

OPTYCZNO-ELEKTRONICZNY SPOSÓB OKREŚLANIA SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO GRUNTÓW I MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA W GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

**Optical-electronic way of soil grain size composition determination
and it's possible application in engineering geology**

Stanisław KAMIŃSKI¹ & Jerzy TRZCIŃSKI²

¹*Kamika Instruments; ul. Strawczyńska 16, 01-473 Warszawa;*

e-mail: info@kamika.pl

²*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii; ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa;*

e-mail: jerzy.trzcinski@uw.edu.pl

Treść: Obecnie istnieją już techniczne możliwości uniknięcia trudnych manualnie i pracochłonnych pomiarów składu granulometrycznego gruntów (np. analiza sitowa czy areometryczna). Parametr ten można badać za pomocą urządzeń optyczno-elektronicznych 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.

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

Abstract: Nowadays there are available technical possibilities to avoid manually difficult and work-consuming measurements of soil grain composition (e.g. sieve or sedimentation analysis). Such measurements can be replaced by optical-electronic instruments called Elsieve that are more common in Poland. The instruments are used for determination of grain-size distribution of gains and particles with diameter form 0.5 μm to 100 mm. Additionally there is possibility to determine shape of grains by 3D measurements and other graining parameters. The measuring system can consist of any number of instruments, connected with recording computer. Every computer of any measuring instruments is connected with the server. The created network allows to save measuring results at computer that works with particular instrument and at other computers. Such a system is used for measurements of soil and other geomaterials grain composition in laboratory at Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Faculty of Geology, University of Warsaw.

Key words: grain composition, grain-size distribution, Elsieve – system of optical-electronic analyzers, measurement of particles size, simulation of sieve and sedimentation analysis, 3D analysis of particles' shape

WSTĘP

Dotychczas w badaniach oraz 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, zalecanych przez normy PN-88/B-04481:1988 i PN-EN ISO 14688-2:2006. Ponadto norma PN-EN ISO 14688-2:2006 zezwala na 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. Pomiary te mogą być zastąpione przez optyczno-elektroniczną analizę wymiarów Elsieve i określenie 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

Podczas pomiaru za pomocą 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 zważone na sicie o oczkach minimalnego wymiaru elipsy. Masa zważonych 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. Pomiędzy 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 opisaną poniżej 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 mikrometrów do kilkudziesięciu milimetrów. Zbiór elementów takiego mate-

riału 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 ma 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 $10\% \pm 1\%$ 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 pod względem liczebności tak duży, że żadne pojedyncze urządzenie pomiarowe nie może być użyte do jego zmierzenia w rozsądnym wymiarze czasu. Zadanie to można rozwiązać dzięki zastosowaniu określonego sposobu pomiaru.

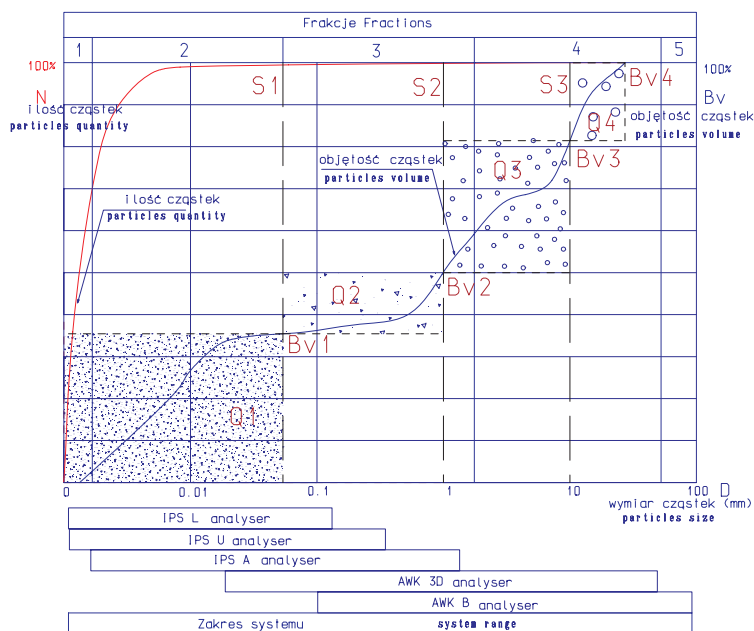
Tabela (Table) 1

Równoważność wagowa cząstek

Particles' weight equivalence

| Rozmiar ziaren mniejszych od fragmentu o wielkości 63 mm <i>Size of grains smaller than 63 mm particle</i> | Liczba cząstek mniejszych i równoważnych wagowo fragmentowi o wielkości 63 mm <i>Number of particles, that weight is equal to weight of one 63 mm particle</i> |
|---|---|
| 10 mm | 250 |
| 1 mm | 250 047 |
| 100 μm | 25 004 700 |
| 10 μm | 250 047 000 000 |

