

*Marek Cała\*, Sebastian Olesiak\**

## METODA WYZNACZANIA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH IŁÓW GÓRNOMIOCEŃSKICH REJONU KRAKOWA NA PODSTAWIE BADAŃ SONDĄ WKRĘCANĄ WST\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Sonda wkręcana WST została wynaleziona w departamencie geotechnicznym szwedzkich kolei w 1915 roku, a od 1917 roku została uznana za jedno ze standardowych narzędzi badawczych w geotechnice. Na początku wykorzystywana była przeważnie tylko w badaniach gruntów słabych do oceny zagrożenia osuwiskami [6, 24]. Obecnie wykorzystywana jest w badaniach wszystkich rodzajów gruntów, generalnie do oceny grubości następujących po sobie warstw, ich zasięgu oraz do szacunkowej oceny wybranych właściwości gruntów dla celów projektowych [20, 22]. Największą popularnością cieszy się w krajach skandynawskich oraz w Azji, gdzie wykorzystywana jest między innymi w badaniach geotechnicznych związanych ze skutkami trzęsień ziemi i towarzyszącemu im upłynięciu gruntu [5, 11, 27, 28].

Pomimo wykorzystywania sondy od blisko 100 lat, do dzisiaj nie doczekała się normatywnych danych interpretacyjnych z wyjątkiem wąskiej grupy gruntów niespoistych [20, 22]. W związku z dużą popularnością sondy SPT i powszechnie stosowanymi normatywnymi informacjami dotyczącymi interpretacji uzyskiwanych wyników [20, 22], od lat 50-tych prowadzono w Japonii prace badawcze nad korelacją wyników z sondowania WST i SPT [9]. Prace te do dzisiaj są popularyzowane i unowocześniane [8, 25, 28, 29]. W Polsce w latach 70-tych podjęto nieliczne próby badawcze dotyczące kalibracji sondy WST [1–3], które niestety nie przyniosły pożądanego efektu i nie znalazły kontynuatorów.

W pierwszej części prac badawczych nad wykorzystaniem sondy wkręcanej WST w badaniach gruntów spoistych skupiono się na przyporządkowaniu laboratoryjnie wyznaczone-

---

\* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Praca została wykonana w ramach badań własnych 10.10.100.491

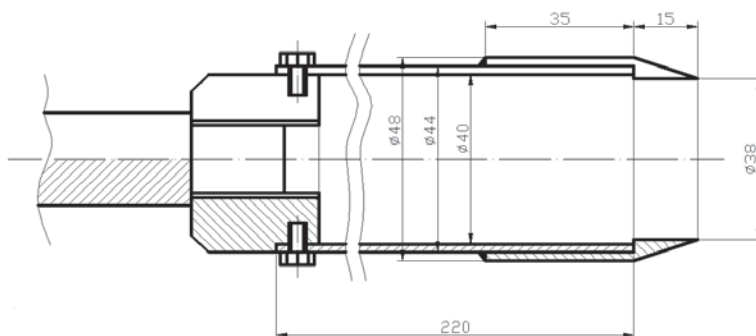
go stopnia plastyczności iłów górniołocieńskich do charakterystycznych parametrów uzyskiwanych w trakcie sondowania sondą WST, takich jak obciążenie lub liczba półobrotów [13–15]. Na tej podstawie zaprojektowano nomogram do wyznaczania stopnia plastyczności iłów. Szacowanie wybranych właściwości iłów, np. właściwości wytrzymałościowych, może się odbywać w sposób pośredni z wykorzystaniem Polskiej Normy PN-B03020:1981 zgodnie z metodą B.

W niniejszym artykule zaprezentowane zostaną badania, na podstawie których opracowany został nomogram do bezpośredniego wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych iłów górniołocieńskich rejonu Krakowa, takich jak kąt tarcia wewnętrznego i spójność.

