

Ocena stopnia plastyczności iłó miocęńskich na podstawie badań sondą wkręcaną WST

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, w celu prawidłowego prowadzenia badań polowych z użyciem sond geotechnicznych niezbędna jest 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 prostego sprzętu ręcznego, jak i najbardziej zaawansowanych technicznie sond mechanicznych.

Prace badawcze nad wykorzystaniem sondy wkręcanej WST do badań gruntów spoistych zapoczątkowano w 2008 roku [13], a następnie kontynuowano w latach kolejnych [14, 15, 16, 17]. W niniejszym artykule przedstawiono propozycję własną in-

terpretacji wyników badań do określania stopnia plastyczności iłó miocęńskich zapadliska przedkarpackiego na podstawie wyników badań sondą wkręcaną WST. Zawarte są w nim porównania i analizy wyników uzyskanych z geotechnicznych badań polowych i laboratoryjnych z kolejnego rejonu badawczego. Na tej podstawie opracowano i zaprezentowano zależności między wielkością charakterystyczną dla sondy wkręcanej WST, tj. liczbą pólóbrotoó N_{WST} a stopniem plastyczności analizowanych gruntóó. Zależność ta oraz doświadczenie badawcze, zebrane w trakcie wieloletniej praktyki geotechnicznej, stanowiły podstawę do opracowania danych do interpretacji wyników sondowań.

Najważniejszym elementem niniejszego artykułu jest nomogram do interpretacji wyników sondowań WST. Przy jego opracowywaniu przyjęto zasadę, że powinna go cechować duża

intuicyjność i prostota, tak, by można było korzystać z niego w terenie, w trakcie prowadzenia badań geotechnicznych bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń.

OPIS REJONU BADAŃ

Ze względów praktycznych, zakres stosowalności sondy wkręcanej w gruntach spoistych ograniczony jest do 6 ÷ 7 m głębokości. Związane to jest ze zjawiskiem tarcia gruntu o żerdzie, co ma wpływ na zawyżanie liczby pólóbroty powyżej tej głębokości [1, 13, 18]. Dlatego przy wyborze kolejnych stanowisk badawczych starano się wybierać lokalizacje, gdzie iły mioceńskie występują bezpośrednio na powierzchni terenu, ograniczając zakres sondowań i wierceń do 6 m głębokości.

Geotechniczne badania polowe prowadzono na terenie składowiska odpadów paleniskowych „Pióry”. Składowisko jest położone 2 km na północny-wschód od centrum Połańca, w województwie świętokrzyskim. Położenie Połańca w centralnej części zapadliska przedkarpackiego powoduje, że dominują tu osady mioceńskie, przykryte warstwami czwartorzędowymi akumulacji rzecznej rzeki Wisły.

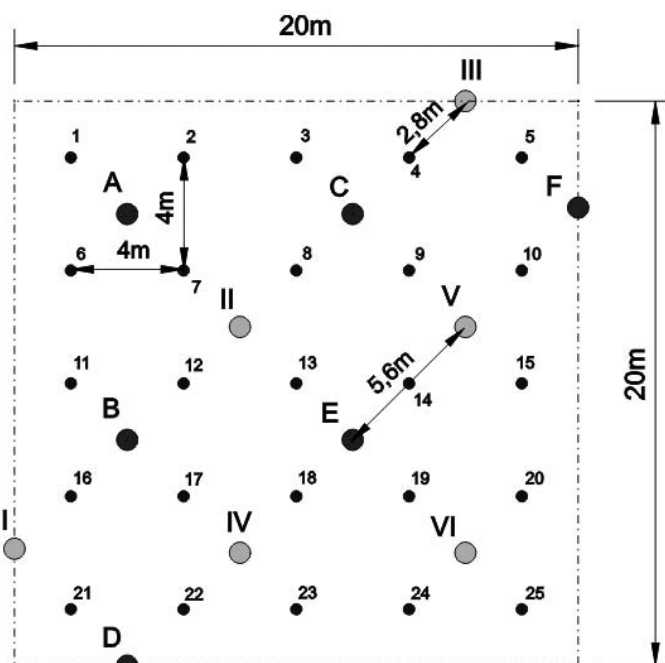
Do badań wytypowano płaski rejon, gdzie strop iłów mioceńskich zalega na głębokości około 1,0 m p.p.t., pod dwudziestocentymetrową warstwą gruntów organicznych i osiemdziesięciocentymetrową warstwą piasków drobnych. W trakcie badań polowych nie nawiercono spągu iłów.

