



PUBLIKACJE

TYTUŁ

Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

AUTORZY

Stanisław Kamiński, KAMIKA Instruments
Jerzy Trzeciński, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego

DZIEDZINA

Geologia, Budownictwo, Drogownictwo

PRZYRZĄD

AWK 3D, IPS A, IPS U, IPS UA, IPS L, AWK B, SYSTEM MM

SŁOWA KLUCZOWE

Skład granulometryczny, krzywa uziarnienia, system analizatorów optyczno-elektronicznych – Elsieve, pomiar wielkości cząstek, symulacja analizy sitowej i areometrycznej, analiza kształtu cząstek 3D

ŹRÓDŁO

Czasopismo: Geologia / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
rok: 2008, T. 34, z. 4, s. 623--632, Bibliogr. 9 poz., rys., tab., wykr.

ABSTRAKT

Obecnie istnieją już techniczne możliwości uniknięcia trudnych manualnie i pracochłonnych pomiarów składu granulometrycznego gruntów (np. analiza sitowa czy areometryczna). Pomiary te mogą być zastąpione przez urządzenia optyczno-elektroniczne typu Elsieve, które coraz powszechniej używane są w Polsce. Takie urządzenia pomiarowe wykorzystuje się do wyznaczenia krzywej granulometrycznej ziaren o wymiarach od 0.5 μm do 100 mm. Dodatkowo istnieje możliwość określenia kształtu ziaren według pomiarów 3D oraz innych parametrów uziarnienia. System pomiarowy może składać się z dowolnej liczby urządzeń połączonych indywidualnie z komputerem rejestrującym. Każdy indywidualny komputer przyrządu pomiarowego połączony jest z komputerem centralnym pełniącym rolę serwera. Stworzona sieć komputerów pozwala jednocześnie rejestrować wyniki pomiarowe na komputerze obsługującym dane urządzenie pomiarowe, jak również na pozostałych komputerach. Taki system pomiarowy jest używany do badań uziarnienia gruntów i innych geomateriałów w laboratorium Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii UW.

WSTĘP

Dotychczas w badaniach i praktyce geologicznej, a szczególnie geologiczno-inżynierskiej powszechnie wykorzystywane są wciąż tradycyjne metody pomiaru składu granulometrycznego skał okruchowych o różnej genezie i składzie mineralnym (Mycielska-Dowgiałło 1995). Jest to jedno z podstawowych i standardowych badań, które pozwala ocenić genezę, pochodzenie i rodzaj skały oraz właściwości geologiczno-inżynierskie gruntów. Najczęściej stosuje się do tych badań analizę sitową i jedną z analiz sedymentacyjnych, np. areometryczną, które są zalecane przez normy PN-88/B-04481: 1988 i PN-EN ISO 14688-2: 2006. Dodatkowo norma PN-EN ISO 14688-2: 2006 zezwala stosowanie metod, które są ogólnie akceptowane, np. metod optycznych. O ile wykonanie analizy sitowej nie jest zbyt skomplikowane, to przeprowadzenie analizy areometrycznej wymaga dużego doświadczenia. Natomiast obie metody mają bardzo ściśle uwarunkowania związane ze sposobem pomiaru i wynikającymi z tego błędami i niedokładnościami.

Obecnie istnieją już techniczne możliwości uniknięcia trudnych manualnie i pracochłonnych pomiarów uziarnienia gruntów. Pomiarów te mogą być zastąpione przez optyczno-elektroniczną analizę wymiarów Elsieve i kształtów ziaren 3D, która coraz powszechniej używana jest w Polsce (Kamiński 2007, Kamiński & Kamińska 2007). Aparaturę służącą do tego typu pomiarów wykorzystuje się w celu wyznaczania krzywej uziarnienia materiałów o wymiarach od 0,5 μm do około 100 mm, a nawet i w szerszym zakresie. Dodatkowo istnieje również możliwość określania kształtu ziaren i cząstek oraz innych parametrów uziarnienia.

