

Paweł Jednacz*

INTERPRETACJA I PORÓWNANIE WYNIKÓW SONDOWAŃ CPTU ORAZ WYBRANYCH TESTÓW *IN SITU* W PYŁACH OKOLIC KRAKOWA W ODNIESIENIU DO BADAŃ LABORATORYJNYCH

1. Wprowadzenie

Badania geologiczno-inżynierskie utworów pylastych w Polsce mają bardzo długą historię, pierwsze wzmianki dotyczące badań lessów w okolicach Krakowa podał S. Zaręczny (1894), a następnie wielu innych badaczy podejmowało działania mające na celu rozpoznanie petrograficzne i stratygraficzne lessów [3].

Lessy w okolicach Krakowa tworzą zwartą pokrywę osadów starszych o zróżnicowanej miąższości, wahającej się od 1,0 do ponad 20,0 metrów. Takie zróżnicowanie jest rezultatem budowy morfologicznej podłoża przedczwartorzędowego, którego deniwelacje wahają się w zakresie od 190 do 450 m. Pokrywa utworów pylastych łagodzi zróżnicowaną rzeźbę podłoża [3].

Malowniczo wyglądające okolice Dolinek Podkrakowskich położone na zachód od Krakowa stały się w ostatnich latach terenami intensywnego rozwoju budownictwa jednorodzinnego. Powstają tu budynki przeważnie budowane w technologii tradycyjnej, posadowione bezpośrednio na podłożu gruntowym. Fundament stanowią na ogół ławy fundamentowe, a przeważająca większość domów jest niepodpiwniczona.

Zalegające w tym rejonie pyły w powierzchniowej warstwie terenu, tj. od około 1,4 do 2,0 m nie zawierają węglanu wapnia CaCO_3 , który został wypłukany przez wody powierzchniowe, a grunty występują tu najczęściej w stanie twardoplastycznym. Zalegające niżej pyły wykazują wyraźnie zawartość węglanu wapnia CaCO_3 , posiadają mniejszą wilgotność naturalną będąc w stanie półzwartym, a więc typowe cechy dla lessów.

Omówiony przypadek dotyczy terenów o głębokim położeniu zwierciadła wód gruntowych oraz o prawidłowym odprowadzeniu wód opadowych.

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

Zmiany przepisów dotyczące wydawania pozwolenia na budowę spowodowały korzystną sytuację dla zwiększenia bezpieczeństwa posadowienia obiektów budowlanych. Poczynając od 1998 roku wymagane jest ustalenie geotechnicznych warunków posadowiania obiektów budowlanych [4]. Jednak należy tutaj zauważyć, że badania rozpoznawcze zazwyczaj mają zakres ograniczony do analizy makroskopowej i ewentualnie podstawowych sondowań, dających możliwość określenia podstawowych parametrów wytrzymałościowych i stanu gruntu. Aspekt cenowy ma tutaj decydujące znaczenie, gdyż inwestor indywidualny przy rosnących ciągle kosztach robocizny i materiałów budowlanych dąży do zmniejszenia wydatków.

W takiej sytuacji geotechnicy nie zlecają przeprowadzenia drogich badań laboratoryjnych i specjalistycznych sondowań, a częstokroć takowe są bardzo przydatne w prawidłowej ocenie podłoża gruntowego.

Również sytuacja ekonomiczna wymusiła odstępianie od przewymiarowywania konstrukcji w celu ograniczenia kosztów budowy, co wiąże się ze zmniejszeniem zapasu bezpieczeństwa konstrukcji. Jednakże szczególnie w przypadku gruntów pylastych bardzo wrażliwych na zmiany wilgotności [5] istnieje potrzeba rozszerzania zakresu badań geotechnicznych.

W przypadkach budowy dużych inwestycji ten problem jest znikomy, gdyż wykonywane są potrzebne testy, badania i analizy laboratoryjne.

W trakcie swoich prac autor spotkał się często z występowaniem awarii w obiektach budowlanych na gruntach pylastych, spowodowanych nieodpowiednim rozpoznaniem podłoża gruntowego i nieprawidłową eksploatacją obiektu. Dominujące znaczenie ma jednak wpływ zmian wilgotności gruntu na zmniejszenie się jego parametrów wytrzymałościowych. Powstające rysy i spękania często są lekceważone przez właścicieli, a tylko nieliczni podejmują kroki naprawcze, hamujące niekorzystne procesy.