GEOTECHNICZNE BADANIA POLOWE

Na wytypowanym terenie wyznaczono kwadratowe pole badawcze o wymiarach 20 × 20 m i powierzchni 400 m². W trakcie badań polowych wykonano 25 sondowań sondą wkręcaną WST w siatce 4 × 4 m i 12 otworów badawczych (rys. 1). Sondowania wykonywano do głębokości 6,5 metra, a wiercenia do głębokości 6 m.

W sześciu otworach badawczych (I-VI), wykonywano dodatkowo badania z wykorzystaniem sondy obrotowej FVT, dokonując pomiaru wytrzymałości na ścinanie bez odpływu τ_{max} i wytrzymałości resztkowej τ_{min} co 1 metr głębokości, począwszy od 1,5 m p.p.t. Wyniki z badań sondą obrotową FVT zebrano w tabl. 1, gdzie przedstawiono wartości średnie wytrzymałości z sześciu otworów, wyznaczono stopień wrażliwości gruntu i oszacowano stopień plastyczności zgodnie z PN-B-04452:2002. Dodatkowo z tych samych otworów pobierano co 1 m głębokości materiał badawczy (próbki kategorii B, NW) do dalszych badań laboratoryjnych. W kolejnych sześciu otworach (A-F), co 1 m głębokości, począwszy od 1,5 m p.p.t., 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 25 sondowań do głębokości 6,5 m. Podobnie, jak miało to miejsce w pracach [7, 13, 14, 15, 16, 17], zliczano pólóbroty na każde 10 cm wpędu sondy. Jest to podejście bardziej uniwersalne, niż to prezentowane w Polskich Normach, gdzie dla gruntów niespoistych zaleca się zliczanie pólóbroty na każde 20 cm wpędu sondy.



