

# Możliwości wykorzystania sondy wkręcanej WST do badań wybranych gruntów spoistych w rejonie Krakowa

Dr inż. Sebastian Olesiak

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

Badania *in-situ* dzięki ich szybkości, możliwości wykrywania drobnych nieciągłości i defektów w ośrodku gruntowym oraz niższej cenie zyskują przewagę nad badaniami laboratoryjnymi. Niemniej do prawidłowego prowadzenia badań polowych z użyciem sond geotechnicznych jest niezbędna ich prawidłowa kalibracja. Użytkownik sondy powinien być wyposażony w odpowiednie, wiarygodne i uniwersalne informacje dotyczące interpretacji uzyskiwanych wyników, zarówno dla gruntów spoistych, jak i niespoistych. Dotyczy to zarówno prostego sprzętu ręcznego, jak i najbardziej zaawansowanych technicznie sond mechanicznych.

Sondę wkręcaną WST wynaleziono w departamencie geotechnicznym szwedzkich kolei w 1915 roku [2, 14]. 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 do celów projektowych. Pomimo jej wykorzystywania od blisko 100 lat, do dzisiaj nie doczekała się normatywnych danych interpretacyjnych z wyjątkiem wąskiej grupy gruntów niespoistych [19, 21].

Prace badawcze nad wykorzystaniem sondy wkręcanej WST do badań gruntów spoistych zapoczątkowano w 2008 roku [15], a następnie kontynuowano w latach kolejnych [4, 16, 17]. W artykule opisano badania wykonane w 2011 i 2012 roku. Jest on swego rodzaju raportem z czwartego etapu badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST. W pierwszej kolejności badania kalibra-

cyjne prowadzone były tylko na wąskiej grupie gruntów spoistych, górnioceńskich iłach zapadliska przedkarpackiego.

## OPIS REJONU BADAŃ

Iły mioceńskie w polskim zapadlisku przedkarpackim występują powszechnie i praktyczne na całej jego powierzchni. Ich strop występuje czasem bezpośrednio na powierzchni terenu, przykryty tylko cienką warstwą organiczną, częściej pod niewielkim nakładem młodszych osadów czwartorzędowych [8, 10]. Miąższość osadów ilastych w rejonie Krakowa jest bardzo zróżnicowana, zredukowana na wyniesieniach podłoża i większa, dochodząca do kilkudziesięciu metrów, w jego obniżeniach [22].

Ze względów praktycznych, zakres stosowalności sondy wkręcanej w gruntach spoistych jest ograniczony do  $6 \div 7$  m głębokości. Związane to jest ze zjawiskiem tarcia gruntu o żerdzie, co ma wpływ na zawyżanie liczby pólóbrotów powyżej tej głębokości [3, 15, 19]. Dlatego kolejne stanowiska badawcze starano się lokalizować tam, gdzie iły mioceńskie występują bezpośrednio od powierzchni terenu, ograniczając zakres sondowań i wierceń do 6 m głębokości.

Badania były prowadzone we wsi Tenczynek, oddalonej o około 30 km na zachód od Krakowa. W trakcie budowy nowych obiektów mieszkalnych zaobserwowano, że na tym terenie

iły mioceńskie występują niemal bezpośrednio na powierzchni terenu. Omawiany teren jest płaski, a różnice wysokości na użytej do badań działce nie przekraczają 0,5 m. Strop iłów mioceńskich zalega na głębokości około 0,5 m p.p.t., pod warstwą gruntów organicznych. W trakcie badań polowych nie nawiercono spągu iłów.

## GEOTECHNICZNE BADANIA POLOWE

Na przedmiotowej działce wytypowano prostokątne pole badawcze o szerokości 16 m, długości 20 m i powierzchni 320 m<sup>2</sup>. W trakcie badań polowych wykonano 20 sondowań sondą wkręcaną WST w siatce 4 × 4 m i 12 otworów badawczych. Schemat poletka badawczego przedstawiono na rys. 1.

