

*Sebastian Olesiak**

WYKORZYSTANIE SONDY WKRĘCANEJ WST W BADANIACH MIOCEŃSKICH IŁÓW KRAKOWIECKICH

1. Wstęp

W trakcie prac projektowo-badawczych związanych z filarem ochronnym kopalni iłów w Zesławicach przeprowadzono serię geotechnicznych badań polowych i badań laboratoryjnych. Badania miały na celu określenie wybranych własności fizyko-mechanicznych gruntów. Badania polowe obejmowały swym zakresem: wiercenia z użyciem świdrów ręcznych wraz z analizą makroskopową gruntów i sondowania z użyciem sondy wkręcanej WST. W zakres badań laboratoryjnych wchodziło określenie wybranych własności fizyko-mechanicznych gruntów tj.: gęstości objętościowej, wilgotności, kąta tarcia wewnętrznego i kohezji.

Złoże i kopalnia Zesławice znajdują się około 10 km na północny-wschód od centrum Krakowa. Kopalnia eksploatuje mioceńskie złoża iłów krakowieckich, zalegające nad utworami kredowymi i pod warstwą utworów czwartorzędowych o średniej miąższości około 6 metrów reprezentowanych głównie przez lessy, ale także gliny pylaste, piaski i żwiry oraz gliny [8]. Złoże rozciąga się w przybliżeniu z zachodu na wschód i stanowi fragment wzgórz, na którym znajduje się Fort 49a Dłubnia.

2. Geotechniczne badania polowe iłów mioceńskich z Zesławic

W trakcie geotechnicznych badań polowych wykonano 11 otworów badawczych z użyciem świdrów ręcznych (o głębokości od 3,20 do 5,20 m) i sondowań sondą WST (o głębokości od 3,60 do 6,70 m). Rzędne wszystkich otworów badawczych wypadały na wysokości około $216,5 \pm 1$ m n.p.m. Otwory badawcze zlokalizowane były w eksploatowanej części złoża, sąsiadującej z filarem ochronnym, dzięki czemu przebiegały od powierzchni tylko w warstwie iłów, bez nadkładowej warstwy lessów.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Pobrano materiał z wierceń, był badany makroskopowo, przede wszystkim pod kątem stanu ilów, i tak: od powierzchni do głębokości około 1,0 m ility były często zmieszane z innymi gruntami pochodzącymi między innymi z transportu nadkładu. Duży wpływ na warstwę przypowierzchniową miały warunki atmosferyczne, dlatego warstwa ta została pominięta w dalszej analizie. Od głębokości około 1,0 m do głębokości około 4,0 m ility były w stanie twaroplastycznym/półzwartym (dało się wykonać kulkę, nie dało wałeczka), a następnie przechodziły w stan półzwały/zwały (nie dało wykonać się kulki) [13].

Wierceniom towarzyszyły sondowania z użyciem sondy wkręcanej WST. Sonda była wykorzystywana jako narzędzie za pomocą, którego starano się przede wszystkim lokalizować ewentualnie, istniejące powierzchnie poślizgu. Mając jednak pełny zapis badania w postaci liczby półobrotów na każde 10 cm wępu sondy, podjęto próbę interpretacji wyników.

Zliczając liczbę półobrotów na każde 10 cm wępu sondy, można przejść na liczbę półobrotów na każde 20 cm wępu sondy, co zalecają Polskie Normy do interpretacji wyników.

W trakcie sondowań, poniżej 6 m dochodziło często do zaciskania sondy. Liczba półobrotów wzrastała niekiedy do 60 na każde 10 cm wępu sondy, z jednoczesnymi oporami kręcenia uniemożliwiającymi ręczne sondowania, pomimo zwiększenia ramienia pochwytu. O podobnych problemach pisano już w pracach [2–4], sugerując przydatność urządzenia w badaniach ręcznych i mechanicznych do głębokości od 6 do 10 m z zastrzeżeniem, że poniżej 5 m zjawisko tarcia gruntu o żerdzie wpływa na znaczne zawyżenie liczby półobrotów. Dlatego dla potrzeb niniejszego artykułu pominięto wyniki sondowań od 0 do 1 m i poniżej 6 metra.

3. Badania laboratoryjne ilów mioceńskich z Zesławic

W trakcie wykonywania pierwszej serii badań polowych, eksploatacja ilów przebiegała w pobliżu części otworów badawczych. Ułatwiło to pobranie dwóch partii materiału do badań laboratoryjnych. Pierwsza i druga seria licząca po 8 próbek zostały pobrane w stalowe gilzy z głębokości około 3 i 5 m poniżej rzędnej otworów.

