, NU). Do niektórych badań, zgodnie z PN-B-04481:1988, nie można używać próbek innych niż NNS. Jednocześnie praktycy doskonale zdają sobie sprawę, jak trudno jest pobrać takie próbki. Uwzględniając przy tym dodatkowo fakt, że w celu rzetelnej weryfikacji jednorodności warstw podłoża gruntowego, zachodzi konieczność dokumentacji jego poszczególnych warstw geotechnicznych przynajmniej kilkoma oznaczeniami danej cechy (bo ta nawet przy niewielkiej skali obserwacji może być istotnie zmienna – por. ryc. 3), problem staje się jeszcze bardziej zryzysty.

Oddzielną kwestię stanowią w tym względzie grunty bezkohezyjne, dla których samo pobranie próbki NNS (nawet o zadowalającej jakości), nie gwarantuje wiarygodności ostatecznego wyniku danego parametru w toku dalszych laboratoryjnych procedur badawczych. W nowoczesnych i technologicznie zaawansowanych laboratoriach stosuje się wprawdzie techniki utrwalania próbek poprzez ich mrożenie i żywicowanie (Konrad, 1990; Van der Meer & Menzies, 2011), czy też nowe technologie samego poboru próbek, np. z wykorzystaniem próbnika żelowego – *vide* (<http://www.kiso.co.jp/osmkt/>), ale wszystkie one niosą ze sobą pewne, czasami istotne, ograniczenia dla realizacji badań lub interpretacji ich wyników.

Uzasadnione więc i otwarte wydaje się zatem pytanie: jak można temu zaradzić? Jeszcze do niedawna, a ściślej – do kwietnia 2012 r., kiedy weszło w życie Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Rozporządzenie, 2012), w pewnym sensie, na pominięcie tych problemów pozwalała norma PN-B-03020:1981. Umożliwiała ona, w szerokim

zakresie typów konstrukcji budowlanych i warunków gruntowo-wodnych w podłożu, stosowanie korelacji pomiędzy tzw. wiodącymi parametrami gruntów (stopniem zagęszczenia lub stopniem plastyczności), a innymi parametrami, w tym także mechanicznymi. Z chwilą wprowadzenia ww. rozporządzenia takie działanie jest możliwe formalnie wyłącznie dla obiektów zaliczanych do tzw. pierwszej kategorii geotechnicznej, a więc w dość odosobnionych przypadkach (proste konstrukcje budowlane realizowane w prostych warunkach gruntowo-wodnych). W związku z powyższym, być może pewnym rozwiązaniem, które należałoby rozważyć, jest próba wykorzystania, przynajmniej dla określonych litogenetycznie grup gruntów i przy dodatkowych rygorach proceduralnych, możliwie szerokiego spektrum badań laboratoryjnych na próbkach rekonstruowanych (pastach gruntowych). Przyjęcie takiego podejścia, poza oczywistą korzyścią związaną z automatycznym ograniczeniem liczby próbek NNS, daje możliwość uzyskania dużej liczby wyników odnoszących się do konkretnych klasyfikacyjnych typów gruntów, a nie tylko do ich typu genetycznego, na co skazywała (ew. skazuje) badaczy cytowana wcześniej norma. Przyjmowanie jako jedynego kryterium tylko genezy gruntów niesie ze sobą ryzyko zawyżania lub zaniżania ich poszczególnych parametrów geotechnicznych. Trudno przecież sobie wyobrazić, że np. na wartość kąta tarcia wewnętrznego nie będzie miała wpływu zawarta w gruncie frakcja piaszczysta czy pyłowa, a tego aspektu norma PN-B-03020:1981 nie uwzględnia. Nierzadko doświadczenie dobrze wykształconego i praktykującego geologa inżynierskiego lub geotechnika nakazywało wręcz pewne modyfikacje wartości parametrów „normowych”, co niestety nie było zgodne formalnie z procedurą ich wyznaczania tzw. metodą „B” (korelacyjną). To właśnie podnoszone kwestie mogą być m.in. wyjaśnieniem przyczyn rozbieżności pomiędzy wartościami normowymi parametrów opisywanych w dalszej części artykułu, a ich wartościami uzyskanymi z badań