PODSTAWY METODY POMIAROWEJ

Używając do pomiaru sit mechanicznych, ziarna ważone są na każdym sicie według swego minimalnego przekroju, który musi być wpisany w kwadrat o boku wymiaru oczka sita. Wymiar kwadratowego oczka sita jest umownym wymiarem cząstki. Nie wszystkie ziarna mają kształt sferyczny. Ziarna o kształcie eliptycznym (jeden z wymiarów jest większy od pozostałych) zostaną ważone na sicie o oczkach minimalnego wymiaru elipsy. Masa ważonych cząstek jest tutaj rzeczywista, ale nominalny (umowny) wymiar cząstek jest obarczony błędem. Sposób użycia zestawu sit (siła i sposób wstrząsania oraz czas działania) ma duży wpływ na wynik pomiaru. Ponadto, zgodnie z normą PN-ISO 565: 2000, wymiary wszystkich oczek w sicie mogą mieć odchyłkę względem średniego arytmetycznego wymiaru boku oczka. Pomiedzy kolejnymi wymiarami sit nie musi zachodzić odchyłka proporcjonalna, to znaczy, że kolejne sita mogą

zgodnie z normą mieć dodatnie bądź ujemne odchyłki wymiarowe. Jest to widoczne na wykresie wówczas, kiedy przebieg krzywej rozkładu wagi ziaren tworzy ostre załamania. Wydłużenie kształtu ziaren ma także wpływ na określenie z niedomiarem przez sita mechaniczne średniego wymiaru. Powyższych błędów nie mają optyczno-elektroniczne urządzenia pomiarowe, ale żeby ich użyć należy zastosować następującą metodę pomiaru.

Należy rozważyć następujący problem: czy i w jaki sposób można dokładnie pomierzyć uziarnienie materiału składającego się z ziaren i cząstek o zróżnicowanej wielkości, np. od kilku μm do kilkudziesięciu mm? Zbiór elementów takiego materiału jest liczbowo tak duży oraz zróżnicowany pod względem wielkości, że konstrukcja pojedynczego urządzenia pomiarowego nie pozwala na taki pomiar. Zadanie to można rozwiązać używając do pomiaru systemu złożonego z kilku urządzeń. Jeśli waga całej próbki jest zbyt duża, należy podzielić ją na kilka części (zakresy frakcji) i przygotować z nich reprezentatywne próbki do pomiaru. Służą temu standardowe urządzenia zwane uśredniaczami. Poszczególne pomiary wykonuje się niezależnie, a rozkład uziarnienia sumowany jest proporcjonalnie do udziałów wagowych poszczególnych zakresów frakcji.

OPIS METODY POMIAROWEJ

Rozważmy, w jaki sposób można dokładnie zmierzyć uziarnienie materiału mineralnego, zawierającego cząstki od 10 μm do fragmentów skalnych o maksymalnym wymiarze kilkudziesięciu milimetrów. Przyjmijmy, że każdy zakres wymiarów reprezentowany jest przez taką samą wagę i posiada ten sam ciężar właściwy. Jeśli fragmenty o maksymalnym wymiarze (np. 63 mm) stanowią 10 % masy całej próbki i będą liczone z dokładnością 1 %, to wówczas w próbce powinno znajdować się co najmniej 10 fragmentów ± 1 , które będą zawierać 10 % ± 1 % wagi. Przeliczając w stosunku objętościowym równoważną liczbę cząstek o mniejszym wymiarze, można zauważyć, że dla jednego dużego fragmentu równoważna wagowo jest bardzo duża liczba cząstek (Tab. 1). Zbiór cząstek jest liczbowo tak duży, że żadne pojedyncze urządzenie pomiarowe nie może być użyte do jego zmierzenia w rozsądnym wymiarze czasu. Zadanie to można rozwiązać przez określony sposób pomiaru.