W sześciu otworach badawczych (I-VI) o głębokości do 5,5 m wykonywano dodatkowo badania z wykorzystaniem son-

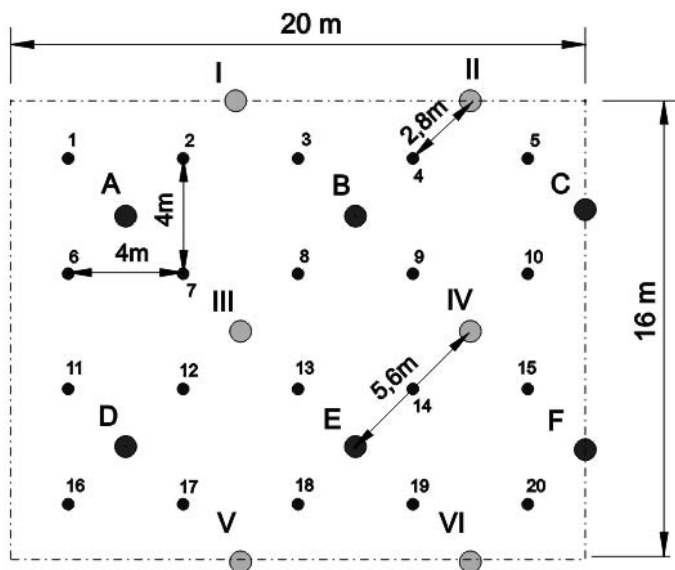
dy obrotowej FVT, dokonując pomiaru wytrzymałości na ścinanie bez odpływu  $\tau_{max}$  i wytrzymałości resztkowej  $\tau_{min}$ , co jeden metr głębokości. Wyniki z badań sondą obrotową FVT zestawiono w tabl. 1, w której przedstawiono wartości średnie wytrzymałości z sześciu otworów, wyznaczono stopień wrażliwości gruntu i oszacowano stopień plastyczności zgodnie z normą [19]. Dodatkowo z tych samych otworów pobierano co jeden metr głębokości materiał badawczy (próbki kategorii B, NW) do dalszych badań laboratoryjnych. W kolejnych sześciu otworach (A-F), co jeden metr głębokości pobierano próbki do badań wytrzymałościowych (próbki kategorii A, NNS). W trakcie badań polowych wykonywano także badania makroskopowe gruntu, przede wszystkim pod kątem oceny stanu iłów (tabl. 2).

W ramach badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST wykonano 20 sondowań do głębokości 5,5 m. Podobnie jak miało to miejsce w pracach [4, 6, 15, 16, 17] zliczano półobrotu na każde 10 cm wępu sondy. Jest to podejście bardziej uniwersalne niż prezentowane w polskich normach, w których dla gruntów niespoistych zaleca się zliczanie półobrotów na każde 20 cm wępu sondy.

Do zagłębiania się sondy przy obciążeniach mniejszych niż 1 kN przyjęto następujące zastępcze liczby półobrotów: 0 dla 1,0 kN, -1 dla 0,75 kN, -2 dla 0,50 kN, -3 dla 0,25 kN, -4 dla 0,0 kN. Identyczne podejście miało miejsce w pracach wcześniejszych [4, 15, 16, 17] dotyczących badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST.

Wyniki z sondowań WST przedstawiono na rys. 2. Na wykresach, oprócz krzywej przedstawiającej uśrednione wyniki z 20 sondowań, przedstawiono krzywe obrazujące wartość minimalną i maksymalną uzyskaną w trakcie sondowania (rys. 2a) i wartość odchylenia średniego (rys. 2b).

W profilu badanych iłów liczba półobrotów waha się od -3 (0,25 kN) do 19. Na całej sondowanej głębokości obserwuje się stopniowy wzrost liczby półobrotów, średnio od -2 (0,50 kN) do 15. Odchylenie średnie wyników jest bardzo zróżnicowane przy poszczególnych głębokościach i waha się od 0,2 do 2,7 półobrotu.