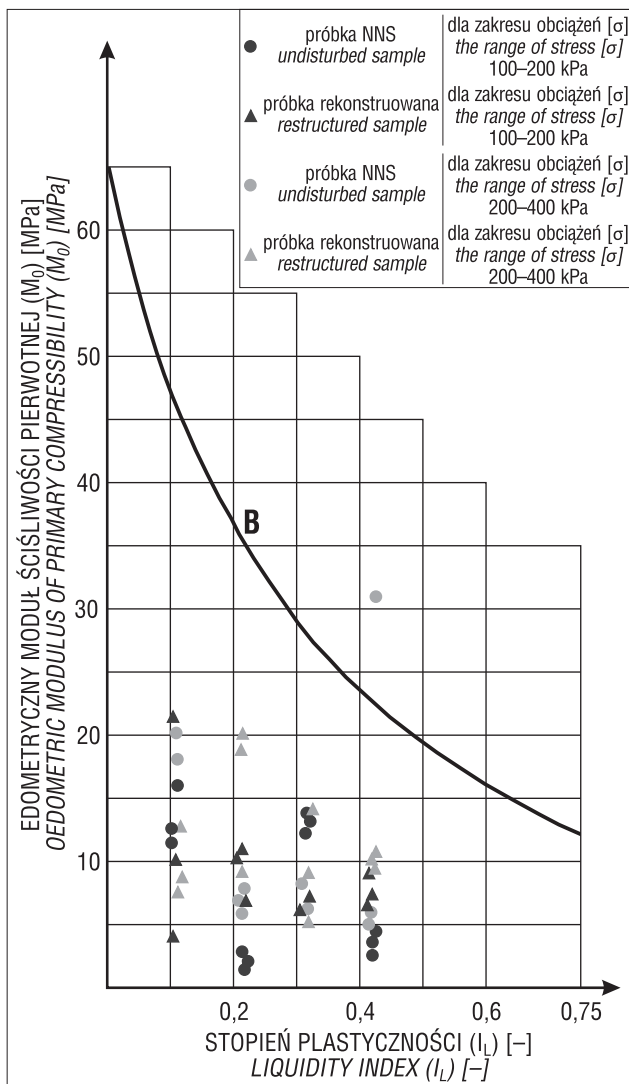
**Ryc. 3.** Zróżnicowanie wytrzymałości na ścinanie próbek NNS gliny piaszczystej fazy leszczyńskiej z wykopu budowlanego w Poznaniu przy ul. Mateckiego

**Fig. 3.** Variability of the shear strength of undisturbed soils samples of sandy loam from the Leszno stage of the from a trial pit in Mateckiego Street in Poznań



laboratoryjnych (niezależnie od typu badanych próbek, tj.: NNS lub próbki rekonstruowane).

Na zasadność tej tezy w określonych przypadkach wskazują przykładowe wyniki badań edometrycznych oraz wytrzymałościowych (z aparatu bezpośredniego ścinania), wyznaczone dla próbek NNS oraz próbek rekonstruowanych, wykonanych przez Rostkowską (2013). Badania te dotyczyły nieskonsolidowanych gruntów mało i średnio spoistych z rejonu Poznania i Torunia, o stopniu plastyczności w zakresie stanów od twardoplastycznego do miękkoplastycznego ( $I_L = 0,1-0,6$ ), genetycznie klasyfikowanych jako grunty faz: poznańskiej i leszczyńskiej zlodowacenia wisły, a granulometrycznie jako piaski gliniaste i gliny