Grunty pylaste są zaliczane do gruntów wysadzinowych i należy przyznać, że warunek związany z minimalną głębokością posadowienia ze względu na zasięg strefy przemarzania jest w Polsce przestrzegany. Gorzej jest z obiektami budowanymi w systemie gospodarczym: pośpiech i ograniczenie nakładów oraz częstokroć brak wiedzy wykonawców powodują narażenie obiektu na późniejsze awarie. Efekty takich praktyk są widoczne, zarówno po kilku latach, jak i po dłuższym okresie, kiedy to wskazanie bezpośrednio winnych zaniedbaniom jest praktycznie niemożliwe.

W przypadku większości gruntów istnieje wiele interpretacji dających możliwość określenia bezpośrednio z badań polowych, bądź parametrów wiodących takich jak stopień plastyczności I_L i zagęszczenia I_D lub obliczenia pośrednio, innych parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Problematyka związana z zachowywaniem się gruntów pylastych ma swojej miejsce w literaturze fachowej z zakresu geotechniki.

Artykuł stanowi początek pracy badawczej mającej w przyszłości dać odpowiedź na pytanie, czy metodyka badań geotechnicznych, uproszczona do najtańszych testów i sondowań, daje mało wiarygodne wyniki, które są zbyt ubogą informacją dla pełnego określenia parametrów gruntów pylastych i trafnego prognozowania współpracy obiektu z podłożem o charakterze pylastym.

2. Badania i analizy

Jednym z uznanych na świecie testów polowych, cieszącym się dużym zaufaniem geotechników, jest sondowanie statyczne CPTU. Autor wykonał 10 sondowań dających bardzo podobne wyniki, co świadczy o jednorodności ośrodka gruntowego i jego przydatności jako pola doświadczalnego.

Mimo wielu trudności związanych z interpretacją zmian ciśnienia porowego u_2 test ten znalazł uznanie oraz jest wykorzystywany obecnie jako jedna z normowych metod badania podłoża gruntowego. Badania dotyczące składu ziarnowego potwierdziły bez wątpienia, że mamy do czynienia z gruntami ewidentnie pylastymi, zaś metoda areometryczna wykazała dobrą zgodność z badaniami wykonanymi w aparacie laserowym Analysette-22 firmy Fritsh (Niemcy) (tab. 1).

TABELA 1
Zestawienie rozkładu poszczególnych frakcji uziarnienia

Nr testu	Głębokość pobrania	Badania w aparacie laserowym		
		frakcja ilowa, %	frakcja pyłowa, %	frakcja piaskowa, %
305	1,6 m	8,43	74,90	16,67
307	1,6m	8,47	75,42	16,11
309	1,6 m	8,38	74,49	17,13
średnia dla całości		8,45	75,16	16,39
301	1,8 m	7,79	76,54	15,67
303	1,8 m	7,73	76,38	15,89
304	1,8 m	7,85	76,16	15,99
średnia dla całości		7,79	76,36	15,85
Analiza areometryczna wg PN-88/B-04481				
1	1,6 m	8,00	79,50	12,50
2	1,8 m	5	76,5	18,5

Materiał do badań został pobrany z typowej działki budowlanej, znajdującej się na lokalnym wyniesieniu, położonej 15 km na zachód od Krakowa w Gminie Zabierzów.

Analiza makroskopowa odwiertów wykonanych z użyciem ręcznego zestawu wiertniczego, o głębokości 4,5 m, wskazywała, że pod warstwą humusu zalegają utwory pylaste o jednorodnej strukturze, o tej samej jasnobrązowej barwie, bez zauważalnych zmian uziar-

nienia. Można było jedynie określić głębokość, od której grunt wykazywał mniejszą wilgotność, co zostało potwierdzone w badaniach laboratoryjnych (tab. 2).