Rys. 1. Schemat pola badawczego

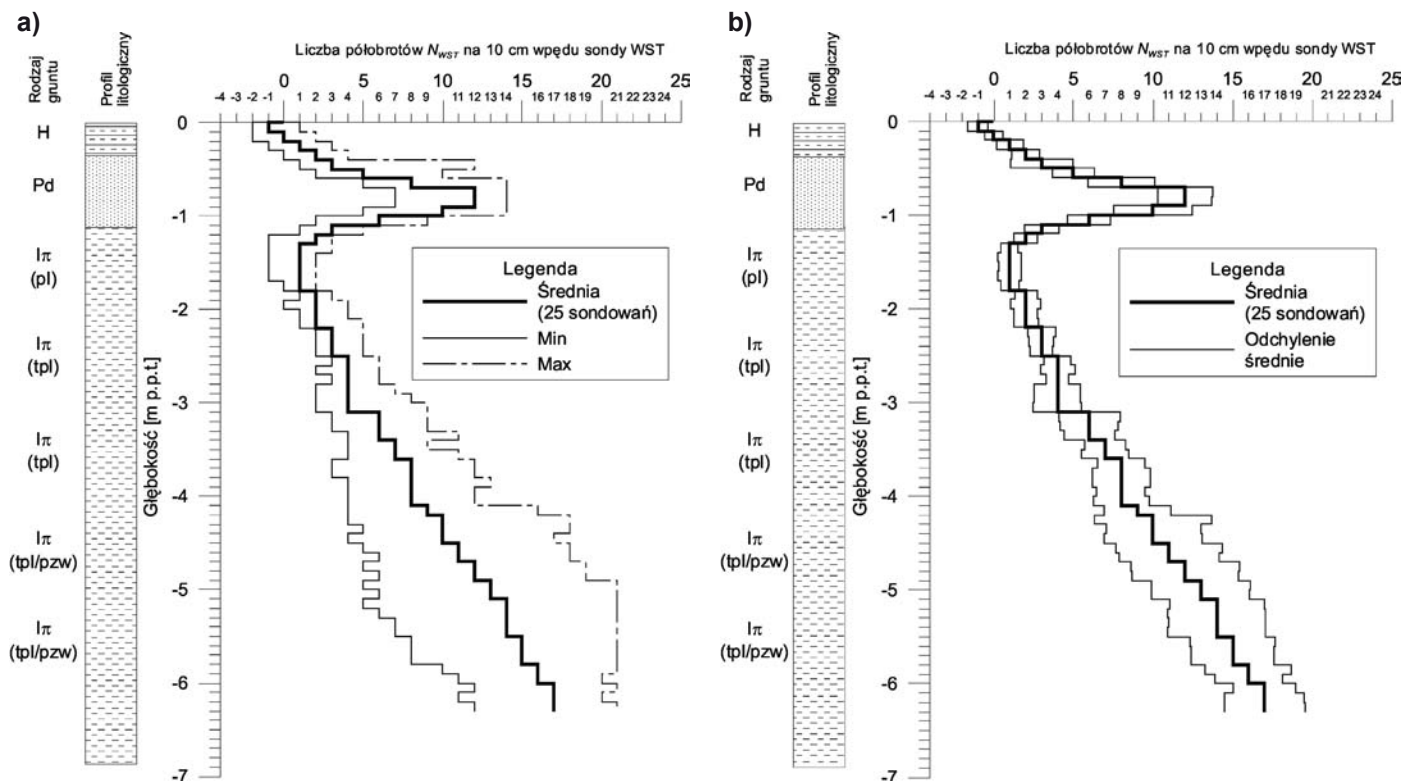
Tabl. 1. Wyniki badań sondą obrotową FVT

Głębokość	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m
Wytrzymałość na ścinanie τ_{max} [kPa]	71,7	120,0	155,0	178,3	193,3
Wytrzymałość resztkowa na ścinanie τ_{min} [kPa]	30,0	40,0	45,0	57,0	72,5
Wskaźnik wrażliwości gruntu $I_R = \tau_{max} / \tau_{min}$	2,39	3,00	3,44	3,13	2,67
Stopień wrażliwości strukturalnej gruntu	nw	nw	nw	nw	nw
Stopień plastyczności gruntu I_L	0,31	0,13	0,02	< 0,0	< 0,0
Stan gruntu	pl	tpl	tpl	pzw	pzw

Tabl. 2. Wyniki badań makroskopowych

Głębokość	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m
Liczba wałeczkowań	6/7	4/5	1/2	1/0	1/0
Stopień plastyczności gruntu I_L	0,30	0,20	0,05	0,00	0,00
Stan gruntu	pl	tpl	tpl	tpl/pzw	tpl/pzw

Dla zagłębiania się sondy przy obciążeniach mniejszych niż 1 kN (W_{WST}) przyjęto następujące zastępcze liczby pólóbroty N_{WST} : 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 stosowano w pracach wcześniejszych [13, 14, 15, 16, 17] dotyczących badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST.



Rys. 2. Wykres sondowania ilów sondą wkręcaną WST

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

Wyniki sondowań WST przedstawiono na rys. 2. Na wykresach, oprócz krzywej przedstawiającej uśrednione wyniki z 25 sondowań, przedstawiono krzywe obrazujące wartość minimalną i maksymalną uzyskaną w trakcie sondowania (rys. 2a) i wartość odchylenia średniego (rys. 2b).

W profilu badanych ilów liczba pólóbrotów waha się od -2 (0,50 kN) do 21. W profilu ilów obserwowano stopniowy wzrost liczby pólóbrotów wraz z głębokością, średnio od 1 do 17. Odchylenie średnie wyników jest bardzo zróżnicowane na poszczególnych głębokościach i waha się od 0,6 do 3,7 pólóbrotu.