W ramach badań laboratoryjnych wykonano zgodnie z PN-B-04481:1988 oznaczenia: wilgotności naturalnej, gęstości objętościowej, kohezji i kąta tarcia wewnętrznego. Do wyznaczenia kohezji i kąta tarcia wewnętrznego posłużono się aparatem trójosiowego ściskania GDS przeprowadzając badanie w teście UU. Dodatkowo wilgotność oznaczana była na kilkunastu próbkach pobieranych w trakcie wiercenia. Wyniki z prac laboratoryjnych zebrano w tabeli 1 i podzielono na dwie grupy odpowiadające dwóm stanom ilów. Podobne wartości własności fizyko-mechanicznych ilów mioceńskich z Zesławic można odnaleźć w pracy [8].

Na podstawie badań polowych i korzystając z normy PN-B-03020:1981, metodą B dla ilów w stanie twaroplastycznym/półzwartym własności mechaniczne oszacowane zostały by na poziomie $c_u = 60$ kPa i $\varphi_u = 13^\circ$ (tu kończą się wykresy w normie). Niewielkie niedoszacowanie kohezji stawia nas po stronie bezpiecznej projektowania. Natomiast przesza-

cowanie kąta tarcia wewnętrznego o około 50 do 75%, mogłoby być niebezpieczne i w konsekwencji doprowadzić do katastrofy.

TABELA 1
Wyniki badań laboratoryjnych ilów miocenijskich z Zesławic

Rodzaj i stan gruntu	Wilgotność naturalna w_n [%]	Gęstość objętościowa ρ_d [g/cm ³]	Kohezja c_u [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_u [deg]
II – stan tpi/pzw (głębokość pobrania 3 m)	27,39	1,96	78,12	2,26
II – stan pzw/zw (głębokość pobrania 5 m)	24,52	1,98	116,08	6,19

Badania laboratoryjne stanowią najdokładniejsze narzędzie do określania własności ośrodka gruntowego. Są oczywiście zarówno kosztochłonne i czasochłonne. Wydaje się, że w sytuacjach dotyczących projektowania prostszych obiektów geotechnicznych będą traciły na znaczeniu na korzyść szybkich, tańszych i wykonywanych *in situ* badań polowych. Wymaga to jednak bardzo dobrze wykalibrowanych narzędzi polowych, w tym również najprostszych sond ręcznych.

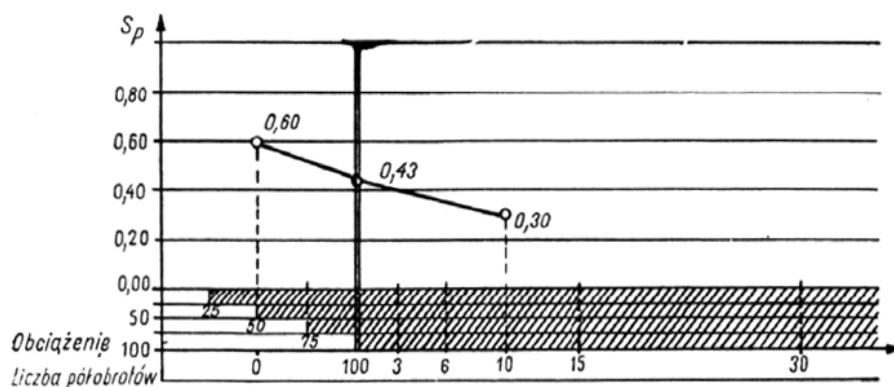
4. Problemy z interpretacją wyników sondowań sondą WST

Polska Norma PN-B-04452:2002, mówi o przydatności sondy WST do badania wytrzymałości na ścinanie gruntów spoistych, ale nie podaje żadnej interpretacji wyników w przeciwieństwie do wąskiej grupy gruntów niespoistych. Mówiąc o interpretacji wyników, ma się na myśli przelicznik bezpośrednio z liczby pólóbrotów na parametry wytrzymałościowe tj.: wytrzymałość na ścinanie, kohezja, kąt tarcia wewnętrznego lub pośrednio, na stan gruntu.