TABELA 2

Wyniki badań wilgotności naturalnej w , granicy plastyczności w_p , granicy płynności w_L , wskaźnika plastyczności I_p i stopnia plastyczności I_L

Głębokość zalegania, m	Granica plastyczności w_p , %	Wilgotność naturalna w %	Granica płynności w_L , %	Wskaźnik plastyczności I_p	Stopień plastyczności I_L	Stan gruntu
0,45÷0,55	22,58	24,58	35,4	12,82	0,16	tpl
0,95÷1,05	21,63	22,01	29,75	8,12	0,05	tpl
1,45÷1,55	20,12	21,7	30,3	10,18	0,16	tpl
1,95÷2,05	18,57	16,68	27,7	9,13	-0,21	pzw
2,45÷2,55	17,64	16,6	26,2	8,56	-0,12	pzw
2,95÷3,05	17,71	15,56	26,3	8,59	-0,25	pzw
3,45÷3,55	17,64	16,42	26,2	8,56	-0,14	pzw
3,95÷4,05	18,03	16,64	26,8	8,77	-0,16	pzw

Wykonano również test sondą krzyżakową FVT w celu określenia wytrzymałości gruntu na ścinanie, zgodnie z PN-B-04452 (tab. 3).

TABELA 3

Analiza testu FVT

Głębokość zalegania, m	Rodzaj skrzydełek 200 mm / 80 mm	I_L za PN-B-04452	$\tau_{\max}$, kPa	$\tau_{\min}$, kPa	I_R wskaźnik wrażliwości strukturalnej	Uwagi
0,45÷0,55	80	> 0,50	45	6	7,5	wrażliwy
0,95÷1,05	200	> 0,50	33	14	2,4	niewrażliwy
1,45÷1,55	200	> 0,50	33	19	1,7	niewrażliwy
1,95÷2,05	200	0,25 < ... < 0,50	66	16	4,1	wrażliwy
2,45÷2,55	200	0,25 < ... < 0,50	72	20	3,6	niewrażliwy
2,95÷3,05	200	0,25 < ... < 0,50	71	22	3,2	niewrażliwy
3,45÷3,55	200	0,25 < ... < 0,50	70,5	22	3,2	niewrażliwy
3,95÷4,05	200	0,25 < ... < 0,50	62	18	3,4	niewrażliwy

Porównując wyniki I_L otrzymane na podstawie badań laboratoryjnych i obliczone z interpretacji normowej widzimy wyraźnie rozbieżność tych rezultatów, co nasuwa wątpliwości dotyczące bezkrytycznego stosowania ogólnych zależności. Zdaniem autora w uzasadnionych przypadkach należy podejmować próby wykorzystywania doświadczeń lokalnych i budować zależności o znacznie lepszej korelacji, zawiązując jednocześnie ich stosowalność w odniesieniu do gruntów pochodzących z terenów o tej samej historii procesów geologicznych.

Kolumna trzecia tabeli 3 zawiera przedziały, w których określa się stopień plastyczności I_L za PN-B-04452; ogólna zgodność zmian stanu gruntu wraz ze wzrostem głębokości jest zachowana, bo widoczne jest przejście ze stanu miękkoplastycznego w stan plastyczny, jest to jednak bardzo duża różnica w wartościach stopnia plastyczności I_L (tab. 2 kol. 6). Większe rozbieżności można zauważyć, odczytując wyniki sondowania statycznego CPTU.

Na kilku zamieszczonych w artykule wykresach z sondowań CPTU widać (rys. 1 na wklejce), że na głębokości 1,75 m występuje wzrost oporu na stożku. Od tej głębokości stwierdzono wyraźne burzenie 20% roztworu kwasu solnego, potwierdzające obecność węgla wapnia CaCO_3 , a także obniżenie wartości wilgotności naturalnej i zmianę stanu gruntu na półzwarty, co przedstawia tabela 2.