W celu określenia miarodajnej wartości liczby pólóbrotów na głębokościach, z których pobierany był materiał do badań laboratoryjnych, obliczano średnią arytmetyczną liczby pólóbrotów N_{WST} uzyskaną dla odcinków o długości 30 i 50 cm. Charakterystyczne wyniki sondowań WST z rejonu badawczego Połaniec zebrano w tabl. 3.

Tabl. 3. Charakterystyczne wyniki badań sondą wkręcaną WST

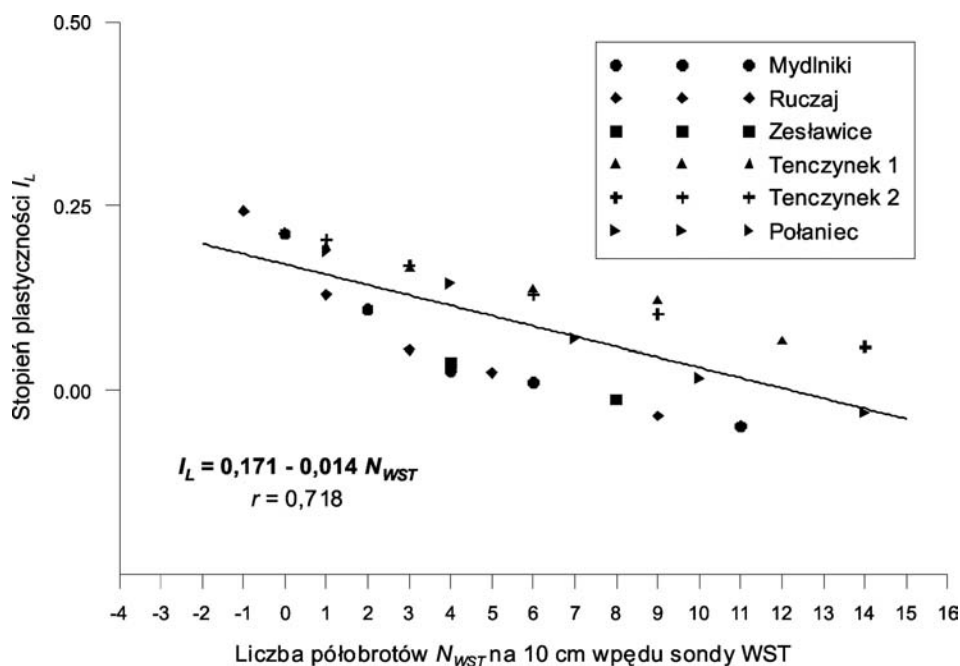
Głębokość	Długość odcinka – 30 cm		Długość odcinka – 50 cm	
	liczba pólóbrotów N_{WST}	odchylenie średnie	liczba pólóbrotów N_{WST}	odchylenie średnie
1,5 m	1	0,7	1	0,7
2,5 m	4	0,8	4	0,9
3,5 m	7	1,5	7	1,5
4,5 m	10	3,1	10	3,2
5,5 m	14	2,9	14	2,9

ZALEŻNOŚĆ STOPNIA PLASTYCZNOŚCI OD LICZBY PÓŁOBROTÓW N_{WST}

Do pełnej charakterystyki i klasyfikacji badanych gruntów oprócz oznaczenia stopnia plastyczności wykonano szereg oznaczeń właściwości zgodnie z PN-B-04481:1988, a wyniki z tych badań zebrano w tabl. 4.