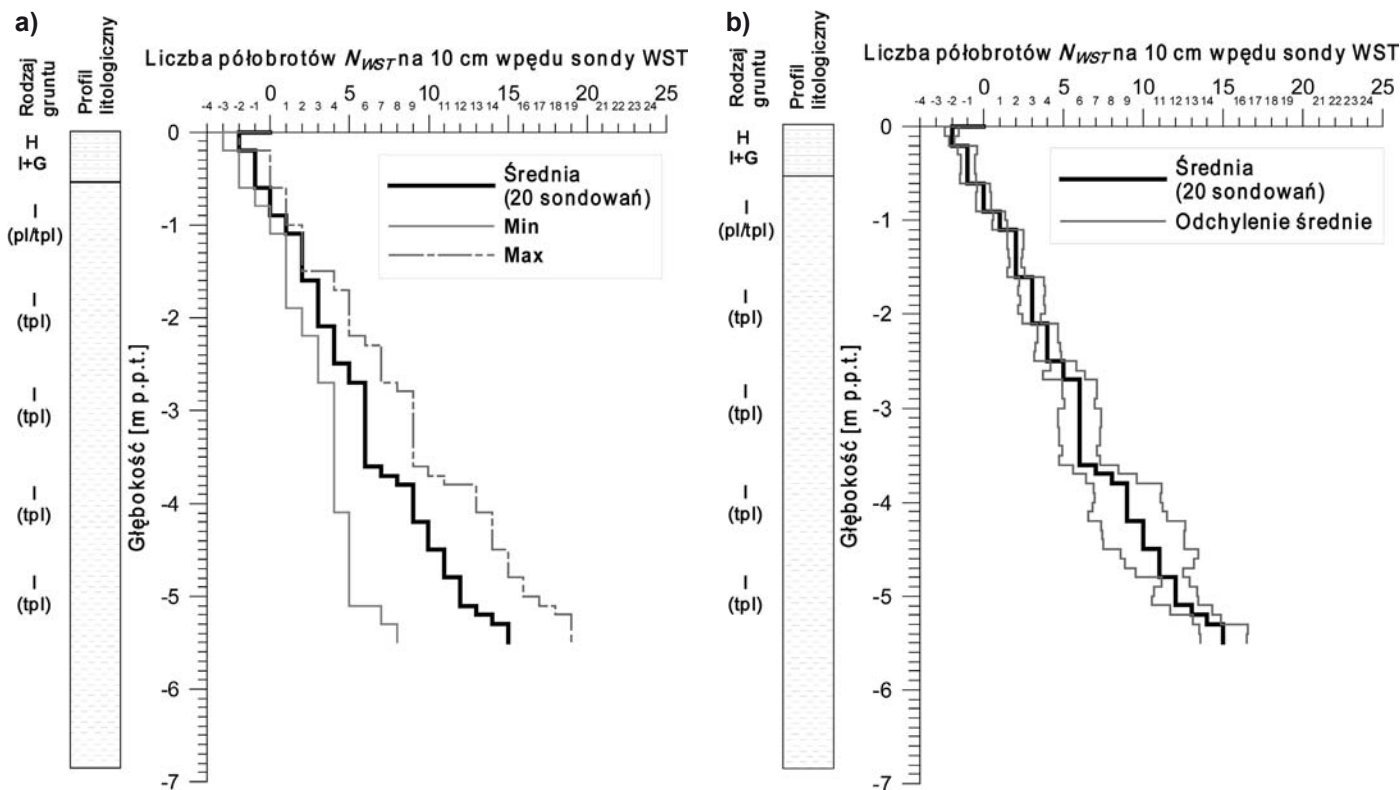
Rys. 1. Schemat pola badawczego

Tabl. 1. Wyniki badań sondą obrotową FVT

Głębokość	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Wytrzymałość na ścinanie $\tau_{max}$ [kPa]	67,5	118,3	137,5	152,5	171,7
Wytrzymałość resztkowa na ścinanie $\tau_{min}$ [kPa]	26,5	37,5	55,8	57,5	63,3
Wskaźnik wrażliwości gruntu $I_R = \tau_{max} / \tau_{min}$	2,55	3,15	2,46	2,65	2,71
Stopień wrażliwości strukturalnej gruntu	nw	nw	nw	nw	nw
Stopień plastyczności gruntu $I_L$	0,33	0,13	0,07	0,03	< 0,0
Stan gruntu	pl	tpl	tpl	tpl	pzw

Tabl. 2. Wyniki badań makroskopowych

Głębokość	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Liczba wałeczkowań	5/6	4/5	2/3	2/3	1/2
Stopień plastyczności gruntu $I_L$	0,25	0,20	0,10	0,10	0,05
Stan gruntu	pl/tpl	tpl	tpl	tpl	tpl



Rys. 2. Wykres sondowania ilów sondą wkręcaną WST

a) wraz z wartością minimalną i maksymalną uzyskanych półobrotów, b) wraz z wyznaczonym odchyleniem średnim liczby półobrotów

Tabl. 3. Charakterystyczne wyniki badań sondą wkręcaną WST

Głębokość	Odcinek długości 30 cm		Odcinek długości 50 cm	
	Liczba półobrotów $N_{WST}$	Odchylenie średnie	Liczba półobrotów $N_{WST}$	Odchylenie średnie
1 m	1	0,5	1	0,5
2 m	3	0,7	3	0,7
3 m	6	1,1	6	1,2
4 m	9	2,1	9	2,1
5 m	12	1,2	12	1,3

W celu określenia miarodajnej wartości liczby półobrotów na głębokościach, z których był pobierany materiał do badań laboratoryjnych, obliczano średnią arytmetyczną liczby półobrotów  $N_{WST}$  uzyskaną dla odcinka o długości 30 i 50 cm. Charakterystyczne wyniki sondowań WST w rejonie badawczym Tenczynek zamieszczono w tabl. 3.