## 2. Materiał badawczy, próbnik NNS i aparat trójosiowego ściskania

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na iłach górniołocieńskich zapadliska przedkarpacciego z rejonu Krakowa. Praca dotyczy trzech lokalizacji tj. Zesławice, Mydlnik i Ruczaju [13–15]. Dla Mydlnik i Ruczaju próbki były pobierane co 1 m, do głębokości 5 m, z sześciu otworów badawczych. Badania polowe i pobór materiału badawczego odbywał się na odpowiednio przygotowanych poletkach badawczych z powierzchni terenu. W kopalni iłów Zesławice próbki do badań pobierano tylko z głębokości 3 i 5 m. Pobór materiału odbywał się w sąsiedztwie prac polowych, ze skarpy w sąsiedztwie której prowadzono eksploatację.

Dużym problemem w badaniach wytrzymałościowych gruntów jest pobieranie próbek badawczych wiernie reprezentujących materiał naturalny. Dla tego celu zaprojektowano i wykonano próbniki pozwalające na pobieranie próbek o nienaruszonej strukturze (typ A, NNS). Pobieranie próbek odbywa się statycznie, za pomocą obciążenia przyłożonego w otworach badawczych z wykorzystaniem osprzętu sondy wkręcanej WST (rys. 1). Konstrukcja próbniaka, wyposażonego w nóż o średnicy 38 mm i komory o średnicy 40 mm pozwala na pobieranie w trakcie prac polowych dowolnych ilości materiału badawczego o odpowiedniej średnicy. Zwiększenie średnicy zewnętrznej próbniaka pozwala na łatwiejsze wyciąganie go z otworu. Po pobraniu materiału był on odpowiednio zabezpieczony przed utratą wilgotności



Rys. 1. Próbnik do pobierania próbek NNS

i dodatkowo przechowywany w hermetycznych tubach. Do momentu badania w aparacie trójosiowego ściskania tuby z materiałem badawczym były przechowywane w lodówce. Materiał badawczy w laboratorium był przygotowywany do badań wytrzymałościowych, gdzie wykonywano próbki o średnicy 38 mm i smukłości 2.

Wszystkie badania wytrzymałościowe wykonywane były w aparacie trójosiowego ściskania firmy GDS Instruments Ltd. To nowoczesny, elektronicznie sterowany aparat w skład którego wchodzi następujące elementy: komora trójosiowa typu Bishop & Wesley o maksymalnym ciśnieniu roboczym 17 000 kPa oraz trzy siłowniki do zadawania i kontrolowania: ciśnienia w komorze trójosiowej, ciśnienia w komorze obciążeniowej wymuszającej przemieszczenie próbki i ciśnienia wody w porach gruntu. Dodatkowo aparat wyposażony jest w trzy czujniki: do bezpośredniego pomiaru przemieszczenia osiowego próbki, do pomiaru siły osiowej i do pomiaru ciśnienia wody w porach gruntu. Wszystkimi procesami steruje się za pomocą komputera PC z aplikacją GDSLAB poprzez elektroniczny układ nadawczo-odbiorczy. Aparat trójosiowego ściskania GDS umożliwia badanie próbek cylindrycznych o średnicach 38 i 50 mm i maksymalnej wysokości 100 mm, przy maksymalnej sile osiowej 4 kN (rys. 2) [26].



Rys. 2. Widok na aparat trójosiowego ściskania GDS

### 3. Badania wytrzymałościowe

Badania wytrzymałościowe prowadzone były metodą UU (*unconsolidated undrained*), czyli bez wstępnej konsolidacji i bez odpływu wody w czasie ścinania. Zawartość wody w próbce utrzymywana była na stałym poziomie. W trakcie badania dokonywano pomiaru ciśnienia wody w porach gruntu  $u$ . Badania wykonywano dla trzech ciśnień okólnych  $\sigma_3 = 50, 100$  i  $200$  kPa, a dla łąw z Ześlawic dodatkowo dla  $\sigma_3 = 300$  i  $400$  kPa. Prędkość osiowych przemieszczeń próbek (prędkość ścinania  $v_s$ ) wynosiła  $0,01$  mm/min. Dodatkowo przed i po badaniu określano wilgotność łąw. Z badań trójosiowych wyznaczono, dla naprężeń całkowitych  $\sigma_1$  i  $\sigma_3$ , kąt tarcia wewnętrzznego  $\Phi_u$  i spójność  $c_u$  badanych gruntów. Dla określenia