Rozmiar ziaren mniejszych od fragmentu o wielkości 63 mm Size of grains smaller than 63 mm particle	Liczba cząstek mniejszych i równoważnych wagowo fragmentowi o wielkości 63 mm Number of particles, that weight is equal to weight of one 63 mm particle
10 mm	250
1 mm	250047
100 μm	25004700
10 μm	250047000000

Tab. 1

S. Kamiński, J. Trzciniński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Przed pomiarem, jeśli w próbce znajdują się drobne cząstki, badaną próbkę należy rozmoczyć, a następnie powstałą zawiesinę razem z frakcjami grubszymi przemyć przez sito o drobnych oczkach, np. o wymiarze 75 μm. Pozostałe na sicie po przemyciu ziarna dzieli się przykładowo na trzy części – frakcje (Fig. 1), przesypując je przez dwa sita o wymiarze oczek 10 i 1 mm.

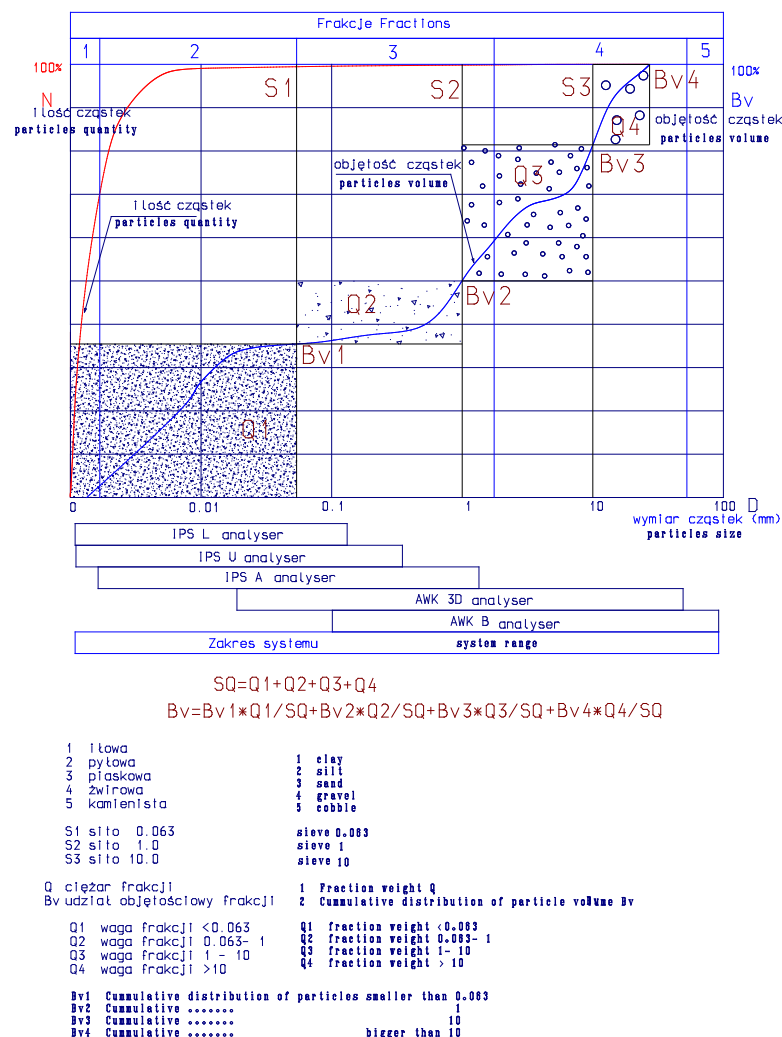


Fig 1

S. Kamiński, J. Trzcński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Podany rozmiar oczek sit może mieć inne wartości. Każdą frakcję waży się i przygotowuje trzy reprezentatywne próbki z każdej frakcji do pomiaru na odpowiednich optyczno-elektronicznych urządzeniach pomiarowych. Reprezentatywna próbka dla frakcji drobnej poniżej 1 mm jest ułamkiem liczby całego zbioru i zwykle składa się z wielu milionów cząstek. Frakcja średnia od 1 do 10 mm reprezentowana jest przez kilkadziesiąt tysięcy cząstek. Frakcja gruba powyżej 10 mm zawiera zwykle kilka tysięcy cząstek i może być w całości pomierzona. Wyniki pomiarów rozkładu uziarnienia każdej z frakcji sumuje się proporcjonalnie do ich wag. Dla przedstawienia rozmiarów sumowania z poszczególnych pomiarów, na Fig. 2 zestawiono zmierzone przy

pomocy optyczno-elektronicznej metody Elsieve rozkłady objętości cząstek symulujące analizy areometryczną i sitowe. Następnie poszczególne rozkłady zostają podzielone na maksymalnie 11 sit (normowych) i wprowadzone do programu sumującego. Ilustracją tego jest Fig. 3 obrazująca wprowadzenie danych z każdego pomiaru.