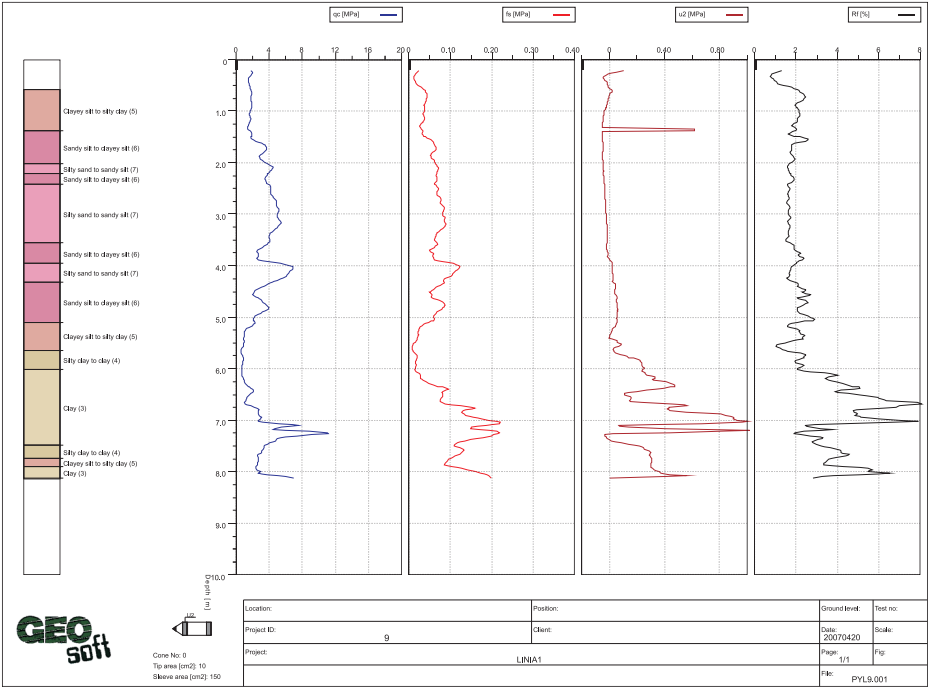
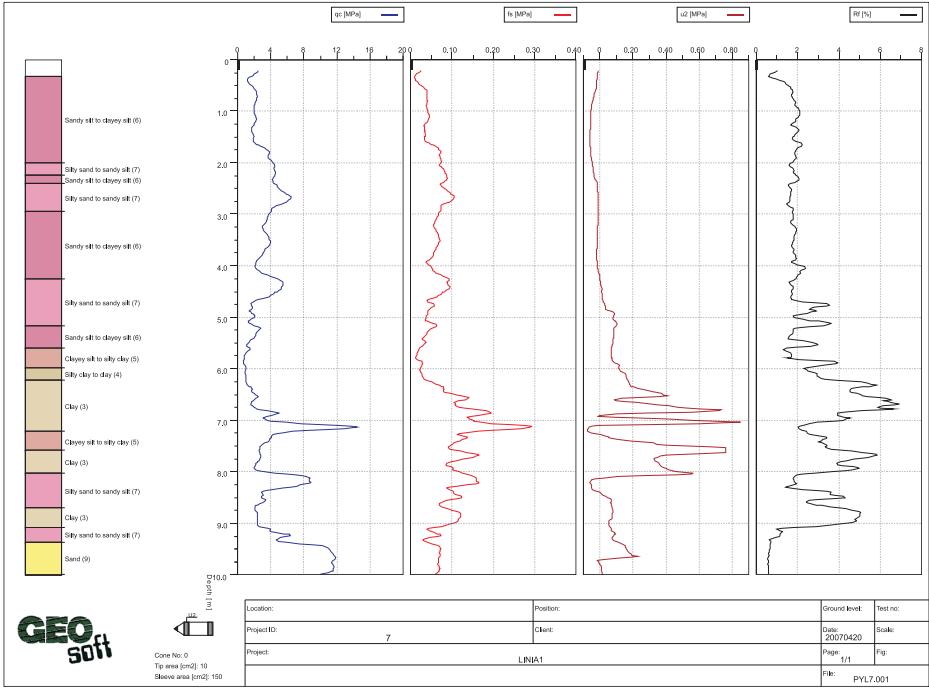
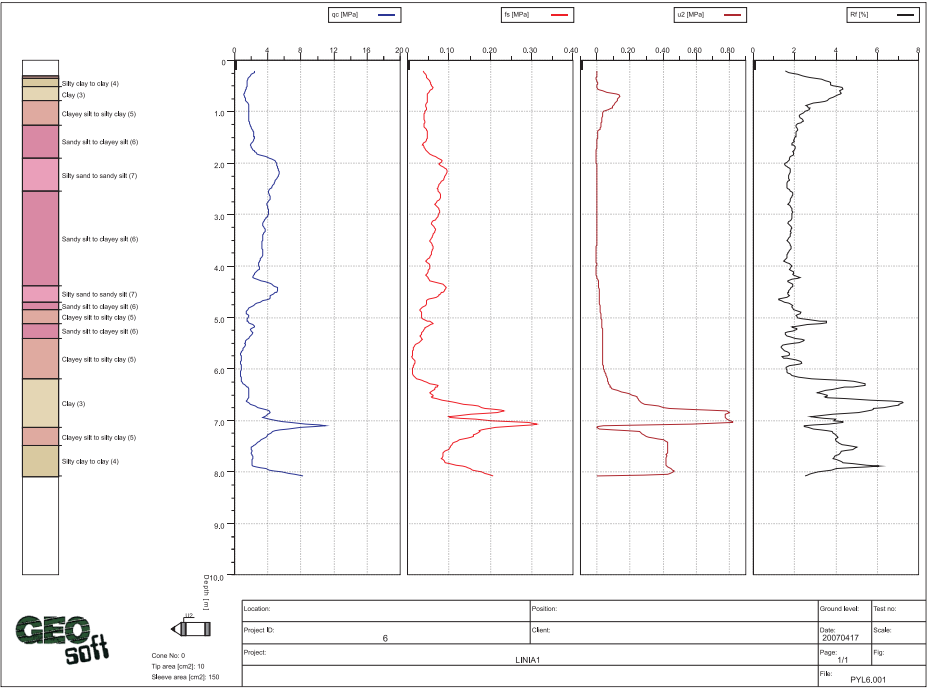