### ZALEŻNOŚĆ WYNIKÓW SONDOWAŃ WST OD STOPNIA PLASTYCZNOŚCI

Badania kalibracyjne prowadzono dwutorowo. W pierwszym, odnosiły się do laboratoryjnie wyznaczonego stopnia plastyczności ilów mioceńskich, który był przyporządkowywany do wielkości charakterystycznych uzyskiwanych w trakcie badań polowych sondą wkręcaną WST, tj. liczby półobrotów  $N_{WST}$ . W drugim, odnosiły się do wybranych właściwości wytrzymałościowych.

W celu pełnej charakterystyki i klasyfikacji badanych gruntów wykonano szereg oznaczeń właściwości zgodnie z normą [20], a wyniki z tych badań zebrano w tabl. 4.

Na rys. 3 zestawiono dotychczasowe wyniki z badań polowych i z badań laboratoryjnych dotyczące określania stopnia plastyczności ilów mioceńskich z następujących rejonów badawczych w okolicy Krakowa: Ześlawice [15], Mydlniki [16], Ruczaj [17], poszerzone o wyniki z Tenczynka.

Uzyskane wyniki potwierdzają zależność liniową stopnia plastyczności od liczby półobrotów  $N_{WST}$  badanych gruntów:

$$I_L = 0,163 - 0,016 \cdot N_{WST}, \quad r = 0,706 \quad (1)$$

gdzie:

$I_L$  – stopień plastyczności,

$N_{WST}$  – liczba półobrotów,

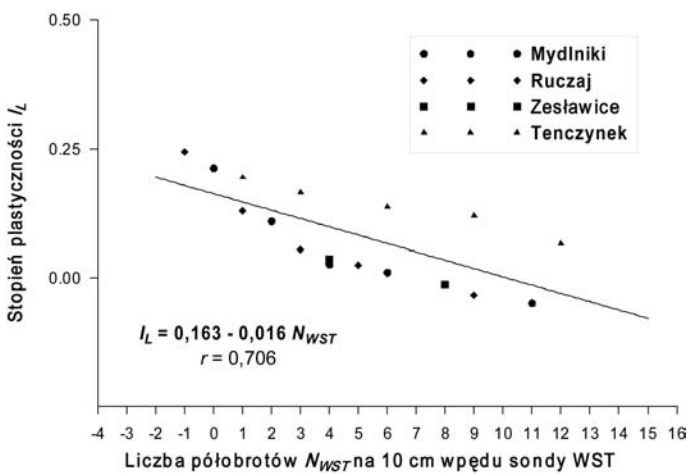
$r$  – współczynnik korelacji liniowej.

Parametry równania linii regresji wyznaczono ze stałych równania prostej, która była szacowana metodą najmniejszych kwadratów. Korelacja pomiędzy stopniem plastyczności a liczbą półobrotów  $N_{WST}$  jest bardzo wysoka ( $0,7 \leq r < 0,9$ ) [23], a wartość krytyczna współczynnika korelacji liniowej na poziomie istotności 0,05 dla 17 elementów wynosi  $r_{0,05(17)}^* = 0,482$  [12]. Obliczona wartość współczynnika korelacji liniowej jest większa od wartości krytycznej. Należy zatem uznać, że istnieje istotna korelacja pomiędzy stopniem plastyczności analizowanych ilów mioceńskich a liczbą półobrotów  $N_{WST}$ .

Prawidłowe określanie stopnia plastyczności na podstawie wyników badań sondą wkręcaną WST przy wykorzystaniu zależności (1) ograniczone jest liczbą półobrotów  $N_{WST}$  z przedziału od -1 do 12 na 10 cm zagłębienia sondy. Odpowiada to przede