Przed pomiarem, jeśli w próbce znajdują się drobne cząstki, badaną próbkę należy rozmoczyć, a następnie powstałą zawiesinę razem z frakcjami grubszyimi 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. 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.



$$SQ = Q1 + Q2 + Q3 + Q4$$

$$Bv = Bv1 * Q1 / SQ + Bv2 * Q2 / SQ + Bv3 * Q3 / SQ + Bv4 * Q4 / SQ$$

| | | | |
|-----|---|----------------|---|
| 1 | ilowa | 1 | clay |
| 2 | pyłowa | 2 | silt |
| 3 | piaskowa | 3 | sand |
| 4 | żwirowa | 4 | gravel |
| 5 | kamienista | 5 | cobble |
| S1 | sito 0.063 | sieve 0.063 | |
| S2 | sito 1.0 | sieve 1 | |
| S3 | sito 10.0 | sieve 10 | |
| Q | ciężar frakcji | 1 | Fraction weight Q |
| Bv | udział objętościowy frakcji | 2 | Cumulative distribution of particle volume Bv |
| Q1 | waga frakcji < 0.063 | Q1 | fraction weight < 0.063 |
| Q2 | waga frakcji 0.063- 1 | Q2 | fraction weight 0.063- 1 |
| Q3 | waga frakcji 1 - 10 | Q3 | fraction weight 1- 10 |
| Q4 | waga frakcji > 10 | Q4 | fraction weight > 10 |
| Bv1 | Cumulative distribution of particles smaller than 0.063 | | |
| Bv2 | Cumulative | 1 | |
| Bv3 | Cumulative | 10 | |
| Bv4 | Cumulative | bigger than 10 | |

Fig. 1. Sposób podziału próbki geomateriału na frakcje

Fig. 1. Way of geomaterials division into fractions

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. W celu przedstawienia rozmiarów sumowania z poszczególnych pomiarów na figurze 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 figura 3 obrazująca wprowadzenie danych z każdego pomiaru.

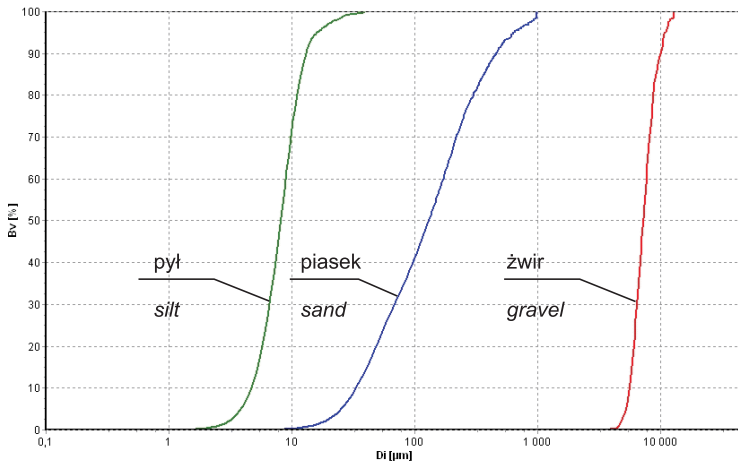


Fig. 2. Wyniki pomiarów podstawowych frakcji zmierzonych przez trzy analizatory: D_i – wymiar cząstek, B_v – udział objętościowy frakcji

Fig. 2. Results of basic fractions' measurements made by three analyzers: D_i – particles size, B_v – cumulative distribution of particles volume