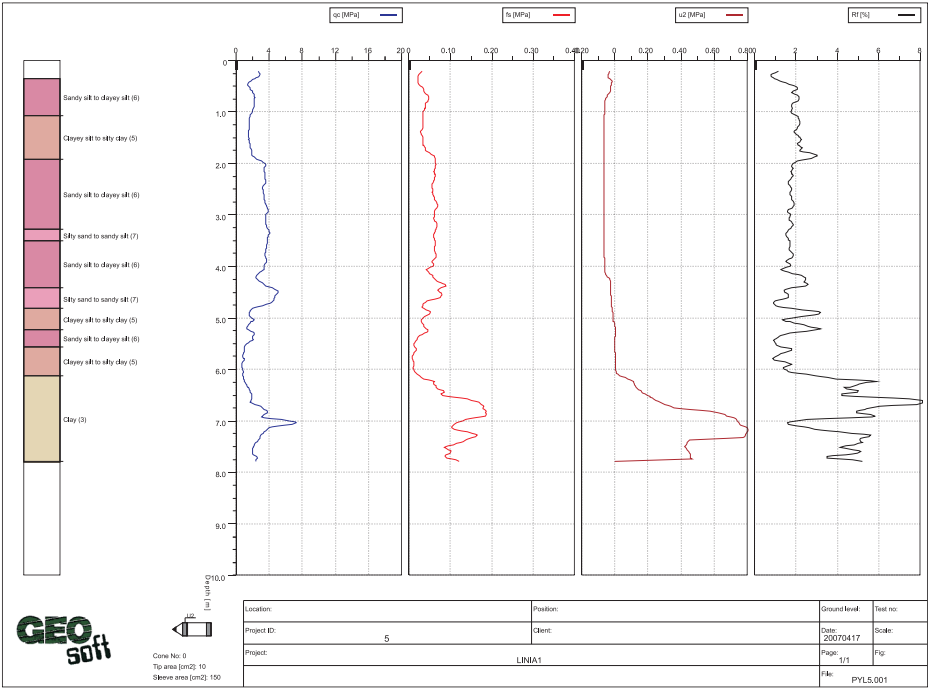
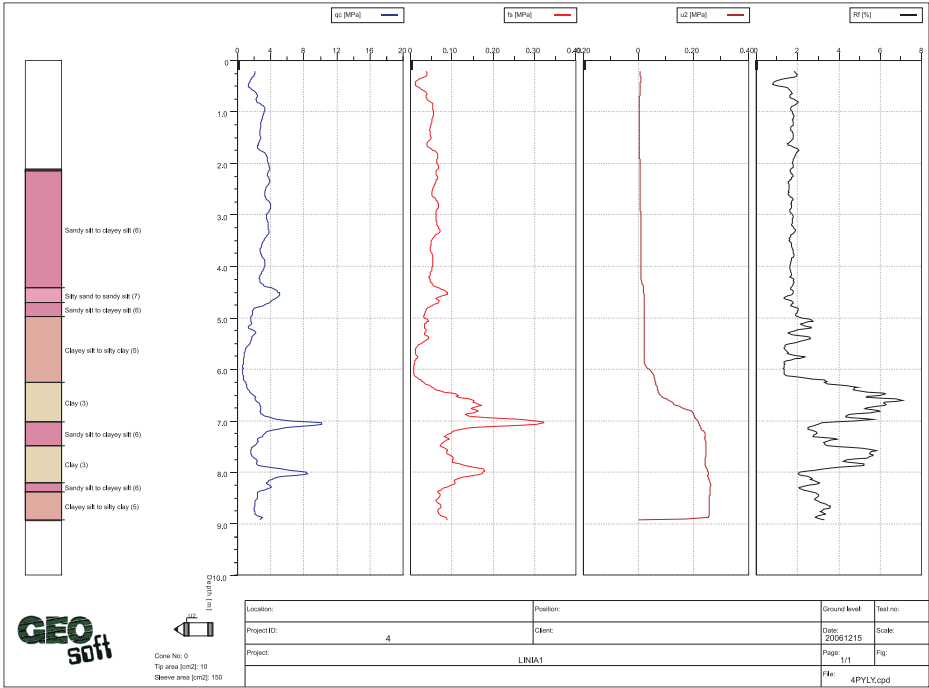
3. Podsumowanie wyników