Tabl. 4. Wyniki badań laboratoryjnych właściwości fizycznych ilów

Głębokość		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Wilgotność naturalna $w$ [%]		26,61	23,32	21,64	20,44	18,61
Gęstość objętościowa $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]		1,98	2,03	2,07	2,09	2,11
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]		2,68	2,71	2,72	2,72	2,74
Granica plastyczności $w_p$ [%]		17,98	17,77	17,31	16,33	16,41
Granica płynności $w_L$ [%]		62,43	51,39	49,14	50,46	49,67
Zawartość frakcji	ilastej $f_i$ [%]	25,8	30,2	30,7	31,4	31,5
	pylastej $f_{\pi}$ [%]	44,0	49,3	45,9	47,4	43,3
	piaskowej $f_p$ [%]	30,1	20,5	23,3	21,2	25,1
Stopień plastyczności $I_L$		0,19	0,17	0,14	0,15	0,07
Stan gruntu		tpl	tpl	tpl	tpl	tpl



Rys. 3. Zależność stopnia plastyczności  $I_L$  od liczby półobrotów  $N_{WST}$  Mydlniki [16], Ruczaj [17], Żesławice [15]

wszystkim ilom mioceńskim w stanie twardoplastycznym ( $0,0 \leq I_L \leq 0,25$ ) oraz w wąskim zakresie stanu plastycznego ( $I_L \approx 0,25$ ) i półzwartego ( $I_L \approx 0,0$ ).

### ZALEŻNOŚĆ SPÓJNOŚCI I KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO OD LICZBY PÓŁOBROTÓW $N_{WST}$

Dużym problemem w badaniach wytrzymałościowych gruntów jest pobieranie próbek badawczych wiernie reprezentujących materiał naturalny. W tym celu zaprojektowano i wykonano próbniki pozwalające na pobieranie próbek o nienaruszonej strukturze (kategoria A, NNS) z wykorzystaniem osprzętu sondy wkręcanej WST [4].

Wszystkie badania wytrzymałościowe wykonywano w aparacie trójosiowego ściskania firmy GDS Instruments Ltd [4]. 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  $\sigma_3 = 50, 100$  i  $200$  kPa. Prędkość osiowych prze-

mieszczeń próbek (prędkość ścinania  $v_s$ ) wynosiła  $0,01$  mm/min. Dodatkowo, przed i po badaniu określano wilgotność ilów. Na podstawie badań trójosiowych wyznaczono, dla naprężeń całkowitych  $\sigma_1$  i  $\sigma_3$ , kąt tarcia wewnętrznego  $\Phi_u$  i spójność  $c_u$  badanych gruntów. W celu określenia kąta tarcia wewnętrznego i spójności przebadano średnio  $8 \div 10$  próbek przy różnych ciśnieniach bocznych  $\sigma_3$ , z jednej lokalizacji i jednej głębokości.

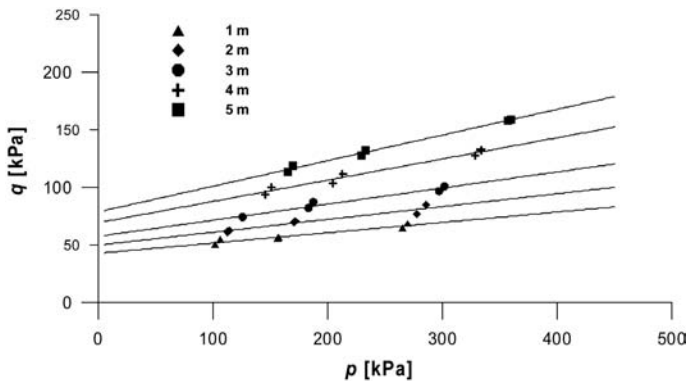
Z prac Kaczyńskiego [9, 10, 11] wynika, że dla ilów mioceńskich zapadliska przedkarpackiego w warunkach niskich ciśnień (do 1 MPa) wyniki badań w aparacie trójosiowego ściskania interpretuje się wystarczająco poprawnie według kryterium Coulomba-Mohra. Parametry wytrzymałościowe badanych gruntów określano w układzie  $q = f(p)$ , gdzie  $p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ , a  $q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$  oraz wykorzystując związki geometryczne pomiędzy parametrami zmodyfikowanymi  $c_r$  i  $\phi_r$  a parametrami właściwymi spójności i kąta tarcia wewnętrznego  $c_u$  i  $\phi_u$  [1, 5, 7, 13, 18].

Przy doborze wyników przyjęto kryterium, wzorując się na Polskiej Normie [20], modyfikując je do przyjętej metodyki badania. Wynikiem badania określonej grupy ilów było co najmniej sześć par wartości  $p$  i  $q$ . Do wyników dobierano zawsze po dwie pary reprezentujące ciśnienie w komorze odpowiednio 50, 100 i 200 kPa. Wyznaczony współczynnik korelacji liniowej  $r$  dla liniowej zależności  $q = f(p)$  musiał być większy od 0,9. Próbki nie spełniające przyjętego powyżej kryterium były odrzucane, a badania wytrzymałościowe prowadzono do momentu uzyskania sześciu wyników spełniających przyjęte kryterium. Wyniki badań dla Tenczyńka zestawiono w tabl. 5 i na rys. 4.