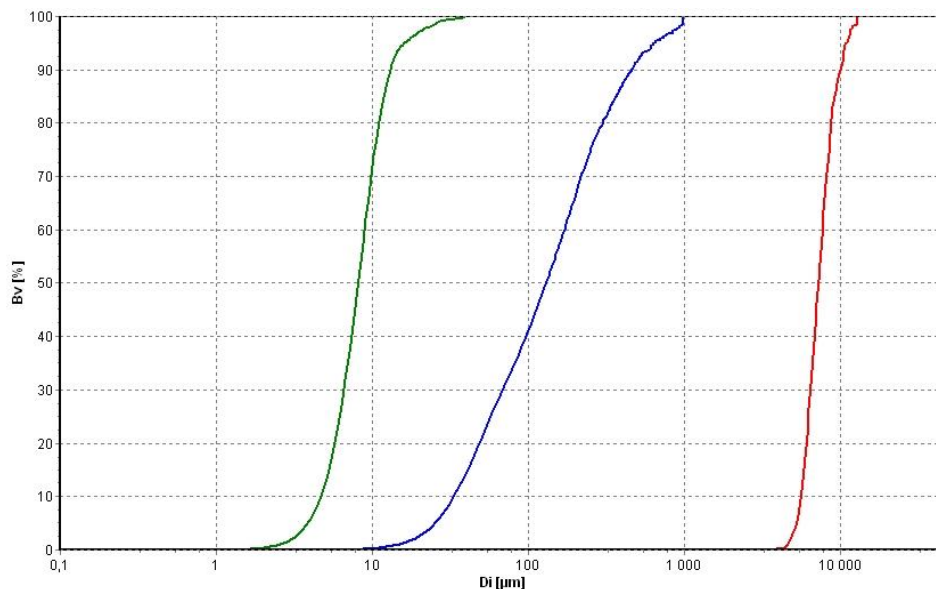
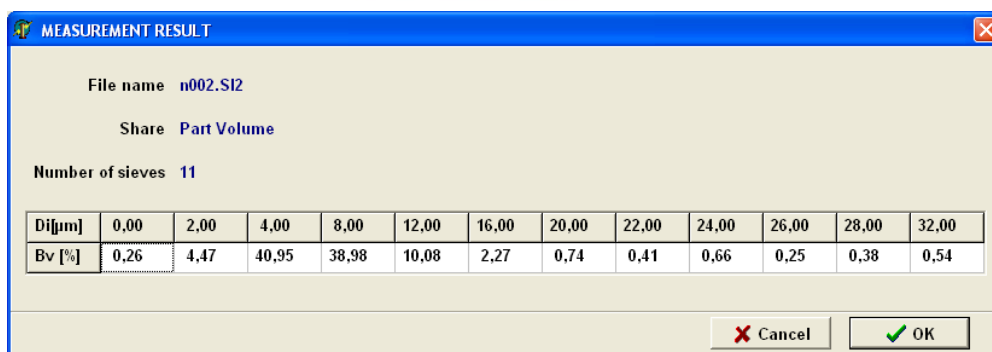


Fig. 2

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej



MEASUREMENT RESULT

File name n002.SI2

Share Part Volume

Number of sieves 11

D _i [μm]	0,00	2,00	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	22,00	24,00	26,00	28,00	32,00
B _v [%]	0,26	4,47	40,95	38,98	10,08	2,27	0,74	0,41	0,66	0,25	0,38	0,54

