

*Sebastian Olesiak\**

## KALIBRACJA SONDY WKRĘCANEJ WST DO BADAŃ GÓRNOMIOCEŃSKICH IŁÓW ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO W REJONIE KRAKOWA\*\*

---

### 1. Wstęp

Prace badawcze nad wykorzystaniem sondy wkręcanej WST do badań gruntów spoistych zostały zapoczątkowane w 2008 roku [16] a następnie były kontynuowane w latach kolejnych [15]. Niniejszy artykuł opisuje badania wykonane w 2010 roku i jest swego rodzaju raportem z trzeciego już etapu badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST. W pierwszej kolejności badania kalibracyjne prowadzone były na wąskiej grupie gruntów spoistych, górnomiocieńskich iłach zapadlika przedkarpackiego.

Polskie Normy [21, 23] z zakresu geotechniki wspominają o przydatności sondy wkręcanej WST do badań gruntów spoistych, ale nie podają żadnych informacji dotyczących interpretacji uzyskiwanych wyników. Najdalej o przydatności sondy wkręcanej WST do badań gruntów spoistych mówi Polska Norma PN-B-04452:2002, gdzie znajduje się następująca informacja: „Badanie sondą wkręcaną stosuje się do oceny zagęszczenia gruntów niespoistych oraz do oceny wytrzymałości na ścinanie bez odpływu gruntów spoistych”. Co do pierwszej części zdania, w powyższej Polskiej Normie, można znaleźć odpowiednie wytyczne do interpretacji wyników z badań gruntów niespoistych. Natomiast druga część zdania, odnosząca się do gruntów spoistych, przywodzi na myśl sformułowanie dotyczące raczej sondy skrzydełkowej FVT a nie sondy wkręcanej WST. Niemniej, za powyższym sformowaniem i tak nie idą żadne informacje dotyczące interpretacji uzyskiwanych wyników dla gruntów spoistych.

Polskie podręczniki akademickie z zakresu geotechniki [11, 12, 18, 19, 25] podają błędne informacje dotyczące interpretacji uzyskiwanych wyników z badań sondą WST dla grun-

---

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

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

tów organicznych a nie spoistych [15, 16]. Tylko w nielicznych podręcznikach zagranicznych pojawiają się informacje na temat samej sondy wkręcanej WST [10, 26]. Zawarte tam informacje dotyczące interpretacji wyników badań sondą WST dotyczą piasków kwarcowych i skaleniowych ze Szwecji, podobnie jak ma to miejsce w Polskiej Normie PN-EN-1997-2 Eurokod 7, odwołując się do pracy [1].

Badania *in situ* dzięki ich szybkości, możliwości wykrywania drobnych nieciągłości i defektów w ośrodku gruntowym oraz niższej cenie zyskują przewagę nad badaniami laboratoryjnymi. Niemniej dla prawidłowego prowadzenia badań polowych z użyciem sond geotechnicznych niezbędna jest ich prawidłowa kalibracja. Użytkownik sondy powinien zostać 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 zawansowanych technicznie sond mechanicznych.

## 2. Opis rejonu badań

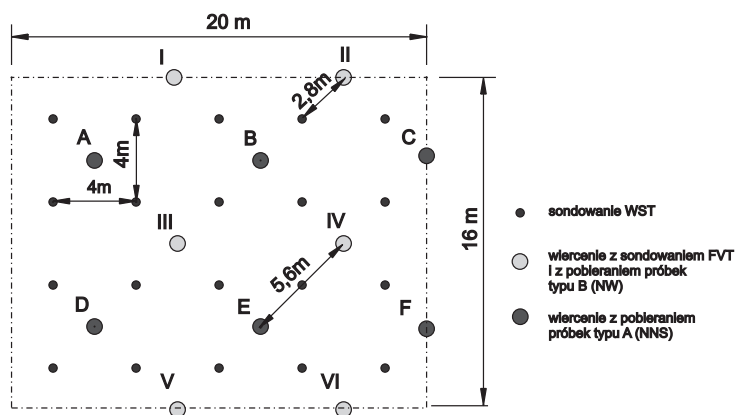
Iły mioceńskie w polskim zapadlisku przedkarpackim występują powszechnie i praktyczne na całej jego powierzchni. Ich strop występuje czasem bezpośrednio na powierzchni terenu, przykryty tylko cienką warstwą organiczną, częściej pod niewielkim nakładem młodszych osadów czwartorzędowych [9]. Miąższość osadów ilastych w rejonie Krakowa jest bardzo zróżnicowana, zredukowana na wyniesieniach podłoża i większa, dochodząca do kilkudziesięciu metrów w jego obniżeniach [24].