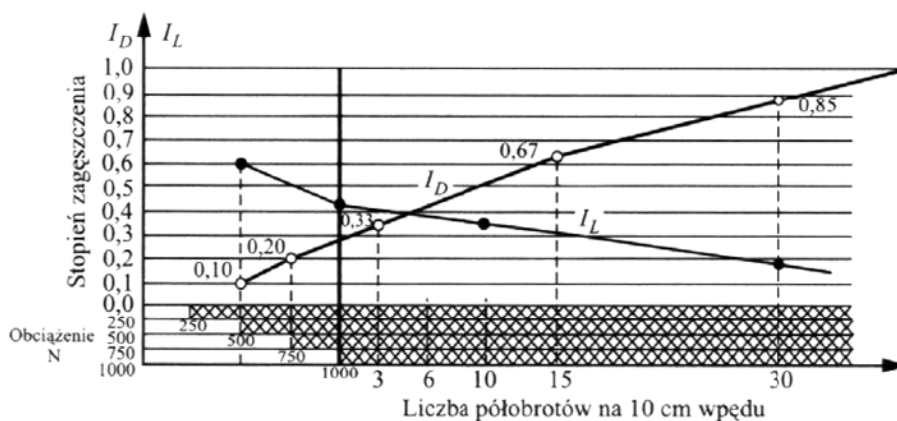
Podobna sytuacja dotyczy projektu Polskiej Normy PN-EN 1997-2, gdzie zamieszczono załącznik dotyczący interpretacji wyników dla wybranych gruntów niespoistych. Jeśli chodzi o grunty spoiste, podano tylko ogólne informacje o wpływie pewnych czynników na liczbę pólóbrotów dla pewnych gruntów spoistych w wybranych stanach.

Wydaje się, że najpełniejszą informację na temat interpretacji wyników z sondy WST dla gruntów spoistych przyniosą podręczniki z zakresu geotechniki. Można tam znaleźć szereg informacji na temat samej sondy [1, 5–7, 9, 10, 15] jak i interpretację wyników badań dla gruntów spoistych [5, 6, 9, 10, 15]. Interpretacja najczęściej podawana jest w formie wykresu (rys. 1 i 2), z którego bardzo często korzystają studenci w trakcie swoich praktyk geotechnicznych. Podręczniki te kierowane są jednak do szerokiej grupy geotechników,

nie tylko studentów, więc teoretycznie nie ma przeciwwskazań by z interpretacji korzystali również projektanci.



Rys. 1. Kopia rysunku z pracy [5] i oryginalny podpis
 „Nomogram do wyznaczania stopnia plastyczności gruntów spoiстых
 w zależności od wyników sondowania statyczna sondą wkręcaną typu Viktsond”

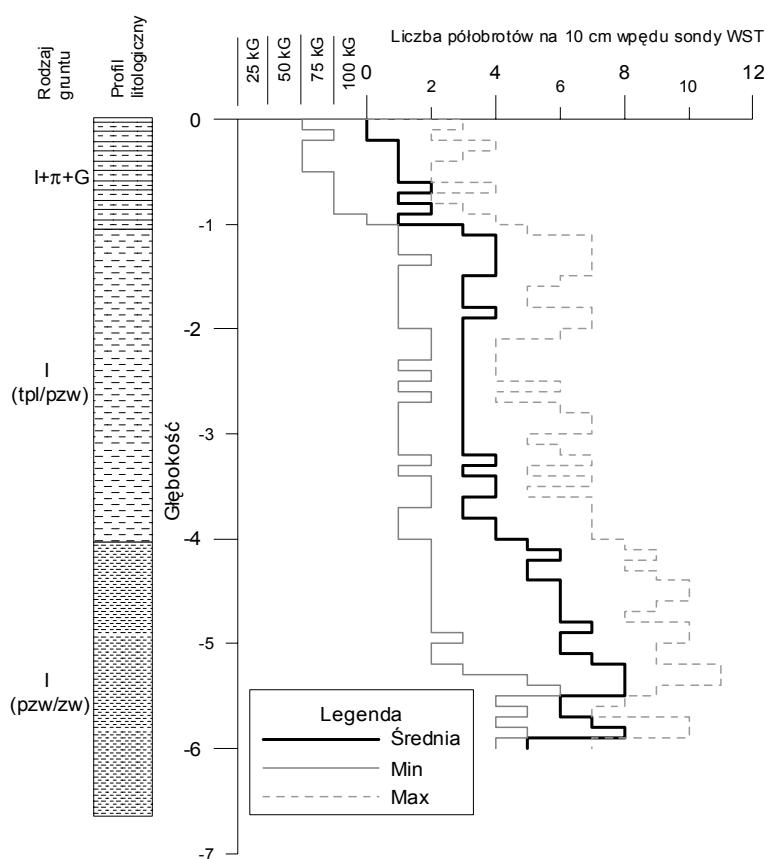


Rys. 2. Kopia rysunku z pracy [10] i oryginalny podpis
 „Wykres zależności stopnia zagęszczenia I_D piasków
 i stopnia plastyczności I_L od oporu zagłębienia sondy ST”