Cancel OK

Fig. 3

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Jeżeli każdy z czterech przyrządów mierzy z rozdzielczością 12 bitów, co znaczy, że zakres pomiarowy jest podzielony na 4096 klas wymiarowych, to sumarycznie otrzymamy podział całego zakresu pomiarowego od 10 μm do 100 mm na ponad 16 000 klas wymiarowych (umownych sit). W rzeczywistości klas wymiarowych jest mniej, ponieważ zakresy pomiarowe przyrządów zachodzą na siebie. Eliminuje to całkowicie wpływ jakości użytych dwóch rzeczywistych sit, na których rozdzielono całą próbkę na 3 grupy frakcji. Do krzywej uziarnienia dodaje się wagę lub rozkład materiału poniżej 75 μm. Rozkład uziarnienia zostaje złożony proporcjonalnie do udziałów wagowych rozdzielonych grup frakcji.

SPOSÓB REALIZACJI METODY POMIAROWEJ

System pomiarowy może składać się z dowolnej liczby aparatów połączonych indywidualnie z komputerem sterującym i rejestrującym. Każdy komputer przyrządu pomiarowego połączony jest z komputerem centralnym pełniącym rolę serwera (Fig. 4). Oprogramowanie systemu pomiarowego zapewnia dostęp do wyników pomiarów znajdujących się na serwerze i sumowanie ich w dowolnym komputerze podłączonym do tej sieci. Przedstawiona metoda pomiaru wielokrotnie przyspiesza i ułatwia badania uziarnienia.

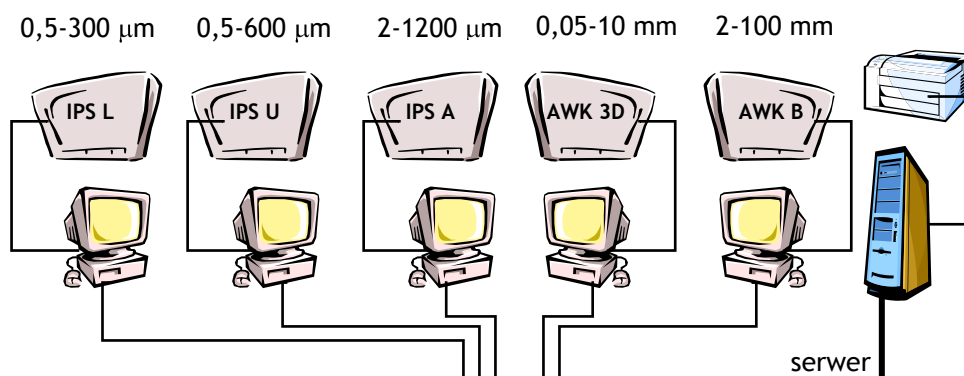


Fig 4

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Zamieszczony w Tab. 2 zespół przyrządów może być zastosowany do obliczenia wyników analizy i otrzymania wykresu uziarnienia praktycznie dla wszystkich geomateriałów. Jeśli użytkownikowi brakuje któregoś z urządzeń, to może go zastąpić tradycyjną analizą sitową, a wyniki w postaci wymiaru sita i wagi zawartości na nim wpisuje się bezpośrednio do programu.

Nazwa Przyrządu	Sposób pomiaru	Zakres Pomiaru	Zastosowanie
Type of analyser	Way of measurement	Measurement range	Application
IPS L	na mokro	0,5 – 300 μm	pomiar frakcji bardzo drobnej, głównie ilowej znajdującej się w gruntach spoistych
	wet		measurement of very fine fraction, mainly clay from cohesive soil
IPS U	na sucho	0,5 – 600 μm	pomiar frakcji bardzo drobnej, głównie ilowej oraz drobnoziarnistych piasków
	dry		measurement of very fine fraction, mainly clay and fine-grained sands
IPS A	na sucho	2- 1200 μm	pomiar frakcji drobnej, głównie pyłowej oraz drobno- i średnioziarnistych piasków

	dry		measurement of fine fraction, mainly silt and fine-grained or medium grained sands
AWK 3D	na sucho	0,05 - 10 mm	pomiar piasków i żwirów
	dry		measurement of sands and gravels
AWK B	na sucho	2 – 100 mm	pomiar piasków, żwirów i kamieni
	dry		measurement of sands, gravels and cobbles

Tab. 2

S. Kamiński, J. Trzcziński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Oprogramowanie systemowe zapewnia uzyskanie niezbędnych wyników pomiarów z serwera, zsumowanie ich w dowolnym komputerze podłączonym do sieci i wydruk krzywej uziarnienia. Do krzywej uziarnienia dołączona może być tabela wyników dla maksymalnie 45 sit o dowolnych wymiarach oraz obliczone dodatkowe parametry charakteryzujące materiał mineralny. Na ilustracji przedstawiono przykład składu granulometrycznego i krzywej uziarnienia materiału mineralnego mierzonego na 3 różnych analizatorach (Fig. 5).