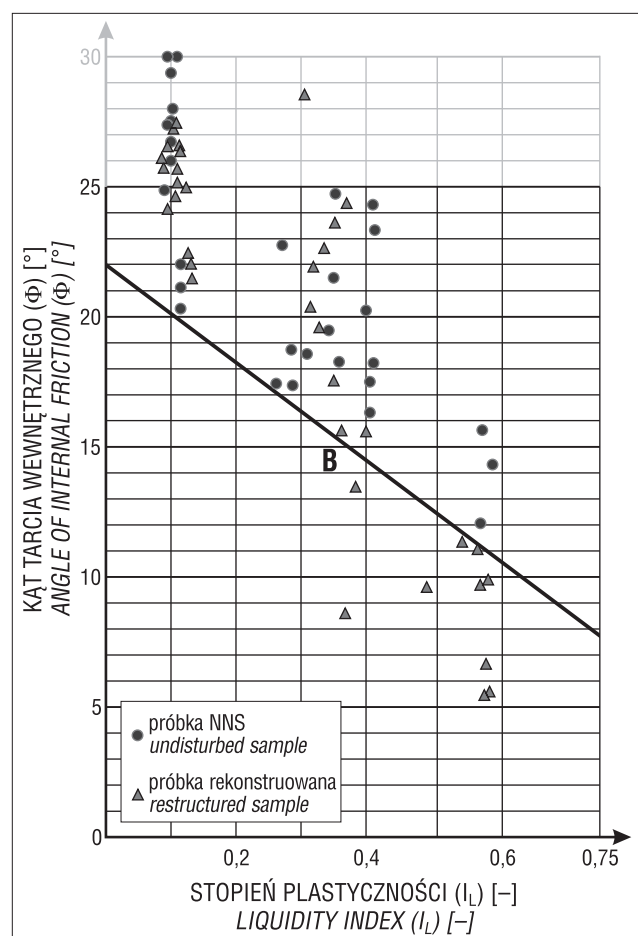
**Ryc. 4.** Charakterystyka edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$  (MPa) w próbkach NNS i rekonstruowanych przykładowych gruntów morenowych nieskonsolidowanych z rejonu Poznania i Torunia, na tle nomogramu wg PN-81/B-03020 (linia B przedstawia zależność edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej od stopnia plastyczności gruntu, wg ww. normy dla gruntów morenowych nieskonsolidowanych)

**Fig. 4.** Characteristics of the oedometric modulus of primary compressibility  $M_0$  (MPa) in undisturbed and restructured samples of non-consolidated moraine soils from the Poznań and Toruń region, against a nomogram according to PN-81/B-03020 (line B shows the dependence between the oedometric modulus and the liquidity index according to the cited standard for unconsolidated moraine soils)

piaszczyste. Metodyka przygotowania próbek rekonstruowanych uwzględniała zachowanie w nich wilgotności oraz gęstości objętościowej na poziomie wartości tych parametrów ustalanych dla próbek NNS. Tym samym w dalszym ciągu konieczne pozostawało ustalenie na próbkach NNS gęstości objętościowej gruntu, ale pozyskanie takich, stosunkowo niedużych próbek, było znacznie łatwiejsze niż pobór dużej ilości normatywnych próbek NNS do specjalistycznych badań laboratoryjnych.

Na rycinach 4 i 5 przedstawiono (w ogólności) charakterystykę odpowiednio: edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$  i kąta tarcia wewnętrznego  $\phi$  badanych gruntów, nanosząc uzyskane wyniki na nomogram z PN-B-03020:1981, który ilustruje analizowaną grupę genetyczną „B”, tj. inne (niż morenowe) grunty spoiste skonsolidowane oraz grunty morenowe nieskonsolidowane.

Rozrzut wyników widoczny na rycinie 4 dokumentuje fakt występowania wyraźnych różnic pomiędzy funkcją



**Ryc. 5.** Charakterystyka kąta tarcia wewnętrznego  $\phi$  ( $^\circ$ ) w próbkach NNS i rekonstruowanych przykładowych gruntów morenowych nieskonsolidowanych z rejonu Poznania i Torunia, na tle nieco zmodyfikowanego (w kolorze szarym) nomogramu wg PN-81/B-03020 (linia B przedstawia zależność kąta tarcia wewnętrznego od stopnia plastyczności gruntu, wg ww. normy dla gruntów morenowych nieskonsolidowanych)