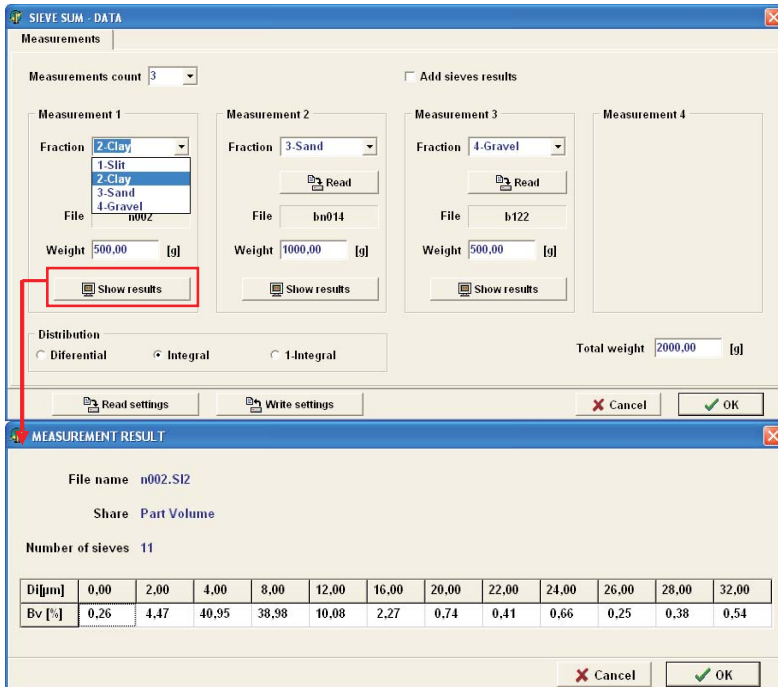


Fig. 3. Element programu sumującego wyniki z analizatorów użytych do pomiaru

Fig. 3. Part of software, that sums measuring results from used analyzers

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 trzy 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).

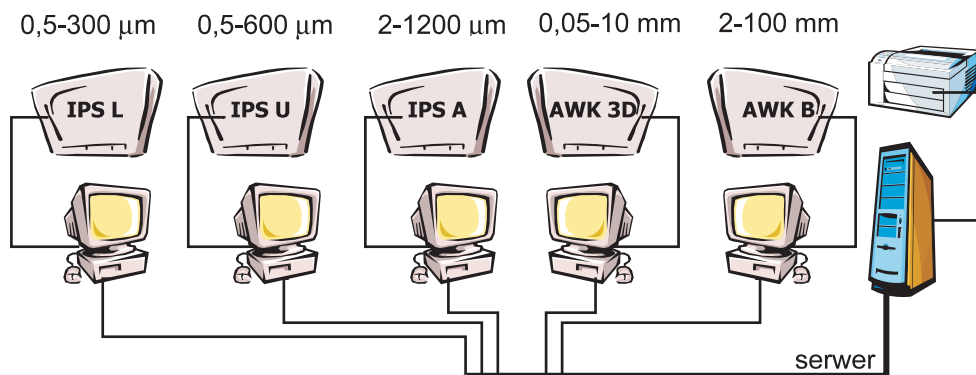


Fig. 4. System pomiarowy do analizy uziarnienia geomateriałów w zakresie 0,5 μm – 100 mm, składający się z poszczególnych typów analizatorów: IPS L, IPS U, IPS A, AWK 3D, AWK B

Fig. 4. Measuring system for determination of grain size distribution of geomaterials in range from 0.5 μm up to 100 mm, system consists of different types of analysers: IPS L, IPS U, IPS A, AWK 3D, AWK B

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.

Opisany w tabeli 2 zespół przyrządów może być zastosowany do obliczenia wyników analizy i sporządzania wykresu uziarnienia niemal wszystkich geomateriałów. Jeśli użytkownikowi brakuje któregośkolwiek urządzenia, to może go zastąpić tradycyjną analizą sitową, a wyniki w postaci wymiaru sita i wagi zawartości na nim wpisuje się bezpośrednio do programu.

Tabela (Table) 2

Lista przyrządów, które mogą tworzyć system pomiarowy do analizy granulometrycznej gruntu

List of instruments, that can be part of measuring system for analysis of soil grain composition

| Nazwa przyrządu <i>Type of analyser</i> | Sposób pomiaru <i>Way of measurement</i> | Zakres pomiaru <i>Measurement range</i> | Zastosowanie / <i>Application</i> |
|--|---|--|--|
| IPS L | na mokro <i>wet</i> | 0.5–300 μm | pomiar frakcji bardzo drobnej, głównie ilowej znajdującej się w gruntach spoiwystych <i>measurement of very fine fraction, mainly clay from cohesive soil</i> |
| IPS U | na sucho <i>dry</i> | 0.5–600 μm | pomiar frakcji bardzo drobnej, głównie ilowej oraz drobnoziarnistych piasków <i>measurement of very fine fraction, mainly clay and fine-grained sands</i> |
| IPS A | na sucho <i>dry</i> | 2–1200 μm | pomiar frakcji drobnej, głównie pyłowej oraz drobno- i średnioziarnistych piasków <i>measurement of fine fraction, mainly silt and fine-grained or medium grained sands</i> |
| AWK 3D | na sucho <i>dry</i> | 0.05–10 mm | pomiar piasków i żwirów <i>measurement of sands and gravels</i> |
| AWK B | na sucho <i>dry</i> | 2–100 mm | pomiar piasków, żwirów i kamieni <i>measurement of sands, gravels and cobbles</i> |

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 trzech różnych analizatorach (Fig. 5).