Tabl. 4. Wyniki badań laboratoryjnych właściwości fizycznych ilów

Głębokość		1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m
Wilgotność w [%]		30,36	27,52	25,18	22,90	20,82
Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]		1,93	1,96	1,99	2,02	2,04
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego ρ_s [g/cm ³]		2,71	2,73	2,71	2,74	2,72
Granica plastyczności w_p [%]		22,28	21,13	22,12	22,19	22,15
Granica płynności w_L [%]		65,07	65,29	65,38	65,53	66,02
Zawartość frakcji	ilastej f_i [%]	33,2	39,8	41,0	42,1	42,4
	pylastej f_{π} [%]	56,0	52,7	54,3	54,0	54,6
	piaskowej f_p [%]	10,8	7,5	4,8	3,8	3,0
Stopień plastyczności I_L		0,19	0,14	0,07	0,02	-0,03
Stan gruntu		tpl	tpl	tpl	tpl	pzw



Rys. 3. Zależność stopnia plastyczności I_L od liczby pólóbrotów N_{WST}
Mydlniki [14], Ruczaj [15], Zesławice [13], Tenczynek „1” [16], Tenczynek „2” [17]

Na rys. 3 zestawiono dotychczasowe wyniki badań polowych i laboratoryjnych dotyczące określania stopnia plastyczności iłów mioceńskich z następujących rejonów badawczych w okolicy Krakowa: Zesławice [13], Mydlniki [14], Ruczaj [15], Tenczynek „1” [16], Tenczynek „2” [17] poszerzone o wyniki z Połańca.

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

$$I_L = 0,171 - 0,014 \cdot N_{WST}, \quad r = 0,718 \quad (1)$$

gdzie:

I_L – stopień plastyczności,

N_{WST} – liczba pólóbrotów,

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 pólóbrotów N_{WST} jest bardzo wysoka ($0,7 \leq r < 0,9$) [21], a wartość krytyczna współczynnika korelacji liniowej na poziomie istotności 0,05 dla 27 elementów wynosi $r_{0,05(27)}^* = 0,381$ [9]. Obliczona wartość współczynnika korelacji liniowej jest większa od wartości krytycznej. Należy zatem uznać, że istnieje istotna korelacja pomiędzy stopniem plastyczności analizowanych iłów mioceńskich a liczbą pólóbrotów N_{WST} .

PROPOZYCJA NOMOGRAMU DO OCENY STOPNIA PLASTYCZNOŚCI IŁÓW MIOCEŃSKICH NA PODSTAWIE BADAŃ SONDĄ WKRĘCANĄ WST

Określanie stopnia plastyczności iłów mioceńskich na podstawie badań sondą wkręcaną WST jest powiązane bezpośrednio z metodą B, prezentowaną w Polskiej Normie PN-B-03020:1981. Metoda ta jest nadal powszechnie stosowana w szeroko rozumianym projektowaniu geotechnicznym do wyznaczania podstawowych parametrów gruntów. Polega ona na

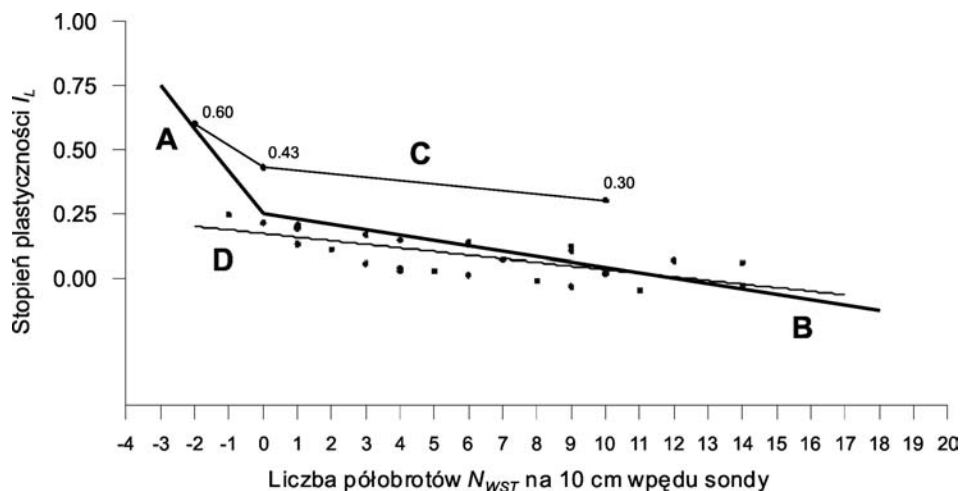
oznaczaniu wybranych właściwości gruntów na podstawie ustalonych zależności korelacyjnych wyznaczonych (w warunkach laboratoryjnych lub polowych) stopniem plastyczności lub stopniem zagęszczenia. Oznaczanie właściwości metodą B wykonuje się na podstawie zamieszczonych w normie nomogramów i tabel. Na tej podstawie otrzymuje się wartości charakterystyczne, które należy zweryfikować, stosując współczynniki materiałowe, otrzymując tym samym wartości obliczeniowe. Popularność metody wynika z szerokiego zakresu właściwości gruntów (wilgotność, gęstość objętościowa, gęstość właściwa szkieletu gruntowego, spójność, kąt tarcia wewnętrznego, edometryczny moduł ściśliwości, moduł odkształcenia gruntu), określanych na podstawie jednego parametru (stopień plastyczności lub stopień zagęszczenia).