Na rysunku 3, przedstawiono wyniki sondowań ilów z Zesławic. Na wykresie sondowania umieszczono wartość średnią, wartość minimalną i wartość maksymalną z 11 sondowań przypadającą na każde 10 cm wępu sondy. Niestety otrzymane wyniki nie pasują do wykresu interpretacyjnego prezentowanego w podręcznikach.

Co zatem tak naprawdę przedstawia wykres interpretacyjny w podręcznikach? Wykres, a nie wykresy, ponieważ niezależnie od tego, kiedy był wydany podręcznik, zamiesz-

czony wykres interpretacyjny pochodzi z tej samej pracy źródłowej. Niestety autorzy nie powoływali się na pracę źródłową (z wyjątkiem [5], choć również i tam pojawia się informacja, że interpretacja dotyczy gruntów spoistych), tylko na wcześniejsze podręczniki. Doprowadziło, to do omyłkowej sytuacji, że wykres dotyczy zależności liczby pólóbrotów (oporu zagłębiania) od stopnia plastyczności I_L dla gruntów spoistych. W pracy źródłowej [3] mowa jest o aluwialnych gruntach organicznych (gliny próchnicze i namuły organiczne). Zatem, wykres ten nadaje się tylko do interpretacji wyników wąskiej grupy gruntów organicznych a nie całego zakresu gruntów spoistych (rys. 2).

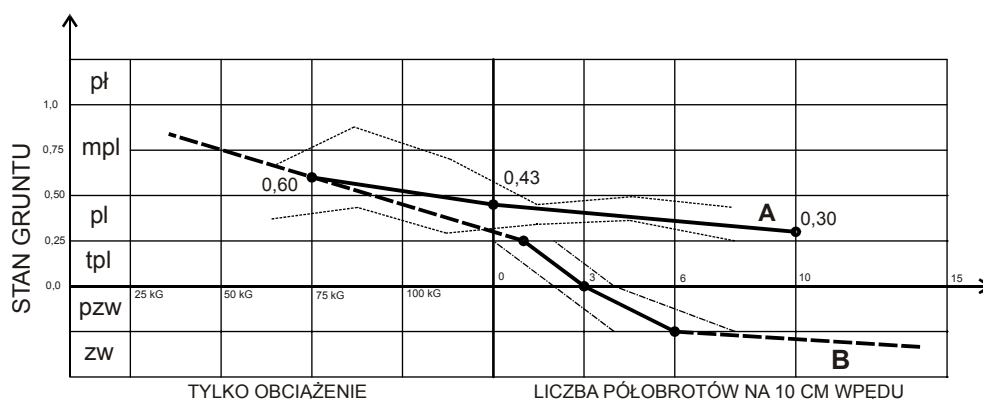


Rys. 3. Wykres sondowania łąw mioceńskich z Zesławic sondą WST

5. Propozycja rozbudowy nomogramu dla sondy WST

Wydaje się zatem, że do oceny stanu gruntów spoistych z wykorzystaniem sondy WST nie wystarczy jedna prosta. Rysunek 4 przedstawia interpretację z pracy [3] rozbudowaną

o wyniki własne autora dotyczące iłów krakowieckich. Linia *A*, (przerysowana ze wszystkimi elementami z pracy [3]) przedstawia znaną zależność pomiędzy liczbą pólóbrotów a stopniem plastyczności dla wybranych gruntów organicznych, wraz z odchyleniem średnim wartości (linia przerywana). Linia *B*, to zależność pomiędzy liczbą pólóbrotów a stopniem plastyczności dla iłów krakowieckich uzyskana przez autora wraz z odchyleniem średnim wartości (linia punktowa).