Próbki z głębokości 1 i 2 m deformowały się plastycznie (beczki) lub zniszczenie przebiegało wzdłuż powierzchni 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  $45^\circ$  do  $59^\circ$ ), jak i opisu makroskopowego powierzchni ścięcia. Wraz ze spadkiem wilgotności gruntu, który ma miejsce od 3 m głębokości, generalnie próbki ulegają zniszczeniu wzdłuż wyraźnych powierzchni poślizgu. Powierzchnie były nierówne, śliskie i błyszczące z wyraźnymi rysami poślizgowymi. W zależności od ciśnienia bocznego  $\sigma_3$ , kąt ścięcia próbek był bardzo różny i wahał się w zakresie od  $54^\circ$  do  $72^\circ$ .

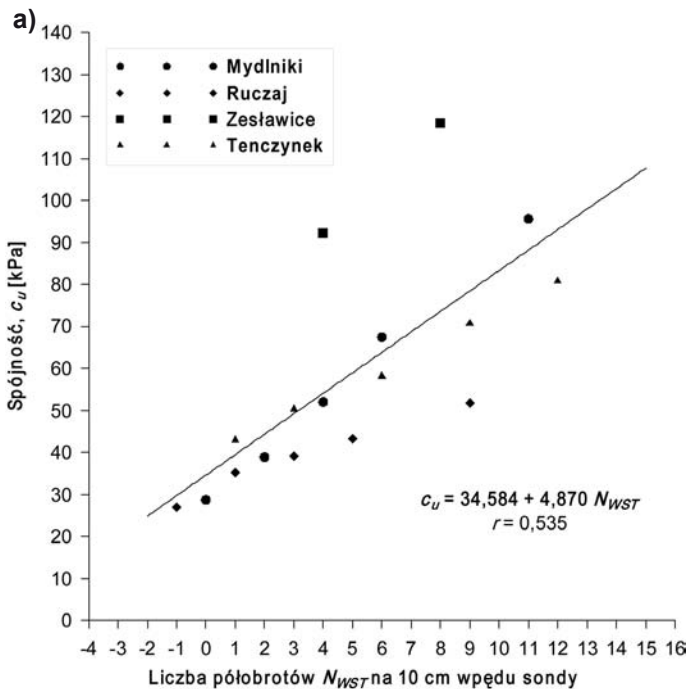
Tabl. 5. Wyniki badań wytrzymałościowych ilów

Głębokość [m] p.p.t.	Średnia wilgotność w [%]	Parametry równania prostej $q = c_r + \text{tg } \phi_r \cdot p$			Współczynnik korelacji liniowej $r$	Przy naprężeniach całkowitych	
		$c_r$ [kPa]	$\text{tg } \phi_r$	$\phi_r$ [°]		Spójność $c_u$ [kPa]	Kąt tarcia wewnętrzny $\phi_u$ [°]
1	26,47	42,782	0,0895	5,11	0,964	42,95	5,12
2	23,38	49,967	0,1114	6,36	0,958	50,28	6,37
3	21,58	57,543	0,1397	7,95	0,983	58,11	7,98
4	20,62	69,405	0,1843	10,44	0,983	70,61	10,50
5	18,71	78,772	0,2222	12,53	0,996	80,79	12,63



Rys. 4. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie ilów

Na rys. 5 zestawiono dotychczasowe wyniki z badań polowych i laboratoryjnych dotyczące określania wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów mioceńskich z następujących rejonów badawczych zlokalizowanych w okolicy Krakowa: Zesławice [4], Mydlniki [4], Ruczaj [4], poszerzone o wyniki z Tenczynek.