Projekt nomogramu powstał na podstawie:

- wyników badań własnych prezentowanych w pracach [13, 14, 15, 16, 17] i w niniejszym artykule,
- analizy wyników sondowań warstw przypowierzchniowych i wartości minimalnych uzyskiwanych w trakcie badań polowych dotyczących prac kalibracyjnych sondy WST [13, 14, 15, 16, 17],
- doświadczeń zebranych w trakcie innych geotechnicznych prac polowych [2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12],
- analizy nielicznych danych literaturowych [1, 7].

W celu większej czytelności, na rys. 4 zestawiono wyniki badań własnych (linia D) i wyniki z pracy [7] (linia C). Dodatkowo wrysowano wykres z proponowanego nomogramu do określania stopnia plastyczności (linia A i B).

Głównym elementem nomogramu (rys. 4) jest półprosta składająca się z dwóch części, (odcinka A i półprostej B) opisująca zależność stopnia plastyczności od liczby pólóbrotów N_{WST} lub obciążenia W_{WST} . Na osi odciętych znajduje się liczba pólóbrotów N_{WST} lub obciążenie W_{WST} , a na osi rzędnych odczytujemy wartości stopnia plastyczności i stan gruntu.



Rys. 4. Zestawienie wyników badań i proponowany przebieg wykresu z nomogramu do określania stopnia plastyczności na podstawie sondowań sondą wkręcaną WST A i B – proponowany wykresu z nomogramu, C – wynik z pracy [7], D – wyniki badań własnych

Odcinek (A) dotyczy ilów miocennskich w stanach plastycznym i miękkoplastycznym, czyli dotyczy przypadku, gdy sonda pogrąża się tylko pod wpływem przyłożonego obciążenia W_{WST} . Ze względów praktycznych, dotyczących możliwości wykorzystania nomogramu bezpośrednio w terenie, zależność stopnia plastyczności przedstawiono zarówno od zastępczej liczby półobrotów N_{WST} :

$$I_L^A = 0,25 - 0,167 \cdot N_{WST} \quad (2)$$

jaki i bezpośrednio od obciążenia W_{WST} :

$$I_L^A = 0,917 - 0,667 \cdot W_{WST} \quad (3)$$

gdzie:

I_L^A – stopień plastyczności na odcinku A,

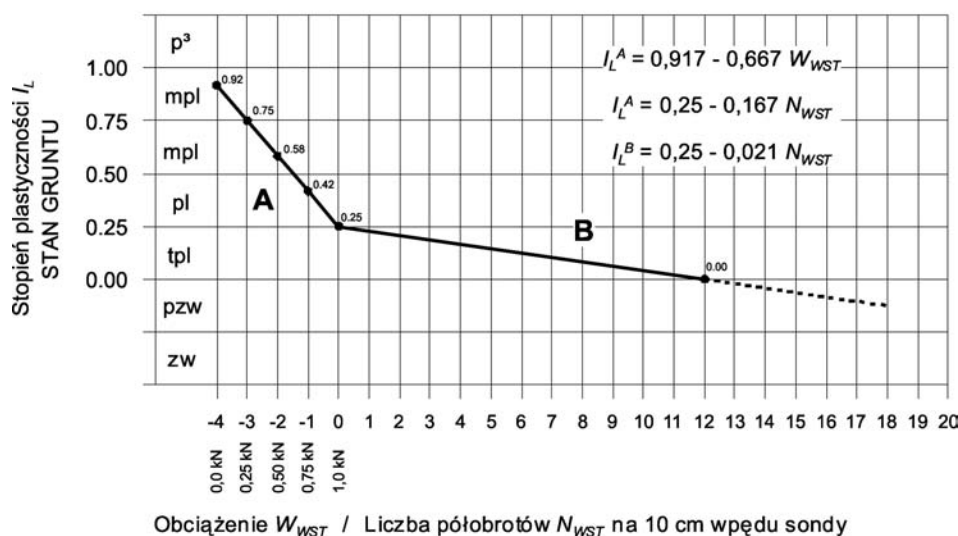
N_{WST} – liczba półobrotów,

W_{WST} – obciążenie (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1 kN).

Przebieg odcinka (A) to wynik przede wszystkim badań sondą wkręcaną WST w pobliżu oraz na koluwiach osuwisk [2,

3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12], gdzie grunty znajdowały się w stanie plastycznym lub miękkoplastycznym. To także analiza pojedynczych wyników z sondowań WST dla warstw przypowierzchniowych, gdzie na skutek działania czynników atmosferycznych dochodziło często do uplastycznienia gruntu.

Półprosta (B) dotyczy ilów w stanie twardoplastycznym oraz półzwałym i została ukształtowana na podstawie wyników badań dotyczących niniejszej pracy. Dla ilów w stanie twardoplastycznym liczba półobrotów N_{WST} jest w przedziale od 0 do 12. Powyżej tej wartości przyjęto, że grunty są w stanie półzwałym. Zmiana nachylenia półprostej (B) w stosunku do prostej dotyczącej wyników uzyskanych z badań własnych (rys. 3) daje zapas bezpieczeństwa przy projektowaniu z wykorzystaniem nomogramu. Takie rozwiązanie pozwoliło również na zachowanie ciągłości wykresu oraz sprawiło, że odczyt charakterystycznych wartości stopnia plastyczności odpowiada wartościom całkowitym liczby półobrotów N_{WST} .



Rys. 5. Propozycja nomogramu do określania stopnia plastyczności na podstawie badań sondą wkręcaną WST

$$I_L^B = 0,25 - 0,021 \cdot N_{WST} \quad (4)$$

gdzie:

I_L^B – stopień plastyczności na odcinku B,

N_{WST} – liczba pólóbrotów.

Część półprostej (B) wyróżniono linią przerywaną. Wynika to z faktu, że dla ilów w stanie półzwarłym i zwartym brak jest w Polskiej Normie PN-B-03020:1981 zależności korelacyjnych do określania wybranych parametrów gruntów. Zatem dobór wybranych właściwości gruntów, na podstawie stopnia plastyczności, musi odbywać się na podstawie innych zależności, niż podane w normie.

Należy przyjąć, że proponowany nomogram daje poprawne rezultaty przy określaniu stopnia plastyczności ilów mioceńskich przy założeniu, że sondowania prowadzone są do głębokości 6 ÷ 7 m lub przy prowadzeniu sondowań na większych głębokościach nie obserwuje się gwałtownego wzrostu liczby pólóbrotów N_{WST} .

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 ilów mioceńskich zapadliska przedkarpackiego określono zależności korelacyjne, które w dalszej kolejności wykorzystano do opracowania nomogramu do oceny stopnia plastyczności na podstawie badań sondą wkręcaną WST.