kąta tarcia wewnętrznego i spójności przebadano średnio 8÷10 próbek dla różnych ciśnień bocznych  $\sigma_3$ , z jednej lokalizacji i dla jednej głębokości. Przebadano zatem w sumie około 100 próbek.

Dotychczasowa praktyka geotechniczna wskazuje, że w warunkach niskich ciśnień (do 1 MPa [10]) wyniki badań w aparacie trójosiowego ściskania wystarczająco poprawnie interpretuje się według stanu granicznego Coulomba. Dla określenia momentu ścięcia przyjęto kryterium ścieżki naprężenia (trajektorii naprężenia) a parametry równania linii wytrzymałości na ścinanie w układzie  $q = f(p)$  zostały wyznaczone ze stałych równania prostej [4, 10, 12, 16, 18].

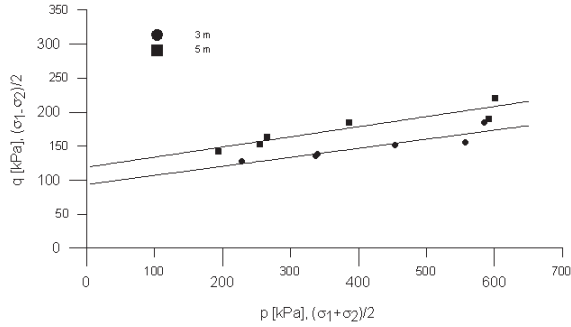
Przy doborze wyników przyjęto kryterium wzorując się na Polskiej Normie PN-B-04481:1988, modyfikując je do przyjętej metodyki badania. Wynikiem badania określonej grupy iłów było co najmniej sześć par wartości  $p$  i  $q$ . Dla Zesławic dobierano wyniki uzyskane z badań odpowiadające ciśnieniu w komorze 50, 100, 200, 300 i 400 kPa (dla iłów z głębokości 3 m i  $\sigma_3 = 50$  kPa, oraz dla iłów z głębokości 5 m i  $\sigma_3 = 300$  kPa nie uzyskano zadowalających wyników). Dla wyników z Mydlnik i Ruczaju dobierano zawsze po dwie pary reprezentujące ciśnienie w komorze odpowiednio 50, 100 i 200 kPa. Wyznaczony współczynnik dopasowania  $R^2$  dla liniowej zależności  $q = f(p)$  musiał być większy od 0,75. Próbki nie spełniające przyjętego powyżej kryterium były odrzucane, a badania wytrzymałościowe prowadzono do momentu uzyskania sześciu wyników spełniających przyjęte kryterium.

Wyniki z badań wytrzymałościowych iłów górnioiцеńskich zebrano w tabeli 1 oraz na rysunkach od 3 do 5, odpowiednio dla Zesławic, Mydlnik i Ruczaju.