Wyniki badań ilów mioceńskich potwierdzają liniową zależność spójności i kąta tarcia wewnętrznego od liczby pólóbrotów  $N_{WST}$ . Uzyskano odpowiednio następujące zależności od składowych naprężenia całkowitego:

$$c_u = 34,584 + 4,870 \cdot N_{WST}, \quad r = 0,535 \quad (2)$$

$$\phi_u = 2,833 + 0,828 \cdot N_{WST}, \quad r = 0,933 \quad (3)$$

gdzie:

$c_u$  – spójność [kPa],

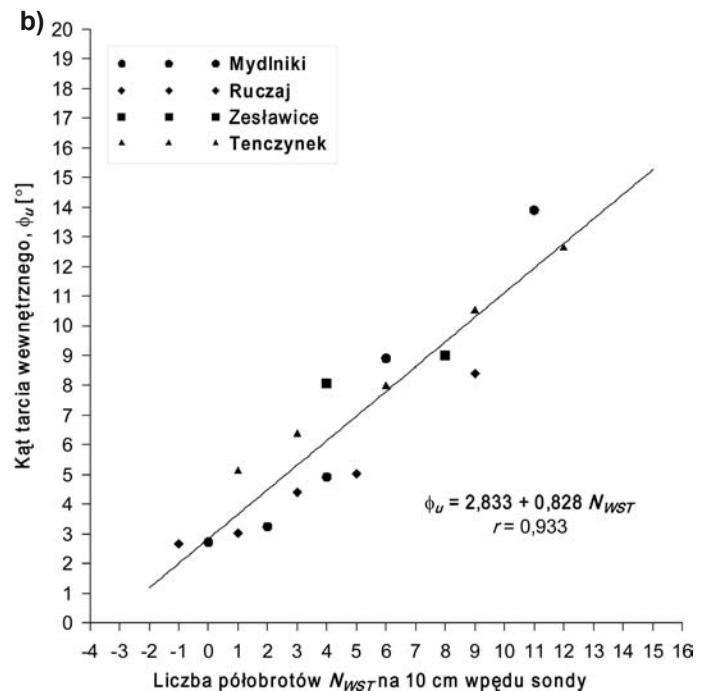
$\Phi_u$  – kąt tarcia wewnętrznego [°],

$N_{WST}$  – liczba pólóbrotów,

$r$  – współczynnik korelacji liniowej.

Parametry równania linii regresji opisujących zależności wybranych właściwości wytrzymałościowych od liczby pólóbrotów  $N_{WST}$  badanych gruntów wyznaczono ze stałych równania prostych, które były ustalane metodą najmniejszych kwadratów.

Korelacje pomiędzy wybranymi właściwościami wytrzymałościowymi a liczbą pólóbrotów  $N_{WST}$  są wysokie ( $0,5 \leq r < 0,7$ ) i prawie pewne ( $0,9 \leq r < 1,0$ ) [23], a wartość krytyczna współ-



Rys. 5. Zależności spójności i kąta tarcia wewnętrznego od liczby pólóbrotów  $N_{WST}$

a) spójność  $c_u$ , b) kąt tarcia wewnętrznego  $\phi_u$

Mydlniki [4], Ruczaj [4], Zesławice [4]

czynnika korelacji liniowej na poziomie istotności 0,05 dla 17 elementów wynosi  $r_{0,05(17)}^* = 0,482$  [12]. Obliczone wartości współczynników korelacji liniowej są większe od wartości krytycznej, należy zatem uznać, że istnieje istotna korelacja pomiędzy analizowanymi właściwościami wytrzymałościowymi a liczbą pólóbrotów  $N_{WST}$ .

Uzyskane wartości właściwości wytrzymałościowych dla Zesławic odbiegają znacząco od wyników uzyskanych w innych lokalizacjach. Badania polowe i laboratoryjne w Zesławicach były prowadzone bezpośrednio w złożu, na materiale pochodzącym z głębokości około 10 ÷ 20 m poniżej pierwotnego poziomu terenu, co znacząco różni je od warunków, w jakich wykonywano badania w pozostałych lokalizacjach. Niskie wartości uzyskiwanych liczb pólóbrotów, a jednocześnie wysokie wartości spójności, mogą wynikać z dwóch powodów. Badania polowe były prowadzone w sąsiedztwie byłej eksploatacji, co mogło mieć wpływ na rozluźnienie struktury ilów. Dodatkowo, w trakcie badań zaobserwowano, że ropy w złożu cechuje budowa blokowa z wyraźnymi spękaniami i rozwarstwieniami, nie tylko w kierunku uławicenia. Natomiast próbki do laboratoryjnych badań wytrzymałościowych pobierane były zawsze z materiału nie spękanego [4].

Zależności (2 i 3) mogą być wykorzystywane do określania wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów mioceńskich na podstawie sondowań WST przy liczbie pólóbrotów  $N_{WST}$  w zakresie od -1 do 12 pólóbrotów na 10 cm zagłębienia sondy.