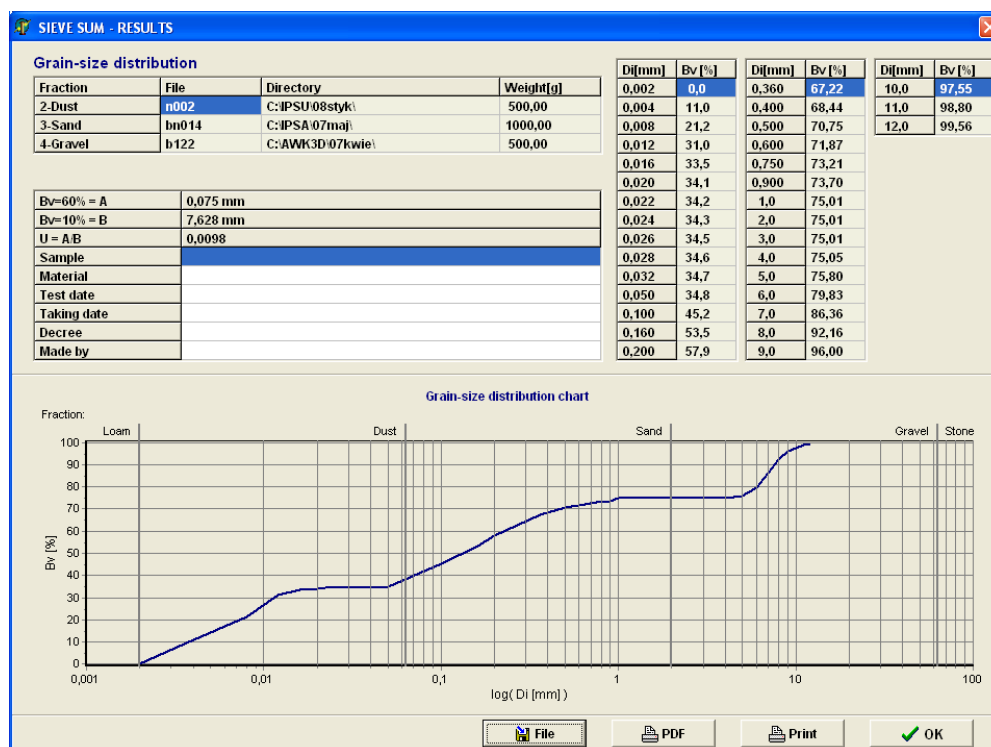


Fig. 5

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Przedstawiona powyżej metoda pomiaru powinna wielokrotnie przyspieszyć i ułatwić sposób uzyskania krzywej uziarnienia i automatycznie określać zgodność geomateriału z różnymi normami, np. PN-ISO 565: 2000, PN-B-04481: 1988, PN-EN ISO 14688-2: 2006.

System pomiarowy tego typu używany jest obecnie do badań uziarnienia gruntów i skał oraz różnego typu geomateriałów w laboratorium Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego (np. Gotowiec 2006, Jagliński 2006).

DODATKOWE MOŻLIWOŚCI URZĄDZEŃ POMIAROWYCH

Analizatory AWK 3D i AWK B są przyrządami specjalnej konstrukcji mierzącymi ziarna trójwymiarowo (3D). Na ilustracji przedstawiono wyniki pomiarów kształtu cząstek określone według klasyfikacji Zingga (Fig. 6).