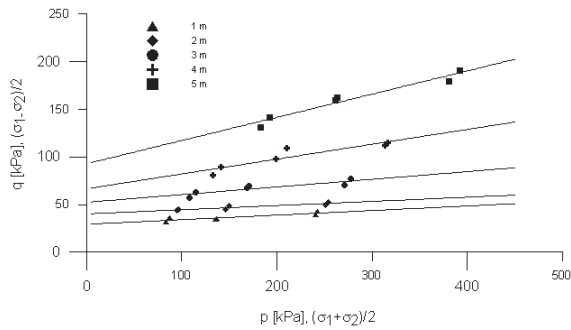
TABELA 1

**Wyniki badań wytrzymałościowych iłów górnioiцеńskich**

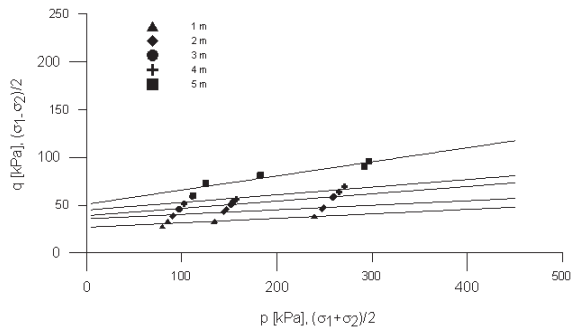
Lokalizacja	Głębokość [m] p.p.t.	Średnia wilgotność $w$ [%]	Parametry równania prostej $q = c_T + \text{tg}\Phi_T \cdot p$			Współczynnik dopasowania $R^2$	Dla naprężeń całkowitych	
			$c_T$ [kPa]	$\text{tg}\Phi_T$	$\Phi_T$ [°]		Spójność $c_u$ [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego $\Phi_u$ [°]
Zesławice	3	27,06	93,805	0,1329	7,57	0,8315	94,64	7,59
	5	25,41	119,000	0,1489	8,47	0,8604	120,34	8,50
Mydlniki	1	37,38	29,255	0,0479	2,74	0,7924	29,28	2,74
	2	34,61	40,271	0,0439	2,51	0,8305	40,31	2,51
	3	31,98	52,503	0,0804	4,60	0,7589	52,67	4,60
	4	31,12	66,600	0,1559	8,86	0,8431	67,42	8,90
	5	27,87	92,973	0,2434	13,68	0,9521	95,86	13,81
Ruczaj	1	35,94	26,936	0,0469	2,69	0,8198	26,97	2,69
	2	33,38	35,765	0,0474	2,71	0,7668	35,81	2,71
	3	32,55	39,149	0,0762	4,36	0,9569	39,26	4,36
	4	31,37	44,974	0,0799	4,57	0,7526	45,12	4,57
	5	30,35	51,199	0,1475	8,39	0,8742	51,76	8,42



**Rys. 3.** Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie  
iłów górniołocieńskich z Zesławic



**Rys. 4.** Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie  
iłów górniołocieńskich z Mydlnik



**Rys. 5.** Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie  
iłów górniołocieńskich z Ruczaju

Próbki z głębokości 1 i 2 m deformowały się plastycznie („beczki”) lub zniszczenie przebiegało po powierzchniach poślizgu ale ze znaczną deformacją plastyczną próbki i bez wyraźnego spadku naprężenia dewiatorowego wraz ze wzrostem odkształcenia. Znaczna deformacja plastyczna próbek nie pozwalała na jednoznaczne określenie kąta ścięcia próbek (około 26 do 60 stopni) jak i opisu makroskopowego powierzchni ścięcia. Wraz ze spadkiem

wilgotności gruntu, który ma miejsce od 3 m głębokości, generalnie próbki niszczą się po wyraźnych powierzchniach poślizgu. Powierzchnie były nierówne, śliskie i błyszczące z wyraźnymi rysami poślizgowymi. W zależności od ciśnienia bocznego  $\sigma_3$ , kąt ścicia próbek był bardzo różny i wahał się w zakresie od 38 do 70 stopni.