W tabeli 4 zamieszczono zestawienie wartości stopnia plastyczności I_L określonego na podstawie różnych interpretacji przedstawionych w normie PN-B-04452:2002 i na podstawie badań laboratoryjnych.

TABELA 4

Zestawienie wartości stopnia plastyczności I_L określonego na podstawie różnych metod

Głębokość, m	Szacowanie I_L na podstawie testu CPTU (PN-B-04452:2002)			I_L na podstawie testu FVT (PN-B-04452:2002)	Badania laboratoryjne
	$f_i < 10\%$	$f_i = 10\sim 30\%$	$f_i > 30\%$		
0,5	0,64	0,44	0,19	$>0,5$	0,16
1,0	0,36	0,19	0,03	$>0,5$	0,05
1,5	0,41	0,23	0,05	$>0,5$	0,16
2,0	0,31	0,15	0,00	$0,25 < \dots < 0,5$	-0,21
2,5	0,35	0,18	0,02	$0,25 < \dots < 0,5$	-0,12
3,0	0,32	0,15	0,00	$0,25 < \dots < 0,5$	-0,25
3,5	0,29	0,13	-0,01	$0,25 < \dots < 0,5$	-0,14
4,0	0,35	0,18	0,02	$0,25 < \dots < 0,5$	-0,16



Rys. 1. Wykresy wyników sondowań wraz z klasyfikacją gruntów (Robertson 1986) [2]

Porównanie tych rezultatów i interpretacji pozwala wnioskować, iż obecnie mimo prawidłowego zaklasyfikowania pyłów na podstawie sondowań CPTU brakuje algorytmów do obliczenia stopnia plastyczności przy odpowiednio dobrej korelacji z wynikami określonymi na podstawie metod laboratoryjnych.

Prawidłowe określenie parametrów geotechnicznych utworów pylastych, jakie niewątpliwie reprezentują lessy, stanowi interesujący i ważny problem interpretacyjny i należy kontynuować prace badawcze, aby był on rozwiązany. Trzeba zaznaczyć, że grunty pylaste ze względu na skład ziarnowy znajdują się na pograniczu pyłów piaszczystych i glin pylastych, jednak można zauważyć pewne ograniczenia związane z możliwością wyznaczania stopnia plastyczności I_L na podstawie zależności podanych w normach. Autorzy normy świadomie umieścili w przypadku lessów adnotacje o braku danych dla identyfikacji wartości τ_{fu} gruntów polskich [1].

LITERATURA

- [1] PN-B-04452:2002: Geotechnika. Badania polowe
- [2] Lunne T., Robertson P.K, Powell J.J.M.: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Londyn, Blackie Academic & Professional 1997
- [3] Kolasa M.: Geotechniczne własności lessów okolicy Krakowa, Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1963
- [4] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych, Dz.U. z dnia 8 października 1998 r., Warszawa, 1998
- [5] Witun Z.: Zarys geotechniki. Warszawa, WKŁ (wyd. 4) 2000