Ze względów praktycznych, zakres stosowności sondy wkręcanej w gruntach spoistych ograniczony jest do 6÷7 metrów głębokości. Związane to jest ze zjawiskiem tarcia gruntu o żerdzie co ma wpływ na zawyżanie liczby półobrotów powyżej tej głębokości [2, 15, 16]. Dlatego przy wyborze kolejnych stanowisk badawczych starano się wybierać lokalizacje gdzie iły mioceńskie występują bezpośrednio na powierzchni terenu, ograniczając zakres sondowań i wierceń do głębokości 5÷6 m. Pozyskanie nowych stanowisk badawczych nie jest sprawą łatwą. Oprócz sprzyjających warunków geologicznych, niezbędne jest zlokalizowanie i uzyskanie pozwolenia od właściciela terenu. W związku z faktem że, badania kalibracyjne wykonywane są na niewielkim obszarze (rys. 1), dochodzi do poważnego naruszenia przypowierzchniowych warstw gruntu. Dlatego też badania te prowadzone mogą być tylko na placach budowy lub nieużytkach.

W trzecim etapie badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST były one prowadzone w rejonie osiedla Ruczaj, w okolicy ulicy Pychowickiej. W trakcie prowadzenia budowy nowych budynków mieszkalnych zaobserwowano, że na tym terenie iły mioceńskie występują niemal bezpośrednio na powierzchni terenu. Po uzyskaniu zgody od prywatnego właściciela terenu wytypowano rejon do polowych badań kalibracyjnych. Omawiany teren jest płaski, różnice wysokości nie przekraczają 0,5 m. Strop iłów górnomioceńskich zalega na głębokości około 0,6 m p.p.t. pod warstwą niekontrolowanej mieszaniny gruntów organicznych, pyłów, glin i iłów. W trakcie badań polowych nie nawiercono spągu iłów.

### 3. Geotechniczne badania polowe górnomiocenijskich ilów z rejonu osiedla Ruczaj

Na omawianym powyżej terenie 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 pola badawczego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat pola badawczego

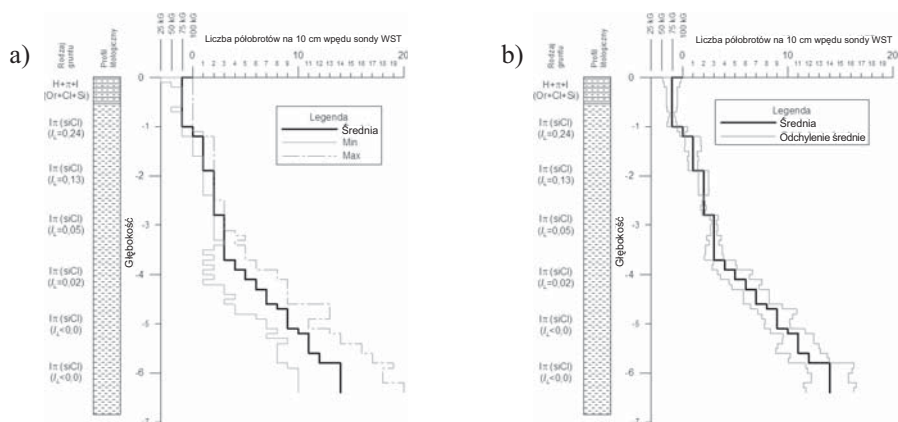
W sześciu otworach badawczych (I–VI) o głębokości do 5,5 m, wykonywano badania z wykorzystaniem sondy skrzydełkowej FVT, dokonując pomiaru wytrzymałości na ścinanie bez odplywu  $\tau_{\max}$  i wytrzymałości resztkowej  $\tau_{\min}$  co 1 m głębokości. Wyniki z badań sondą skrzydełkową FVT zebrano w tabeli 1, gdzie przedstawiono wartości średnie wytrzymałości z sześciu otworów, wyznaczono stopień wrażliwości gruntu i oszacowano stopień plastyczności na podstawie Polskiej Normy PN-B-04452:2002. Dodatkowo z tych samych otworów