#### 4. Propozycja nomogramu do wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów górnoioceńskich rejonu Krakowa

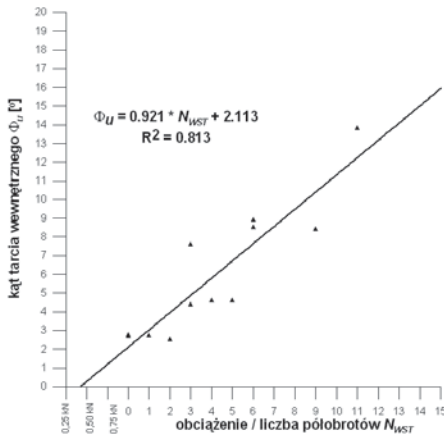
Kalibracja sondy wkręcanej WST do wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów górnoioceńskich polega na porównaniu i przyporządkowaniu wyznaczonych laboratoryjnie wartości kąta tarcia wewnętrznego  $\Phi_u$  i spójności  $c_u$ , do podstawowych parametrów uzyskiwanych w trakcie sondowania sondą wkręcaną WST czyli obciążenia lub liczby półobrotów  $N_{WST}$  (tabela 2 i rys. 6 i 7). Podobnie, jak miało to miejsce w pracach [13–15], dla zagłębiania się sondy przy obciążeniach mniejszych niż 1 kN przyjęto dla  $N_{WST}$  następujące wagi liczbowe: –1 dla 0,75 kN, –2 dla 0,5 kN i –3 dla 0,25 kN obciążenia.

TABELA 2

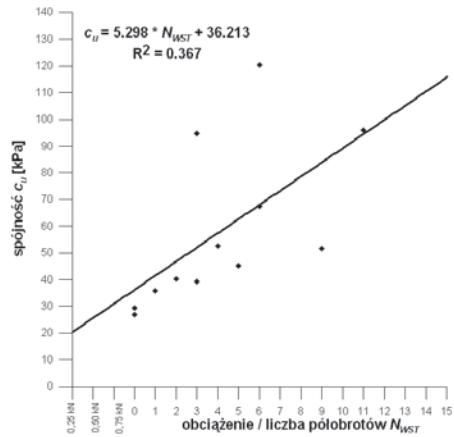
##### Zestawienie wyników sondowań sondą wkręcaną WST i wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów górnoioceńskich

Lokalizacja	Głębokość [m] p.p.t.	Obciążenie lub liczba półobrotów NWST	Dla naprężeń całkowitych		Opór ścinania $\tau_f$ [kPa]
			Spójność $c_u$ [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego $\Phi_u$ [°]	
Zesławice	3	3	94,64	7,59	102,29
	5	6	120,34	8,50	134,75
Mydlniki	1	0	29,28	2,74	30,15
	2	2	40,31	2,51	41,92
	3	4	52,67	4,60	57,13
	4	6	67,42	8,90	79,03
	5	11	95,86	13,81	118,75
Ruczaj	1	0	26,97	2,69	27,82
	2	1	35,81	2,71	37,54
	3	3	39,26	4,36	43,47
	4	5	45,12	4,57	51,04
	5	9	51,76	8,42	65,52

Część wyników z badań polowych i laboratoryjnych ilów z Zesławic odbiega zasadniczo od wyników uzyskanych dla Mydlnik i Ruczaju. Badania polowe i laboratoryjne w Zesławicach prowadzone były bezpośrednio w złożu, na materiale pochodzącym z głębokości około 20÷30 m p.p.t., co znacząco różni je od warunków w jakich wykonywano badania w Mydlni-



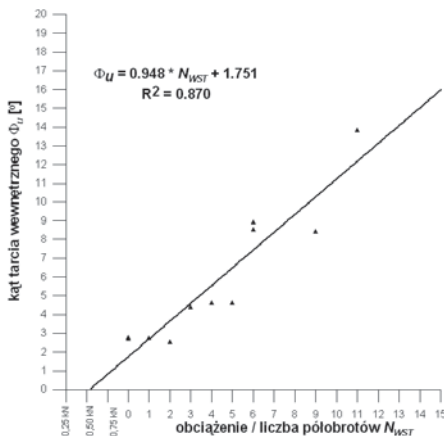
**Rys. 6.** Zestawienie wyników sondowań sondą wkręcaną WST i wartości kąta tarcia wewnętrznego badanych iłów