Zingg vol. table

Zingg classification - Volume [%]

b/a \ c/b	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0
0,9-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,33	2,31	11,36	22,78	23,94
0,8-0,9	0,00	-	0,00	0,00	0,01	0,08	0,69	3,40	10,32	16,14
0,7-0,8	0,00	0,00	-	0,00	0,01	0,02	0,15	0,68	2,22	4,64
0,6-0,7	0,00	-	0,00	-	-	0,00	0,02	0,05	0,22	0,54
0,5-0,6	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
0,4-0,5	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
0,3-0,4	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	0,00	0,01
0,2-0,3	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	-	0,00
0,1-0,2	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,0-0,1	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,00

Shapes' distribution : b/a = 0,67 : c/b = 0,67 Volume c/a < 0,33 0,02 %

Shape	Percent
Sphere	97,52
Discus	2,03
Cylinder	0,44
Blade	0,01

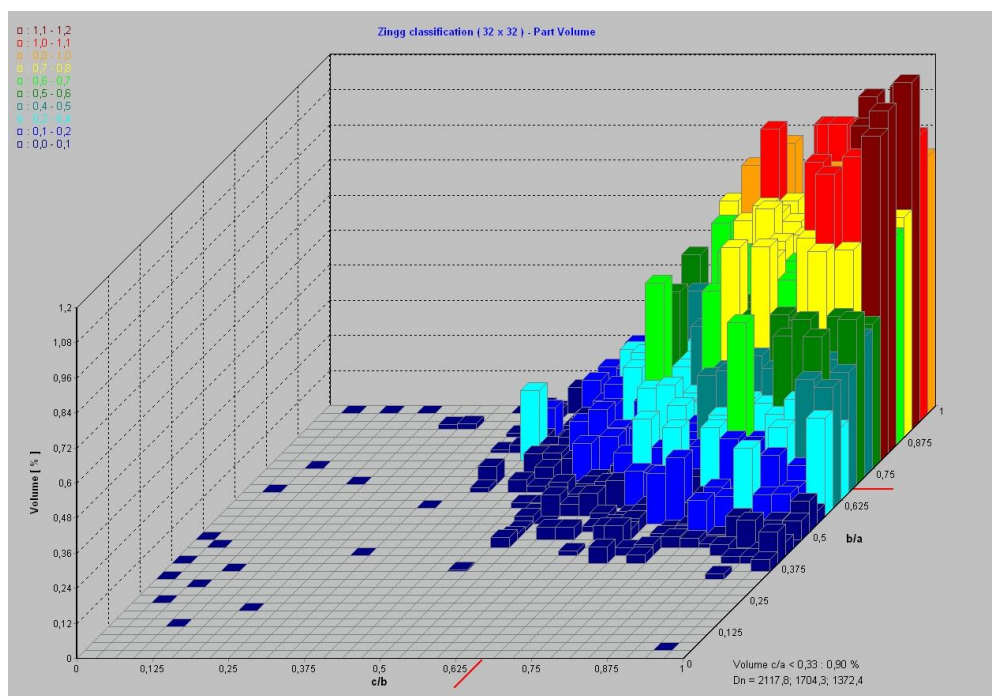


Fig. 6

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

Dodatkowymi informacjami o parametrach i wskaźnikach uziarnienia określanymi na podstawie wyników analiz są: nazwa geotechniczna gruntu wg klasyfikacji polskiej normy PN-B-04481: 1988 i PN-EN ISO 14688-2: 2006, wskaźnik niejednorodności uziarnienia, średnia średnica ziaren, odchylenie standardowe, skośność i kurtoza. Informacje te pozwalają na szerszą interpretację wyników badań uziarnienia pod kątem geologiczno-inżynierskim i sedimentologicznym. Wymienione parametry uzyskuje się w wynikach z programu, które przedstawiono na Fig. 7. Możliwe jest uzyskanie jeszcze innej charakterystyki uziarnienia w zależności od potrzeb użytkownika. Przyrządy IPS L, IPS U/A mogą dodatkowo określać powierzchnię właściwą i kształt cząstki dwuwymiarowo (2D).