TABELA 1  
Wyniki badań sondą skrzydełkową FVT

Głębokość	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Wytrzymałość na ścinanie $\tau_{\max}$ [kPa]	64,4	98,2	122,8	152,2	193,0
Wytrzymałość resztkowa na ścinanie $\tau_{\min}$ [kPa]	20,0	33,3	41,6	43,3	55,0
Stopień wrażliwości gruntu $I_R$ $I_R = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}$	3,22	2,95	2,95	3,51	3,51
Stopień plastyczności $I_L$	0,34	0,19	0,11	0,03	< 0,0
Stan gruntu	pl	tpl	tpl	pzw	zw

po bierano co 1 m głębokości materiał badawczy (próbki typu B, NW) do dalszych badań laboratoryjnych. Z kolejnych sześciu otworów (A–F), co 1 m głębokości pobrano próbki do badań wytrzymałościowych (próbki typu A, NNS). W trakcie badań połowych wykonywano badania makroskopowe gruntu, przede wszystkim pod kątem oceny stanu ilów. Wyniki z badań makroskopowych zostały dla porównania dołączone do tabeli 3.

W ramach badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST wykonano 20 sondowań do głębokości 7 m. Podobnie jak miało to miejsce w pracach [8, 15, 16] zliczano półobrotów na każde 10 cm wępu sondy. Jest to podejście bardziej uniwersalne niż to prezentowane w Polskich Normach, gdzie dla gruntów niespoistych zaleca się zliczanie półobrotów na każde 20 cm wępu sondy. Dla zagłębiania się sondy przy obciążeniach mniejszych niż 1 kN, przyjęto następujące wagi liczbowe: –1 dla 0,75 kN, –2 dla 0,50 kN, –3 dla 0,25 kN. Identyczne podejście miało miejsce w pracach wcześniejszych [15, 16] dotyczących badań kalibracyjnych sondy wkręcanej WST. Wyniki z sondowań WST przedstawiono na rysunku 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).



**Rys. 2.** Wykres sondowania ilów górnomiocieńskich sondą wkręcaną WST :  
a — wraz z wartością minimalną i maksymalną uzyskanych półobrotów,  
b — wraz z wyznaczonym odchyleniem średnim liczby półobrotów

#### 4. Badania laboratoryjne ilów górnomiocieńskich

Badania kalibracyjne polegają na precyzyjnym określaniu właściwości ilów na podstawie badań laboratoryjnych i przyporządkowywaniu tych właściwości do charakterystycznych wielkości (obciążenie lub liczba półobrotów) uzyskiwanych w trakcie badań sondą wkręcaną WST. W tym celu wykonano oznaczenia właściwości zgodnie PN-B-04481:1988 oraz na podstawie literatury fachowej [13, 14, 17], tj.: wilgotność naturalną  $w$ , gęstość objętościową  $\rho$ , granicę plastyczności  $w_p$ , granicę płynności  $w_L$ , zawartość frakcji ilastej  $f_i$ ,

pylastej  $f_{\pi}$  i piaskowej  $f_p$ . Dla porównania wyników laboratoryjnych i polowych wyznaczono stopień plastyczności  $I_L$ . Wyniki z badań laboratoryjnych zebrano w tabeli 2, gdzie przedstawiono wartości średnie z pięciu otworów.