## PODSUMOWANIE

Badania laboratoryjne są czasochłonne i kosztowe, co powoduje, że projektanci często rezygnują z nich na korzyść szybszych, a niekiedy tańszych badań polowych. W celu właściwego prowadzenia badań w terenie, z wykorzystaniem tylko sprzętu polowego, istnieje potrzeba jego poprawnego wykalibrowania, a tym samym posiadania odpowiednich danych do interpretacji wyników uzyskiwanych z sondowań. Dotyczy to zarówno urządzeń mechanicznych, które znajdują szerokie zastosowanie w trudnych warunkach geotechnicznych, ale także urządzeń ręcznych wykorzystywanych w prostszych przypadkach lub w miejscach, gdzie wprowadzenie sprzętu mechanicznego jest niemożliwe.

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 zależności umożliwiające interpretację uzyskiwanych wyników. Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla przypowierzchniowej warstwy ilów mioceńskich zapadliska przedkarpackiego rejonu Krakowa określono zależności korelacyjne, które w dalszej kolejności mogą być wykorzystywane do opracowania danych do interpretacji wyników dla gruntów spoistych.

## LITERATURA

1. Bardet J. P.: Experimental soil mechanics. New Jersey, Prentice Hall 1997.
2. Bergdahl U.: Site investigations. W: Hartlen J., Wolski W. (red.), Embankments on organic soils. Elsevier, Amsterdam 1996.

3. Borowczyk M., Frankowski Z.: Badania gruntów statyczną sondą wkręcaną. Przegląd Geologiczny, 6, 1978, 374-380.
4. Cała M., Olesiak S.: Metoda wyznaczania wybranych właściwości wytrzymałościowych ilów górnio-mioceńskich rejonu Krakowa na podstawie badań sondą wkręcaną WST. Górnictwo i Geoinżynieria, 2, 2011, 139-148.
5. Das B. M.: Advanced soil mechanics. Taylor & Francis Group, New York 2008.
6. Dudzikowski R., Fabianowski J.: Badania gruntów aluwialnych statyczną sondą (szwedzką) wkręcaną ręcznie. Technika Poszukiwań Geologicznych, 1, 1974, 30-35.
7. Glazer Z.: Mechanika gruntów. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1977.
8. Grabowska-Olszewska B.: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
9. Kaczyński R.: Wytrzymałość gruntów na ścinanie w warunkach wysokich ciśnień. Przegląd Geologiczny, 8-9, 1977, 462-467.
10. Kaczyński R.: Wytrzymałość i odkształcalność górnio-mioceńskich ilów zapadliska przedkarpackiego. Biuletyn Geologiczny, 29, 1981, 105-193.
11. Kaczyński R.: Table of engineering-geological properties of miocene clays of the Carpathian Foredeep. W: Anagnostopoulos A., Frank R., Kalteziotis N., Schlosser F. (red.), Geotechnical engineering of hard soils – soft rocks: Proceedings of an International Symposium Under the Auspices of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE): Athens, Greece, 20-23 September 1993. Vol. 1, Geological features, investigation and classification, mechanical properties. Balkema, Rotterdam 1993, 189-194.
12. Kot S. M., Jakubowski J., Sokołowski A.: Statystyka. Difin, Warszawa 2011.
13. Lambe T. W., Whitman R. V.: Mechanika gruntów. Arkady, Warszawa 1977.
14. Melzer K. J., Bergdahl U.: Geotechnical field investigations. W: Smolczyk U. (red.), Geotechnical engineering handbook. Vol. 1, Fundamentals. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2002.
15. Olesiak S.: Wykorzystanie sondy wkręcanej WST w badaniach mioceńskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, 1, 2009, 467-473.
16. Olesiak S.: Sonda wkręcana WST w badaniach mioceńskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, 2, 2010, 501-507.
17. Olesiak S.: Kalibracja sondy wkręcanej WST do badań górnio-mioceńskich ilów zapadliska przedkarpackiego w rejonie Krakowa. Górnictwo i Geoinżynieria, 2, 2011, 463-470.
18. Pisarczyk S., Rymsza B.: Badania polowe i laboratoryjne gruntów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
19. Polska Norma PN-B-04452:2002 – Geotechnika. Badania polowe.
20. Polska Norma PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
21. Polska Norma PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
22. Rybicki S., Lendusko P.: Warunki inżyniersko-geologiczne w utworach mioceńskich podłoża Krakowa. W: Konferencja Naukowo-Techniczna. Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa. Wydawnictwo AGH, Kraków 1991, 59-67.
23. Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1. Statystyki podstawowe. StatSoft Polska, Kraków 2006.