**Fig. 5.** Characteristics of the internal friction angle  $\phi$  ( $^\circ$ ) in undisturbed and restructured samples of non-consolidated moraine soils from the Poznań and Toruń region, against a slightly modified (in gray) nomogram according to PN-81/B-03020 (line B shows the dependence between the angle internal friction and the liquidity index according to the cited standard for unconsolidated moraine soils)

zależnością normową  $M_0$  od stopnia plastyczności  $I_L$ , a wynikami rzeczywistych badań. Wszystkie rezultaty badań laboratoryjnych, niezależnie od tego czy uzyskane dla próbek NNS, czy też dla rekonstruowanych past gruntowych, leżą zdecydowanie poniżej „krzywej normowej”. Jednocześnie replikacja próbek o takim samym stopniu plastyczności poszczególnych typów gruntów wskazuje na większą powtarzalność wyników próbek NNS niż próbek rekonstruowanych. Największa zgodność wyników pomiędzy próbkami NNS i pastami gruntowymi zachodzi w twardoplastycznych piaskach gliniastych, podczas gdy w plastycznych glinach piaszczystych wyraźnie mniejszą ścisłość wykazują próbki rekonstruowane. Z kolei odwrotna relacja jest widoczna w glinach piaszczystych twardoplastycznych, ale w tym przypadku może to mieć związek z obiektywnymi trudnościami uzyskania homogenicznych past gruntowych przy niewielkiej wilgotności rekonstruowanych próbek. Generalnie należy stwierdzić, że nawet dla wąskiego zakresu zmienności litogenetycznej gruntów wyniki badań próbek rekonstruowanych nie wykazują na tyle wyraźnego podobieństwa do wyników NNS, żeby można je było praktycznie wykorzystać. Odrębną kwestią pozostaje to, że i tak są one bardziej zbliżone do wyników badań próbek NNS, niż wyniki ustalane z korelacji normowej – wg PN-B-03020:1981. Fakt ten może być przyczynkiem do twierdzenia, że mimo braku detalicznej zgodności z oznaczeniami dla próbek NNS, lepiej („bezpieczniej”) jest badać próbki rekonstruowane, niż opierać się wyłącznie na zależnościach cytowanej normy.

Dużo wyższa zgodność wyników pomiędzy oznaczeniami prowadzonymi na próbkach NNS i rekonstruowanych dotyczy rezultatów kąta tarcia wewnętrznego (ryc. 5). Poza glinami piaszczystymi o podwyższonej plastyczności (na poziomie  $I_L = 0,5-0,6$ ), gdzie próbki rekonstruowane wykazują wyraźnie niższe wartości kąta tarcia wewnętrznego niż próbki NNS, w przypadku pozostałych analiz wyniki dla obu typów próbek mieszczą się niemal w takim samym zakresie wartości. Wykazują one przy tym (w tym także próbki NNS) rozrzut wyników dla danego stopnia plastyczności nawet na poziomie kilku stopni. Taki stan rzeczy uzasadnia konieczność powielania badań ww. parametru dla większej liczby próbek oraz stwierdzenia, że wynik pojedynczego oznaczenia nie upoważnia w żaden sposób do przyjmowania go jako wiarygodnej wartości do tworzenia modelu podłoża gruntowego.

Ciekawe jest przy tym także to, że uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego  $\phi$ , za wyjątkiem silnie uplastycznionych próbek rekonstruowanych z glin piaszczystych fazy leszczyńskiej, leżą zdecydowanie ponad linią normowej zależności korelacyjnej  $\phi$  od  $I_L$ . Wpisuje się to dobrze w obserwacje Lipińskiego (2016), jak również w wyniki własnych badań *in situ* sondą statyczną CPTU, potwierdzając po raz kolejny niedoszacowanie tego parametru przez PN-B-03020:1981.

## PODSUMOWANIE

Współczesny poziom wiedzy naukowej i stosowane technologie stawiają przed geologami inżynierskimi określone wymagania. Wiąże się one np. z koniecznością porzucenia koncepcji parametrów gruntowych przyjmowanej m.in. w normie PN-B-03020:1981. Za podstawową

kwestię w tym względzie należy przyjąć powinność planowania i wykonywania badań cech mechanicznych gruntów oraz konsekwentne wykorzystywanie uzyskanych w ten sposób wyników do wyznaczania wartości charakterystycznych i obliczeniowych analizowanych parametrów.