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).

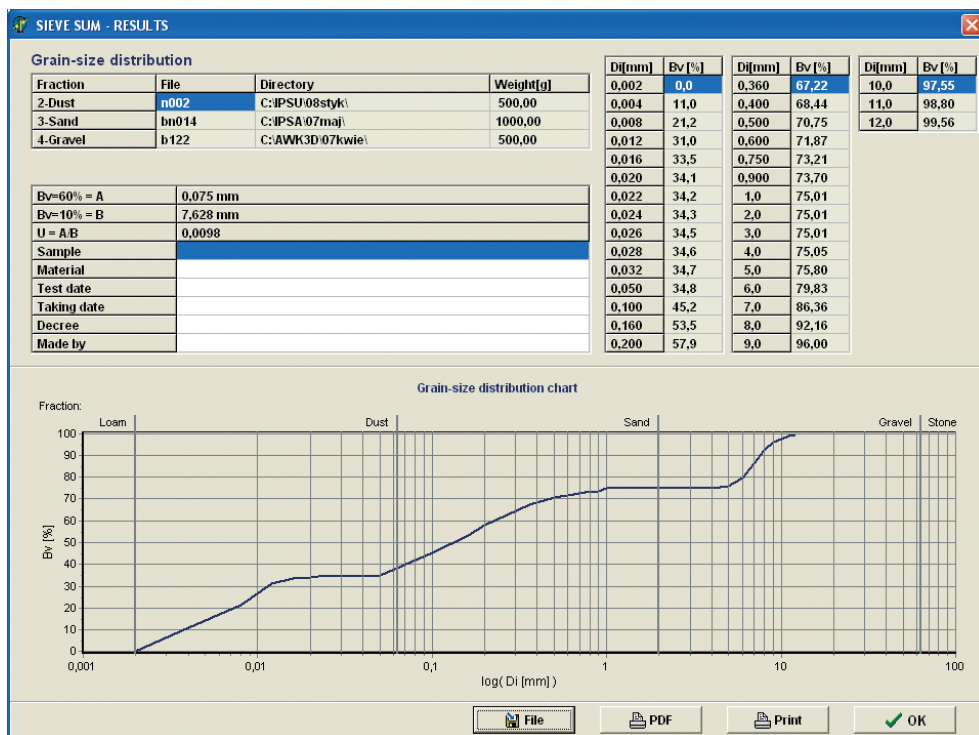


Fig. 5. Krzywa uziarnienia uzyskana z pomiarów na trzech analizatorach

Fig. 5. Grain size distribution made by three analyzers measurements

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 Zingg'a (Fig. 6 na wklejce).

Dodatkowymi informacjami o parametrach i wskaźnikach uziarnienia określanych 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 figurze 7 (na wklejce).

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).