TABELA 2  
Wyniki badań laboratoryjnych ilów górnomiocześskich

Głębokość		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Wilgotność naturalna, $w$ [%]		43,26	37,19	34,04	30,23	28,05
Gęstość objętościowa, $r$ [g/cm <sup>3</sup> ]		1,84	1,88	1,91	1,91	1,94
Granica plastyczności, $w_p$ [%]		30,50	30,53	30,97	28,79	30,03
Granica płynności, $w_L$ [%]		83,00	82,03	87,27	88,18	87,40
Zawartość frakcji	ilastej $f_i$ [%]	24	36	40	44	39
	pylastej $f_{\pi}$ [%]	67	64	60	56	59
	piaskowej $f_p$ [%]	9	0	0	0	2
Stopień plastyczności, $I_L$		0,24	0,13	0,05	0,02	-0,03
Stan gruntu		pl/tpl	tpl	tpl	tpl/pzw	pzw

## 5. Propozycja nomogramu do określania stopnia plastyczności ilów górnomiocześskich rejonu Krakowa na podstawie badań sondą wkręcaną WST

Na tym etapie badań kalibracyjnych, nomogram dla sondy wkręcanej WST odnosi się tylko do stopnia plastyczności. Wyznaczanie pozostałych właściwości ilów, np. właściwości wytrzymałościowych może odbywać się poprzez badania laboratoryjne lub na podstawie Polskiej Normy PN-B-03020:1982, zgodnie z metodą B.

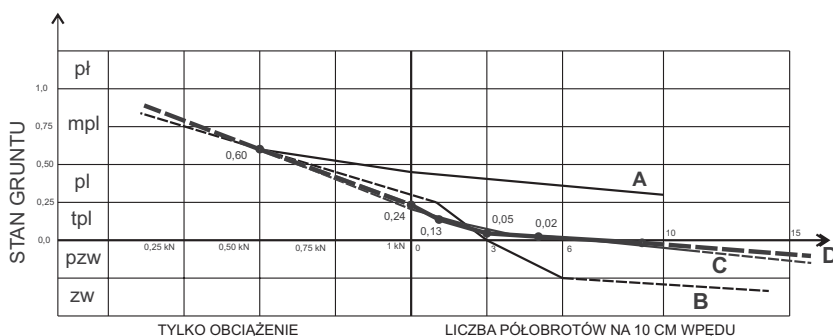
Dla pełnego porównania uzyskanych wartości stopnia plastyczności i odpowiadających im wartości liczby pólóbrotów uzyskanych w trakcie badań sondą wkręcaną WST, w tabeli 3 zebrano: badania laboratoryjne, badania makroskopowe i badania z użyciem sondy skrzydełkowej FVT. Wyniki jakościowo (ocena stanu gruntu) dobrze do siebie pasują, niezależnie od metody badawczej. Ilościowo, największe różnice w wyznaczeniu stopnia plastyczności dotyczą sondy skrzydełkowej.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki z dotychczasowych badań dotyczących kalibracji sondy wkręcanej WST. Na rysunku 3 umieszczono cztery linie odpowiadające następującym pracom badawczym:

- linia A, (przerysowana z pracy [8]) przedstawia znaną zależność pomiędzy liczbą pólóbrotów a stopniem plastyczności dla wybranych gruntów organicznych,
- linia B, to zależność pomiędzy liczbą pólóbrotów a stopniem plastyczności dla ilów z Zesławic [16],
- linia C, obrazuje wyniki badań uzyskane dla ilów z Mydlnik [15],
- linia D, obrazuje wyniki badań uzyskane w ramach tej pracy dla ilów z osiedla Ruczaj.