Jest to bezpośrednio związane z zagadnieniem jakości i rodzaju próbek, które powinny być wiarygodne przyrodniczo i statystycznie, co należy zapewnić już na etapie projektowania badań. W związku z koniecznością wykonywania dużej ilości takich analiz trzeba rozważyć, szczególnie w zakresie badań wytrzymałościowych, możliwość częściowego zastępowania (przynajmniej w gruntach normalnie konsolidowanych – takich jak te, których charakterystyki zawarto w tym artykule) próbek NNS przez próbki rekonstruowane, zachowujące podstawowe charakterystyki parametrów fizycznych, jak wilgotność czy gęstość objętościowa. Jak pokazują prezentowane wyniki, wartości parametrów mechanicznych oparte na takich próbkach bardziej przystają do analogicznych wyników badań próbek NNS, niż stosowane od dziesiątków lat korelacyjne zależności z normy PN-B-03020:1981, a ponadto są one bardziej zbliżone z wynikami badań *in situ* niż ww. norma. Jednak nie należy przy tym zapominać, że w zdecydowanej większości przypadków, szczególnie w gruntach cechujących się specyficzną strukturą, jak ily warwowe czy lessy oraz we wszystkich gruntach prekonsolidowanych, badania gruntoznawcze muszą być przeprowadzane na próbkach NNS lub w warunkach *in situ*, z wykorzystaniem zaawansowanych i skalibrowanych do warunków lokalnych technik badawczych.

Warto również podkreślić konieczność właściwego zrozumienia specyfiki analiz geologiczno-inżynierskich jako działań przekrojowych, odnoszących się do aktualnego i prognozowanego stanu środowiska naturalnego. Za niewłaściwą należy przyjąć, spotykaną niestety, praktykę traktowania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, jako geotechnicznej dokumentacji badań podłoża, jedynie z nieco bardziej rozbudowaną, ogólnogeologiczną charakterystyką obszaru badań.

Sprawy te niewątpliwie wiążą się z kwestią odpowiedzialnej edukacji geologów inżynierskich oraz etyką i odpowiedzialnością zawodową (Kaczyński, 2007). Wymagają także umiejętnej współpracy z innymi grupami zawodowymi oraz korzystania z ich wiedzy i doświadczenia.

Prace badawcze, których wyniki wykorzystano w niniejszym artykule, zostały sfinansowane ze źródeł prywatnych oraz środków Instytutu Geologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przeznaczonych na działalność statutową.

## LITERATURA

- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S. & WYSOKIŃSKI L. 1999 – Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Ministerstwo Środowiska i PIG Warszawa: 1–184.
- COTECCHIA F. & CHANDLER R.J. 1997 – The influence of structure on the pre-failure behavior of natural clay. *Geotechnique*, 47 (3): 523–544.
- DeGROOT D., POIRIER S. & LADON M. 2005 – Sample disturbance-soft clays. *Stud. Geotech. Mech.*, 3–4: 91–105.
- DRĄGOWSKI A. 2003 – Geotechniczne aspekty geologii inżynierskiej. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3/4: 264–268.