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 |

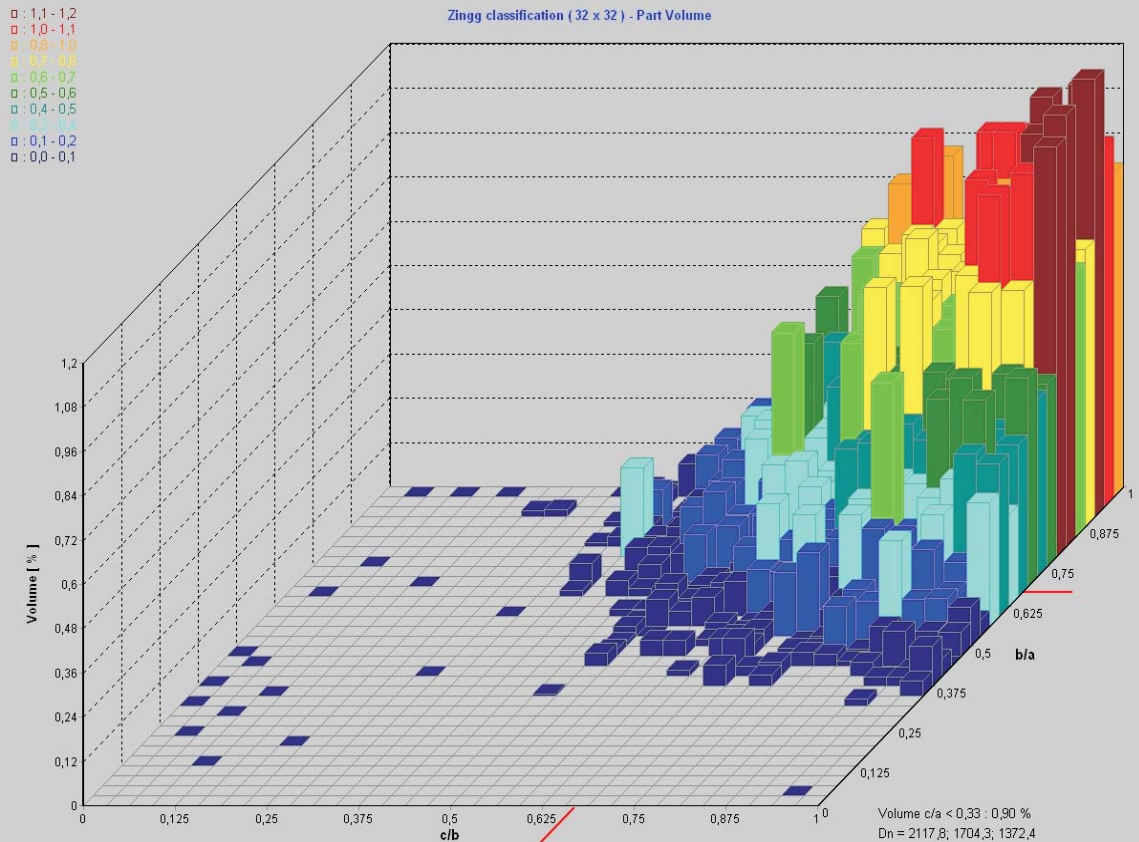


Fig. 6. Ocena kształtu ziaren próbki geomateriału z zastosowaniem klasyfikacji Zingg

Fig. 6. Geomaterials shape analysis according to Zingg classification

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. Dodatkowe parametry charakteryzujące geomateriały obliczane na podstawie pomiarów 3D

Fig. 7. Additional parameters calculated based on 3D measurements for geomaterials characterization

PODSUMOWANIE

Wykorzystywanie tradycyjnych metod pomiaru składu granulometrycznego różnorodnych geomateriałów w badaniach oraz 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. Pomiary 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 pod względem liczności tak duży i tak 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*. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1–97 (praca magisterska).
- Jagliński K., 2006. *Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne ilów warwowych na północny wschód od Radzimina*. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1–124 (praca magisterska).
- Kamiński S., 2007. *ELSIEVE. Optyczno-elektroniczna symulacja pomiarów mikroziarn powyżej 0,5 μm według sit mechanicznych*. [online:] 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-Dowgiało E., 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. W: Mycielska-Dowgiało E. & Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 29–105.
- 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.

Summary

Nowadays there are available technical possibilities to avoid manually difficult and work-consuming measurements of soil grain composition (e.g. sieve or sedimentation analysis). Such measurements can be replaced by optical-electronic instruments called Elsieve that are more common in Poland and around the world. The instruments are used for determination of grain-size distribution of gains and particles with diameter from 0.5 μm to 100 mm (Figs 1, 2).

It must be considered if there is any way and how to measure material that consists of gains and particles with different size, e.g. from few μm to several dozen mm. Number of elements of such materials is numerically so big (Tab. 1), so single electronic instrument cannot be used. This problem can be solved by using for measuring a system that consists of several instruments. A sample is divided to parts (fraction range) and the representative samples are prepared. Particular measurements are made independently. The grain-size distribution is summed up proportional to weight fraction of every part (Figs 3–5). Additionally there is possibility to determine shape of grains by 3D measurements and other grain-ing parameters (Figs 6, 7).

The measuring system can consist of any number of instruments, connected with recording computer. Every computer of any measuring instruments is connected with other computers and with the server. The created network allows to save measuring results at the same time at computer that works with particular instrument and at other computers (Tab. 2). Such a system is used for measurements of soil and other geomaterials grain composition in laboratory at Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Faculty of Geology, University of Warsaw.

The software of measuring system secures access to measuring results that are saved at server and summation at any computer in the network. Presented measuring method repeatedly speed up and facilitate the grain-ing determination.