Rys. 4. Nomogram do określania stopnia plastyczności gruntów:
A — grunty organiczne [3], *B* — ily krakowieckie

Zbieżne wyniki sondowań sondą WST do tych uzyskanych z rejonu Zesławic przynoszą obserwacje sondowań z rejonu Kraków Mydlniki. W tej części Krakowa od kilkunastu lat prowadzone są geotechniczne praktyki studenckie. Do tej pory wykonano co najmniej kilkadziesiąt sondowań z wykorzystaniem sondy WST. Iły w rejonie Mydlnik to litologicznie ten sam rodzaj mioceńskich iłów krakowieckich. Występują tutaj, generalnie w tych samych stanach co w rejonie Zesławic, czyli od stanu twardoplastycznego, wraz ze wzrostem głębokości, przechodzą w stan półzwały aż do zwały. W niektórych rejonach izolują wodonośne piaski drobne (średnio zagęszczone, liczba pólóbrotów na 20 cm wępudu sondy wynosi średnio 30), co prowadzi do ich uplastycznienia na grubości około 20 cm. Jest to widoczne także w trakcie sondowania w postaci nagłego spadku liczby pólóbrotów lub wręcz pograżania się sondy pod ciężarem 100 kG. Na podstawie wieloletnich badań z rejonu Mydlniki wrysowano szacunkowo grubą linią przerywaną do nomogramu dla iłów krakowieckich.

W toku dalszych prac badawczych wykonane zostaną dalsze sondowania iłów krakowieckich w innych stanach, by potwierdzić obserwacje odnośnie danych szacunkowych. Zostaną wykonane szersze badania laboratoryjne, by uzupełnić wiedzę na temat własności fizyko-mechanicznych sondowanych gruntów. Równocześnie z badaniami iłów prowadzone będą prace dotyczące innych gruntów występujących na terenie małopolski (Krakowa i jego okolic), by z czasem uzupełnić nomogram o kolejne grunty spoiste.

6. Podsumowanie

Sondowania z wykorzystaniem sondy WST należą do najszybszych i najtańszych metod badań *in situ* gruntów. W przypadku dobrze rozpoznanego ośrodka gruntowego to bardzo przydatne narzędzie do oceny stopnia zagęszczenia lub stopnia plastyczności. Niestety, na dzień dzisiejszy informacje odnośnie interpretacji otrzymywanych wyników są tylko szczerkowe lub nie ma ich wcale.

Niniejsza praca stanowi zaledwie początek prac badawczych niezbędnych dla powstania pełnej interpretacji wyników sondowania sondą WST dla gruntów spoistych. Z czasem, wykonując równoległe badania laboratoryjne można będzie zaproponować bezpośrednią interpretację na parametry wytrzymałościowe gruntów (kohezja i kąt tarcia wewnętrznego), jak ma to miejsce dla wybranych gruntów niespoistych.

LITERATURA

- [1] *Bażyński J., Drągowski A., Frankowski Z., Kaczyński R., Rybicki S., Wysokiński L.*: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. PIG, Warszawa, 1999
- [2] *Borowczyk M., Frankowski Z.*: Badania gruntów statyczna sondą wkręcaną. Przegląd Geologiczny, nr 6, 1978, s. 374–380
- [3] *Dudzikowski R., Fabianowski J.*: Badania gruntów aluwialnych statyczną sondą (szwedzką) wkręcaną ręcznie. Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 1, 1974, s. 30–35
- [4] *Dudzikowski R.*: Badania gruntów zmechanizowaną statyczną sondą wkręcaną (szwedzką). Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 3, 1975
- [5] *Ignut R., Kłębek A., Puchalski R.*: Terenowe badania geologiczno-inżynierskie. Warszawa, WG 1973
- [6] *Kostrzewski W.*: Mechanika gruntów. Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich wyznaczania. Warszawa, PWN 1980
- [7] *Kotowski J., Kraiński A.*: Geologia inżynierska. Sporządzanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Zielona Góra, 2000
- [8] *Mazurek J.*: Własności wytrzymałościowe ilów z kopalni Zesławice w świetle badań laboratoryjnych i analizy odwrotnej. „XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej. Geotechnika i budownictwo specjalne 2004”, AGH KGBiG, Zakopane 14–19 marca 2004, s. 173–181
- [9] *Pisarczyk S., Rymaszka B.*: Badania laboratoryjne i polowe gruntów. Warszawa, OWPW 1993
- [10] *Pisarczyk S.*: Gruntoznawstwo inżynierskie. Warszawa, PWN 2001
- [11] Polska Norma PN-B-03020:1981 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [12] Polska Norma PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe
- [13] Polska Norma PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [14] Projekt Polskiej Normy PN-EN-1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [15] *Sanecki L.*: Geotechniczne badania polowe. Kraków, UWND AGH 2003