- HIGHT D.W. & HIGGINS K.G. 1995 – An approach to the prediction of ground movements in engineering practice. Background and application. IS Hokkaido. [W:] M.K. WDOWSKA & A. WUDZKA, Czynniki warunkujące zmienność modułu odkształcenia gruntów spoistych. Prz. Nauk. Wydz. Inż. i Kształt. Środ. SSGW, 15 (1/33): 64–74. <http://www.kiso.co.jp/osmkt>.
- JAMIOLKOWSKI M., LADD C.C., GERMAINE J.T. & LANCELLOTTA R. 1985 – New developments in field and laboratory testing of soils. [W:] Proc. 11th ICSMFE, Vol. 1, San Francisco: 57–154.
- KACZYŃSKI R.R. 2007 – Edukacja geologiczno-inżynierska. Geologos, 11: 71–84.
- KONRAD J. 1990 – Sampling of Saturated and Unsaturated Sands by Freezing. Geotech. Test. Journ., 13 (2): 88–96.
- LACASSE S. & NADIM F. 1994 – Reliability issues and future challenges in geotechnical engineering for offshore structures. Mat. 7th International Conference Behaviour of Offshore Structures, BOSS'94, Cambridge, Mass.: 9–38.
- LEE J.K. 1974 – Soil Mechanics – New Horizons. Newness–Butterworth, London: 44–112.
- LIPIŃSKI M., WDOWSKA M. & MICHALCZUK K. 2016 – Parametry geotechniczne według normy PN-B-03020:1981 – perspektywa dnia dzisiejszego. Inżynieria i budownictwo, 4: 212–216.
- LONG M. 2002 – The Quality of Continuous Soil Samples. Geotech. Test. Journ., 25 (3): 1–18.
- LUMB P. 1966 – The variability of natural soils. Canadian Geotech. Journ., 3/2: 74–97.
- LUMB P. 1974 – Applications of Statistics in Soil Mechanics. [W:] J.K. Lee, Soil Mechanics–New Horizons. Chapter 3. Newness–Butterworth, London.
- MŁYNAREK Z. 1975 – Granice Atterberga gliny piaszczystej zagęszczanej statycznie i dynamicznie. Roczn. Akad. Rol., Poznań: 73–83.
- MŁYNAREK Z. 2003 – Influence of quality of in-situ tests on evaluation of geotechnical parameters of subsoil. Mat. 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 3: 565–570.
- MŁYNAREK Z. & SANGLERAT G. 1983 – Relationship between shear parameters and cone resistance for some cohesive soils. Mat. International Symposium In-situ Tests, Paris, 2: 347–352.
- MŁYNAREK Z. & WIERZBICKI J. 2011 – Niepewności pomiarowe w badaniach terenowych i laboratoryjnych. [W:] J. Bzówka (red.), Badania i analizy wybranych zagadnień z budownictwa. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice: 15–37.
- MŁYNAREK Z., WIERZBICKI J. & WOŁYŃSKI W. 2016 – Use of CPTU for the assessment of the stiffness model of subsoil of subsoil. Przygotowane do druku w Mat. 5th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation, Gold Coast, Australia.
- OLEK B., WOŹNIAK H. & STANISZ J. 2014 – Metody statystyczne stosowane do wyznaczania parametrów geotechnicznych. Prz. Geol., 62 (10/2): 656–663.
- PN-B-03020: 1981 – Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-B-04481: 1988 – Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
- PN-EN 1990:2000 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- POWELL J.M. 2005 – In-situ testing. General report. Mat. 14th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Millpress, Osaka: 729–734.
- PRZEWŁÓCKI J. 2006 – Problemy stochastycznej mechaniki gruntów. Ocena niezawodności. Dolnośląskie Wydaw. Nauk., Wrocław.
- PULA W. 2014 – Wybrane zagadnienia dotyczące wyznaczania wartości charakterystycznych w geotechnice. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 13 (1): 21–36.
- RADASZEWSKI R. & NOWAK M. 2011 – Znaczenie infiltracji wód w procesie zagęszczania gruntów bezkohezyjnych, na przykładzie wyników badań z obszarów ujęć wody miasta Poznania oraz badań eksperymentalnych. Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 529–540.
- ROSTKOWSKA A. 2013 – Analiza porównawcza podstawowych parametrów mechanicznych przypowierzchniowych gruntów spoistych z recesji ostatniego zlodowacenia, określanych dla próbek NNS oraz próbek rekonstruowanych. Praca magisterska. Arch. IG UAM Poznań
- ROZPORZĄDZENIE 2012 – Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Dz.U. z 2012 r. poz. 463.
- SCHULTZE E. 1971 – Frequency distribution and correlations of soil properties. Statistics and probability in civil engineering. Hong Kong University Press.
- TUMAY M.T., KARASULU Y.H., MŁYNAREK Z. & WIERZBICKI J. 2011 – Effectiveness of CPT-based classification charts for identification of subsoil stratigraphy. [W:] A. Anagnostopoulos (red.), Proc. of the 15<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. IOS Press: 91–98.
- WIERZBICKI J. & MŁYNAREK Z. 2015 – Reprezentatywna wartość parametru geotechnicznego z badań in situ i jej wykorzystanie do konstrukcji modeli geotechnicznych. Inż. Mor., 3: 164–174.
- VAN DER MEER J.J.M. & MENZIES J. 2011 – The micromorphology of unconsolidated sediments. Sedimen. Geol., 238: 213–232.
- ZHANG Z. & TUMAY M.T. 1999 – Statistical to Fuzzy Approach toward CPT Soil Classification, ASCE Journ. Geotech. Geoenviron. Engineer., 125 (3): 179–186.