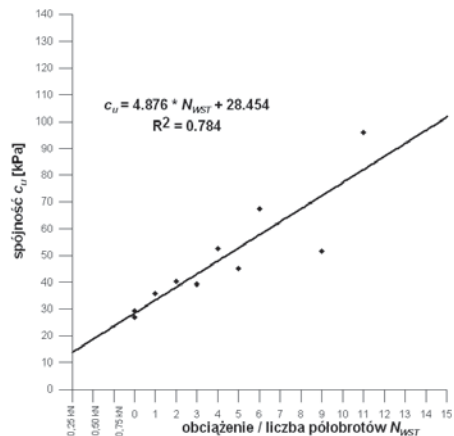
**Rys. 7.** Zestawienie wyników sondowań sondą wkręcaną WST i wartości spójności badanych iłów

kach i Ruczaju [13–15]. Badany materiał był w stanie półzwarłym i zwarłym dlatego wartości liczby półobrotów wydają się zbyt niskie. Może to wynikać z dwóch powodów. Badania połowe prowadzone były w sąsiedztwie aktualnej eksploatacji, co mogło mieć wpływ na rozluźnienie struktury iłów. Dodatkowo w trakcie badań zaobserwowano, że iły w złożu cechują się budową blokową. Były bardzo spękane nie tylko w kierunku uławicenia, natomiast próbki do laboratoryjnych badań wytrzymałościowych pobierane były zawsze z materiału nie spękanego.

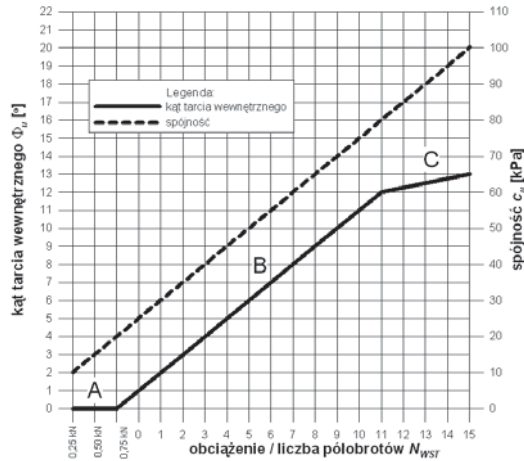
Po odrzuceniu trzech skrajnych wyników z Zesławic znacznie odbiegających od wartości średniej (rys. 8 i 9), opracowano nomogram do wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych iłów górnioocieńskich rejonu Krakowa (rys. 10).



**Rys. 8.** Skorygowane zestawienie wyników sondowań sondą wkręcaną WST i wartości kąta tarcia wewnętrznego badanych iłów



**Rys. 9.** Skorygowane zestawienie wyników sondowań sondą wkręcaną WST i wartości spójności badanych iłów



Rys. 10. Nomogram do wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych iłów górnioocieńskich rejonu Krakowa

Równanie prostej opisującej zależność spójności  $c_u$  i charakterystycznych parametrów z sondowania WST jak obciążenie lub liczba półobrotów NWST przyjmuje postać (1):

$$c_u = 5 \cdot N_{WST} + 25 \text{ [kPa]} \quad (1)$$

Krzywa charakteryzująca zależność kąta tarcia wewnętrznego  $\Phi_u$  i obciążenia lub liczby półobrotów  $N_{WST}$  składa się z trzech odcinków A, B i C. Przyjęto, że dla iłów w których pograżenie się sondy odbywa się tylko na skutek przyłożonego obciążenia do 0,75 kN, wartość kąta tarcia wewnętrznego jest stała i równa 0 (2). Dla zakresu pomiędzy 1 kN obciążenia a 11 półobrotów odcinek opisuje zależność (3), a powyżej 11 półobrotów zależność (4). Zgodnie z [13, 14] zagłębienie sondy o 10 cm pod wpływem 0,75 kN obciążenia, odpowiada iłom znajdującym się na granicy stanu plastycznego i miękoplastycznego. Natomiast 11 półobrotów wypada w połowie przyjętego w pracach [13, 14] zakresu dla iłów w stanie półzwartym.