Classification						
D [μm]	d<=2	2<d<=50	50<d<=250	250<d<=500	500<d<=2000	2000<d
Bv [%]	0,0	0,0	0,0	22,2	77,8	0,0

Result: piasek gliniasty

Table Geo1

Bv	Length [l]		Width [s]		Thickness [h]	
	d	fi	d	fi	d	fi
1	1133,4	-0,18	1055,5	-0,08	1260,3	-0,33
5	897,6	0,16	939,7	0,09	1059,3	-0,08
16	771,0	0,37	845,6	0,24	911,9	0,13
25	714,1	0,49	796,6	0,33	846,5	0,24
50	590,0	0,76	699,6	0,52	722,4	0,47
75	507,8	0,98	622,1	0,68	617,2	0,70
84	482,1	1,05	595,4	0,75	576,7	0,79
95	443,8	1,17	551,0	0,86	507,0	0,98
s/l	0,96					
h/s	0,80					

Table Geo2

	Length [l]	Width [s]	Thickness [h]
A	0,49	0,33	0,24
B	0,76	0,52	0,47
C	0,98	0,68	0,70
Mz	0,73	0,50	0,47
Sig1	0,32	0,24	0,33
Sk1	-0,17	-0,09	-0,03
Mz/Sig1	2,26	2,06	1,43
C/M	1,92	1,51	1,74
kG	0,85	0,88	0,96

Fig. 7

S. Kamiński, J. Trzcíński 2008 - Optyczno-elektroniczny sposób określania składu granulometrycznego gruntów i możliwości zastosowania w geologii inżynierskiej

PODSUMOWANIE

Wykorzystywanie tradycyjnych metod pomiaru składu granulometrycznego różnorodnych geomateriałów w badaniach i praktyce geologicznej, a szczególnie geologiczno-inżynierskiej jest trudne manualnie i pracochłonne. Tradycyjne metody pomiaru, np. analiza sitowa czy areometryczna mogą powodować błędy i niedokładności związane ze sposobem pomiaru. Pomiaru te mogą być zastąpione przez optyczno-elektroniczną analizę wymiarów Elsieve i kształtów 3D ziaren o wymiarach od 0,5 μm do około 100 mm oraz innych parametrów uziarnienia.

Zbiór ziaren jest liczbowo tak duży i zróżnicowany pod względem wielkości, że pojedyncze urządzenie pomiarowe nie wykona takich pomiarów. Dlatego do pomiaru należy użyć systemu pomiarowego złożonego z kilku urządzeń. Całą próbkę należy podzielić na kilka części (zakresy frakcji) i przygotować z nich reprezentatywne próbki do pomiaru. Rozkład uziarnienia sumowany jest proporcjonalnie do udziałów wagowych poszczególnych zakresów frakcji.

System pomiarowy składa się z kilku aparatów połączonych indywidualnie z komputerem sterująco-rejestrującym, który sprzężony jest z serwerem. Oprogramowanie systemu zapewnia sumowanie pomiarów w dowolnym komputerze podłączonym do powstałej sieci. Przedstawiona metoda pomiaru wielokrotnie przyspiesza i ułatwia badania uziarnienia.

LITERATURA

- Gotowiec T., 2006. *Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne ilów warwowych na północny zachód od Radzimina*. Praca magisterska. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1-97.
- Jagliński K., 2006. *Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne ilów warwowych na północny wschód od Radzimina*. Praca magisterska. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1-124.
- Kamiński S., 2007. *ELSIEVE Optyczno-elektroniczna symulacja pomiarów mikroziarn powyżej 0,5 μm według sit mechanicznych*. www.kamika.pl.
- Kamiński S. & Kamińska D., 2007. Porównanie optyczno-elektronicznych metod pomiaru granulacji. *Aparatura Badawcza i dydaktyczna*, 12, 2-3, Warszawa, 85-93.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. W: Mycielska-Dowgiałło E. & Rutkowski J. (eds), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*: 29-105. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1-63.
- PN-ISO 565: 2000. Sita kontrolne. Tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie. Wymiary nominalne oczek. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1-6.
- PN-EN 12620: 2004 Kruszywa do betonu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1-50.
- PN-EN ISO 14688-2: 2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1-19.