Jak wspomniano, idea tworzenia tego nomogramu była bezpośrednio związana z Polską Normą PN-B-03020:1981, gdzie znajdują się odpowiednie zależności korelacyjne między wybranymi właściwościami a stopniem plastyczności gruntów spoistych. Zatem użytkownik sondy wkręcaną WST, tylko na podstawie jednego parametru jakim jest liczba pólóbrotów N_{WST} ma możliwość ocenić inne właściwości gruntów, wspomagając się odpowiednimi normami przedmiotowymi lub wykorzystując własne praktyczne doświadczenie.

LITERATURA

1. Borowczyk M., Frankowski Z.: Badania gruntów statyczną sondą wkręcaną. Przegląd Geologiczny, nr 6/1978, 374-380.
2. Cała M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza warunków stateczności wału oporowego składowiska odpadów komunalnych Zoniówka II w Zakopanem oraz propozycja jego stabilizacji. Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. (praca nie publikowana), 2004.
3. Cała M., Flisiak J., Olesiak S.: Przyczyny powstania osuwiska w miejscowości Gaj i propozycja jego zabezpieczenia. Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. (praca nie publikowana), 2006.
4. Cała M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza stanu wału oporowego wraz z analizą stateczności I kwatery składowiska odpadów komunalnych w Zakopa-

nem w związku z końcem jej eksploatacji. Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. (praca nie publikowana), 2007.

5. Cała M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza przyczyn uszkodzenia wału oporowego II kwatery składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem. Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. (praca nie publikowana), 2008.
6. Cała M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza przyczyn powstania uszkodzeń zachodniego obwałowania kwatery 4S składowiska odpadów paleniskowych „Pióry”. Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki. (praca nie publikowana), 2009.
7. Dudzikowski R., Fabianowski J.: Badania gruntów aluwialnych statyczną sondą (szwedzką) wkręcaną ręcznie. Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 1/1974, 30-35.
8. Flisiak J., Olesiak S.: Analiza warunków stateczności wału oporowego składowiska Odpadów Komunalnych Oraz Propozycje Jego Stabilizacji. Górnictwo i Geoinżynieria, nr 3/1/2005, 207-215.
9. Kot S. M., Jakubowski J., Sokołowski A.: Statystyka. Warszawa, Difin, 2011.
10. Olesiak S.: Przyczyny powstania osuwiska w miejscowości Gaj i propozycja jego zabezpieczenia. Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2006, Kraków, 21-23 września 2006, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Grupa Naukowa Pro Futuro 2006, 519-528.
11. Olesiak S.: Składowisko odpadów komunalnych w Zakopanem – od awarii do zamknięcia I kwatery. Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2007, Kraków, 20-22 września 2007. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Grupa Naukowa Pro Futuro, 2007, 325-333.
12. Olesiak S.: Analiza przyczyn uszkodzenia wału oporowego II kwatery składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem. Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2008, Kraków, 25-27 września 2008, Kraków. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Grupa Naukowa Pro Futuro, 2008, 311-318.
13. Olesiak S.: Wykorzystanie sondy wkręcaną WST w badaniach mioceńskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, nr 1/2009, 467-473.
14. Olesiak S.: Sonda wkręcaną WST w badaniach mioceńskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, nr 2/2010, 501-507.
15. Olesiak S.: Kalibracja sondy wkręcaną WST do badań górnio-mioceńskich ilów zapadliska przedkarpackiego w rejonie Krakowa. Górnictwo i Geoinżynieria, nr 2/2011, 463-470.
16. Olesiak S.: Możliwość wykorzystania sondy wkręcaną WST do badań wybranych gruntów spoistych w rejonie Krakowa. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2013, 534-539.
17. Olesiak S.: On the possibility of testing Miocene clay from Cracow area using Weight Sounding Test (WST). Studia Geotechnica at Mechanica, 1, 2014, 71-78.
18. POLSKA NORMA PN-B-04452:2002 – Geotechnika. Badania polowe.
19. POLSKA NORMA PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
20. POLSKA NORMA PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
21. Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1. Statystyki podstawowe. Kraków, StatSoft Polska, 2006.