$$\Phi_u^A = 0^\circ \quad (2)$$

$$\Phi_u^B = (N_{WST} + 1)^\circ \quad (3)$$

$$\Phi_u^C = (0,25 \cdot N_{WST} + 9,25)^\circ \quad (4)$$

Iły górnioocieńskie zapadliska przedkarpackiego charakteryzują się dużym zakresem zmienności wybranych właściwości wytrzymałościowych. Na podstawie badań laboratoryjnych w aparacie trójosiowego ściskania, wyznaczona dla tych iłów maksymalna wartość spójności dla naprężeń całkowitych przekracza 300 kPa a wartość kąta tarcia wewnętrznego osiąga  $24^\circ$  [10, 17, 23]. Na tej podstawie zdecydowano o zmianie nachylenia krzywej do wyznaczania kąta tarcia wewnętrznego w jej górnej części. Przy 50 półobrotach wartość kąta



tarcia wewnętrzznego, wyznaczona na podstawie nomogramu, wynosi  $21,75^\circ$ . Pięćdziesiąt półobrotów na 10 cm wępudy sondy przyjmowane jest jako wartość graniczna przy sondowaniu WST, zaś po jej przekroczeniu należy przerwać badanie [2, 7, 16, 17].

## 5. Podsumowanie

Badania sondą wkręcaną WST należą do najtańszych i najszybszych metod badań in-situ podłoża gruntowego. Dlatego tak ważne jest wyposażenie przyszłych użytkowników sondy w uniwersalne narzędzia umożliwiające interpretację uzyskiwanych wyników. Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych, dla przypowierzchniowej warstwy iłów górnomiocenijskich zapadliska przedkarpackiego rejonu Krakowa, opracowano nomogram do wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych w oparciu o badania sondą wkręcaną WST.

### LITERATURA

- [1] *Borowczyk M., Frankowski Z.*: Badania gruntów statyczna sondą wkręcaną. Przegląd Geologiczny, nr 6, 1978, s. 374–380
- [2] *Dudzikowski R., Fabianowski J.*: Badania gruntów aluwialnych statyczną sondą (szwedzką) wkręcaną ręcznie. Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 1, 1974, s. 30–35
- [3] *Dudzikowski R.*: Badania gruntów zmechanizowaną statyczną sondą wkręcaną (szwedzką). Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 3, 1975, s. 26–30
- [4] *Glazer Z.*: Mechanika gruntów. Wydawnictwa Geologiczne, 1977
- [5] *Habibi M., Cheshomi A., Fakher A.*: A Case Study of Liquefaction Assessment Using Swedish Weight Sounding. 4<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Engineering. Taipei, Taiwan October 12–13, 2006. Paper No. 038, 2006
- [6] *Hartlen J., Wolski W.*: Embankments on organic soils. Amsterdam, Elsevier, 1996
- [7] *Ignat R., Kłębek A., Puchalski R.*: Terenowe badania geologiczno-inżynierskie. WG Warszawa, 1973
- [8] *Ikegame A., Suemasa N., Tanaka T., Yamato S., Katada T.*: A New Operation System for Swedish Weight Sounding Test Deducting a Rods Friction. The Proceedings of the Twentieth (2010) International Offshore And Polar Engineering Conference. Beijing, China, June 20–25, 2010. Cupertino, International Society of Offshore and Polar Engineers 2010, pp. 570–575
- [9] *Inada M.*: Interpretation of Swedish Weight Sounding Test. Monthly Magazine of Japanese Geotechnical Society, vol. 8(1), 1960, pp. 13–18
- [10] *Kaczyński R.*: Wytrzymałość i odkształcalność górnomiocenijskich iłów zapadliska przedkarpackiego. Biuletyn Geologiczny, t. 29, 1981, s. 105–193
- [11] *Kim C., Tei K., Fujii M.*: Measuring the Groundwater Level Using a Hole of the Swedish Weight Sounding Test. The Proceedings of the Twentieth (2010) International Offshore and Polar Engineering Conference. Beijing, China, June 20–25, 2010. Cupertino, International Society of Offshore and Polar Engineers 2010, pp. 789–792
- [12] *Lambe T.W., Whitman R.V.*: Mechanika gruntów. Arkady, 1977
- [13] *Olesiak S.*: Kalibracja sondy wkręcanej WST do badań górnomiocenijskich iłów zapadliska przedkarpackiego w rejonie Krakowa. Górnictwo i Geoinżynieria, 2011 (publikacja w tym samym numerze czasopisma)
- [14] *Olesiak S.*: Sonda wkręcana WST w badaniach miocenijskich iłów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, zeszyt 2, 2010, s. 501–507