TABELA 3  
Zestawienie wyników badań

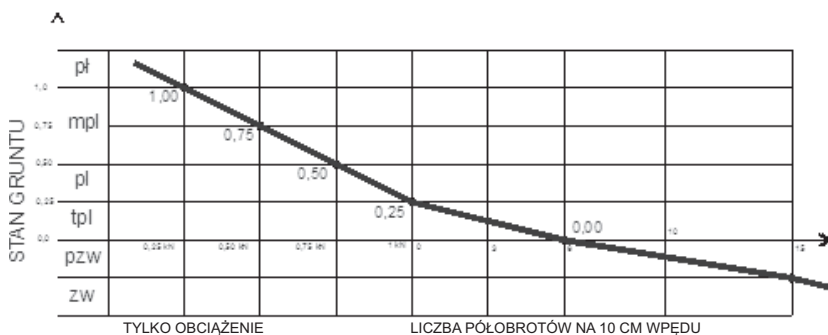
Głębokość	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
BADANIA LABORATORYJNE					
Stopień plastyczności, $I_L$	0,24	0,13	0,05	0,02	-0,03
Stan gruntu	pl/tpl	tpl	tpl	tpl/pzw	pzw
BADANIA MAKROSKOPOWE					
Liczba wałeczkowań	5/6	3/4	1/2	0/1	0/1
Stopień plastyczności, $I_L$	0,25	0,15	0,05	0,00	0,00
Stan gruntu	pl/tpl	tpl	tpl	tpl/pzw	tpl/pzw
SONDOWANIE VFT					
Stopień plastyczności, $I_L$	0,34	0,19	0,13	0,03	< 0,00
Stan gruntu	pl	tpl	tpl	pzw	zw
SONDOWANIE WST					
Średnia liczba półobrotów	0	1	3	5	9



Rys. 3. Nomogram do określania stopnia plastyczności gruntów:  
A — grunty organiczne [8], B — iły Zesławice [6],  
C — iły Mydlniki [15], D — iły Ruczaj

Na podstawie dalszej analizy, mającej na celu uproszczenie oraz zwiększenie bezpieczeństwa stopnia plastyczności, określanego na podstawie badań sondą wkręcaną WST, na rysunku 4 zaproponowano nomogram dla iłów górnomiocieńskich rejonu Krakowa. Uwzględniono także wyniki innych prac naukowo-badawczych w gruntach spoistych i na koluwiach osuwisk, gdzie grunty były w stanach płynnych i miękkoplastycznych [3–7].

Na kolejnym nomogramie (rys. 4) przyjęto, że dla iłów górnomiocieńskich w stanach plastycznym, miękkoplastycznym i płynnym, pogrążanie sondy odbywa się tylko przy udziale przyłożonego obciążenia bez wykonywania ruchu obrotowego, odpowiednio 1 kN, 0,75 kN, 0,5 kN i 0,25 kN. Dla stanu twardoplastycznego liczba wykonywanych półobrotów jest w zakresie od 1 do 6. Powyżej 6 półobrotów mamy do czynienia z iłami w stanie półzwartym.



**Rys. 4.** Nomogram do określania stopnia plastyczności krakowieckich iłów miocenijskich

## 6. Podsumowanie

Badania laboratoryjne są czasochłonne i kosztochłonne, co powoduje, że projektanci często z nich rezygnują na korzyść szybszych, a niekiedy tańszych badań polowych. Dla właściwego prowadzenia badań w terenie, z wykorzystaniem tylko sprzętu polowego, istnieje potrzeba jego poprawnego wykalibrowania, a co za tym idzie posiadania odpowiednich interpretacji dla wyników uzyskiwanych z sondowań. Dotyczy to zarówno urządzeń mechanicznych, które znajdują szerokie zastosowanie w trudnych warunkach geotechnicznych dla ważnych obiektów budowlanych, ale także urządzeń ręcznych wykorzystywanych w prostszych przypadkach lub w miejscach gdzie wprowadzenie sprzętu mechanicznego jest nie możliwe [15].

Przedstawiona na rysunku 4, propozycja interpretacji wyników z badań sondą wkręcaną WST dla iłów górnomiocenijskich rejonu Krakowa zwiększa możliwości wykorzystania tego sprzętu w gruntach spoistych.