- [15] *Olesiak S.*: Wykorzystanie sondy wkręcającej WST w badaniach mioceńskich ilów krakowickich. *Górnictwo i Geoinżynieria*, zeszyt 1, 2009, s. 467–473
- [16] *Pisarczyk S., Rymśza B.*: Badania laboratoryjne i polowe gruntów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1993
- [17] *Pisarczyk S.*: Gruntoznawstwo inżynierskie. PWN Warszawa, 2001
- [18] *Pisarczyk S.*: Mechanika gruntów. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1992
- [19] Polska Norma PN-B-03020:1981 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [20] Polska Norma PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe
- [21] Polska Norma PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [22] Polska Norma PN-EN-1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [23] *Rybicki S., Lenduszek P.*: Warunki inżyniersko-geologiczne w utworach mioceńskich podłoża Krakowa. Konferencja Naukowo-Techniczna. Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa. Wydawnictwo AGH Kraków, 1991, s. 59–67
- [24] *Smolczyk U.*: Geotechnical engineering handbook. Vol. 1, Fundamentals. Berlin, Ernst & Sohn Verlag 2002
- [25] *Suemasa N., Shinkai K., Suzawa T., Tamura M.*: A Plasticity Model for Swedish Weight Sounding Test. Proceedings of the Fifth Workshop on Safety and Stability of Infrastructures against Environmental Impacts. December 5-6, 2005, De La Salle University, Manila, Philippines, 2005, pp. 132–139
- [26] The GDS Laboratory Users Handbook. GDSLAB v2. GDS Instruments Ltd, 2003
- [27] *Towhata I., Ghalandarzadeh A., Shahnazari H., Mohajeri M., Shafiee A.*: Seismic Behavior of Local Soil and Foundations in Bam City During the 2003 Bam Earthquake in Iran. Tokyo, Bull. Earthq. Res. Inst. Vol. 13, 2004, pp. 69–80
- [28] *Towhata I.*: Geotechnical earthquake engineering. Springer Berlin, 2008
- [29] *Tsukamoto Y., Ishihara K., Sawada S.*: Correlation Between Penetration Resistance of Swedish Weight Sounding Tests and SPT Blow Counts in Sandy Soils. Tokyo, Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, vol. 44, No. 3, 2004, pp 13–24
- [30] *Yamamoto A., Hirata S., Tamura M.*: Geotechnical Investigation for Housing Construction by Swedish Ram Sounding in Japan. The Proceedings of The Seventeenth (2007) International Offshore and Polar Engineering Conference. Lisbon, Portugal, July 1–6, 2007. Cupertino, International Society of Offshore and Polar Engineers 2007, pp. 1248–1253