## LITERATURA

- [1] Bergdahl U., Ottosson E., Malmberg, B.S.: Plattgrundläggning (Spread foundations) (in Swedish). Stockholm, AB Svensk Byggtjänst, 1993
- [2] Borowczyk M., Frankowski Z.: Badania gruntów statyczna sondą wkręcaną. Przegląd Geologiczny, nr 6, 1978, s. 374–380
- [3] Cala M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza przyczyn powstania uszkodzeń zachodniego obwałowania kwatery 4S składowiska odpadów paleniskowych „Pióry”. AGH KGBiG, Kraków, 2009 (praca niepublikowana)
- [4] Cala M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza przyczyn uszkodzenia wału oporowego II kwatery składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem. AGH KGBiG, Kraków, 2008 (praca niepublikowana)
- [5] Cala M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza stanu wału oporowego wraz z analizą stateczności i kwatery składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem w związku z końcem jej eksploatacji. AGH KGBiG, Kraków, 2007 (praca niepublikowana)
- [6] Cala M., Flisiak J., Olesiak S.: Analiza warunków stateczności wału oporowego składowiska odpadów komunalnych Zoniówka II w Zakopanem oraz metody jego stabilizacji. AGH KGBiG, Kraków, 2004 (praca niepublikowana)

- [7] *Cała M., Flisiak J., Olesiak S.*: Przyczyny powstania osuwiska w miejscowości Gaj i propozycja jego zabezpieczenia. AGH KGBiG, Kraków, 2006 (praca niepublikowana)
- [8] *Dudzikowski R., Fabianowski J.*: Badania gruntów aluwialnych statyczną sondą (szwedzką) wkręcaną ręcznie. Technika Poszukiwań Geologicznych, nr 1, 1974, s. 30–35
- [9] *Grabowska-Olszewska B.*: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. PWN Warszawa, 1998
- [10] *Hartlen J., Wolski W.*: Embankments on organic soils. Amsterdam, Elsevier, 1996
- [11] *Ignut R., Kłębek A., Puchalski R.*: Terenowe badania geologiczno-inżynierskie. WG Warszawa, 1973
- [12] *Kostrzewski W.*: Mechanika gruntów. Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich wyznaczania. PWN, Warszawa, 1980
- [13] *Myślińska E.*: Laboratoryjne badania gruntów i gleb. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2010
- [14] *Myślińska E.*: Laboratoryjne badania gruntów. PWN, Warszawa, 2001
- [15] *Olesiak S.*: Sonda wkręcana WST w badaniach miocénskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, zeszyt 2, Kraków, 2010, s. 501–507
- [16] *Olesiak S.*: Wykorzystanie sondy wkręcanej WST w badaniach miocénskich ilów krakowieckich. Górnictwo i Geoinżynieria, zeszyt 1, Kraków, 2009, s. 467–473
- [17] *Palka J., Sanecki L.*: Grunty budowlane. Cz. 2, Laboratoryjne badania fizycznych cech gruntów. Wydawnictwo PK, Kraków, 1986
- [18] *Pisarczyk S., Rymza B.*: Badania laboratoryjne i polowe gruntów. OWPW Warszawa, 1993
- [19] *Pisarczyk S.*: Gruntoznawstwo inżynierskie. PWN Warszawa, 2001
- [20] Polska Norma PN-B-03020:1981 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [21] Polska Norma PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe
- [22] Polska Norma PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [23] Polska Norma PN-EN-1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [24] *Rybicki S., Lendusko P.*: Warunki inżyniersko-geologiczne w utworach miocénskich podłoża Krakowa. Konferencja Naukowo-Techniczna. Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa. Wydawnictwo AGH, Kraków, 1991, s. 59–67
- [25] *Sanecki L.*: Geotechniczne badania polowe. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2003
- [26] *Smolczyk U.*: Geotechnical engineering handbook. Vol. 1, Fundamentals. Berlin, Ernst & Sohn Verlag, 2002