

11th Baltic Sea Geotechnical Conference GEOTECHNICS IN MARITIME ENGINEERING

Gdansk, Poland

15–18 September 2008



Automatyczna analiza wielkości i kształtu ziaren 3D z zastosowaniem analizatorów optyczno elektronicznych

Stanisław Kamiński

Dorota Kamińska

KAMIKA Instruments, Poland

Jerzy Trzcíński

University of Warsaw, Faculty of Geology, Poland

ABSTRAKT: Znajomość oraz możliwość pomiaru wielkości i kształtu ziaren 3D jest niezwykle ważna w badaniach podstawowych, jak również praktyce. Wiedza ta znajduje szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach geologii (sedymetologii, petrologii, mineralogii, hydrogeologii, geologii inżynierskiej, gruntoznawstwie czy mechanice gruntów), w geotechnice i hydrotechnice oraz jest często stosowana w analizie geomateriałów dla różnych gałęzi przemysłu, np.: geomateriałów stosowanych w budownictwie czy drogownictwie. Do tego typu analiz stosuje się najczęściej bardzo pracochłonne metody pomiarowe. Zastosowanie automatycznego pomiaru wielkości i kształtu ziaren 3D z zastosowaniem analizatorów optyczno elektronicznych, np. analizatora AWK 3D przyspiesza takie pomiary i czyni je dokładniejszymi. Użyta do analizy kształtu ziaren klasyfikacja Zingga jest powszechnie znana i stosowana w badaniach oraz może być z powodzeniem wykorzystywana w praktyce. Otrzymane podczas pomiaru wyniki pozwalają obliczyć wiele dodatkowych parametrów uziarnienia potrzebnych w szeroko pojętych badaniach i praktyce.

1. WSTĘP

Określenie wielkości i kształtu ziaren jest niezwykle użyteczne w badaniach naukowych oraz przy zastosowaniu geomateriałów dla celów praktycznych (Giriat et al., 2007, Mycielska-Dowgiałło, 1995). W literaturze światowej do analizy kształtu ziaren

wykorzystywana jest najczęściej klasyfikacja Zingga (1935). Na podstawie tej klasyfikacji wyróżnia się cztery podstawowe formy (kształty) ziaren: dysk, kulę, klingę i walec (Fig. 1). Znając trzy wymiary ziarna skorelowane z trzema głównymi osiami, a mianowicie oś długa - długość a , oś średnia - szerokość b , oś krótka - grubość c , oraz

opierając się na stosunku b/a i c/b tych osi, wymienione kształty zdefiniowane są w następujący sposób: dysk ($b/a > 2/3$ i $c/b < 2/3$), kula ($b/a > 2/3$ i $c/b > 2/3$), klinga ($b/a < 2/3$ i $c/b < 2/3$), walec ($b/a < 2/3$ i $c/b > 2/3$).

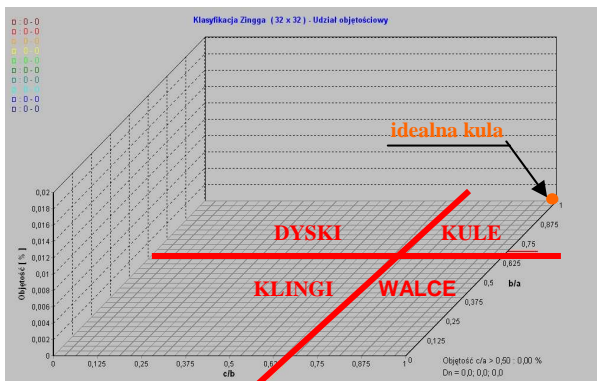


Fig. 1 Diagram pokazujący klasyfikację Ziingga

Tak zdefiniowane kształty zajmują na diagramie oddzielne pola. W literaturze używa się ponadto inne terminy dla określenia kształtu ziaren, np. elipsoidalny, wrzecionowaty, dyskoidalny (Gradziński et al., 1986).

Wielkość ziaren, dla których wykonujemy pomiary ich kształtu zależy od frakcji występujących w badanym materiale naturalnym lub jakimkolwiek innym materiale, który chcemy wykorzystać dla celów praktycznych. Wybrane do analizy frakcje (wielkości ziaren) powinny być reprezentatywne dla badanego materiału. Rozwiązaniem najlepszym jest określenie wielkości i kształtu ziaren wszystkich frakcji wstępujących w badanym materiale. Wielkość ziaren różnorodnych materiałów waha się najczęściej w przedziale od części milimetra do kilkudziesięciu centymetrów.

Pomiar i analiza wielkości i kształtu ziaren ma bardzo duże znaczenie badawcze, np. w geologii przy analizie genezy i procesów powstawania osadów klastycznych o różnym uziarnieniu. Również tego typu pomiary mają ogromne znaczenie praktyczne, np. w mechanice gruntów pozwalają pomóc w ocenie wpływu wielkości i kształtu ziaren na

właściwości fizyczne i mechaniczne materiałów sypkich.

2. SPOSOBY SZYBKIEGO POMIARU TRÓJWYMIAROWEGO

Trójwymiarowy obraz można uzyskać przy pomocy optycznego, połowego skanera 3D. Skomplikowany system wykorzystuje dane ze skanera w postaci chmur punktów, które przy pomocy złożonych algorytmów trzeba przetworzyć. Przetwarzanie to rozłożone na kilka etapów nie nadaje się do pomiaru „on-line” dla szybkiej oceny kształtu uziarnienia. Na przeszkodzie w rozpowszechnieniu się powyżej wspomnianej metody badań zawsze stał problem szybkiego i automatycznego trójwymiarowego (3D) pomiaru kształtu ziaren. Pomiary takie można wykonać przy pomocy różnych metod, np. fotografując za pomocą dwóch kamer lub skanując ziarna z zastosowaniem dwóch przetworników optyczno elektronicznych. Stosując do pomiaru kamery, należy wykorzystać skomplikowane analizy dwóch ciągów poruszających się obrazów ziaren, które muszą być poprawnie ułożone względem obiektywów kamer. Jest to metoda droga i trudna do powszechnego wykorzystania oraz mało wydajna.

Dużo wygodniejsza w użyciu jest metoda skanowania spadającego ziarna, która wykorzystywana jest w analizatorach optyczno elektronicznych, np. analizatorze AWK 3D (Fig. 2).



Fig.2 Analizator AWK 3D

W tego typu analizatorach dwa wymiary otrzymuje się na podstawie pomiarów przetworników, a trzeci wymiar określa się na podstawie ilości skanowań. Kierunek i sposób spadania regulowany jest przez specjalnie ukształtowaną rynnę, po której ziarna przesyłane są z zasobnika do przestrzeni pomiarowej. Duża częstotliwość skanowań, rzędu 500 kHz i 12-bitowa rozdzielczość pomiarów zapewnia dokładność tej metody pomiarowej.

Na podstawie pomierzonych wymiarów ziaren można je segregować według przedziałów (klas) wymiarowych, zgodnie z analizą sitową. Oprócz tego wykonane pomiary umożliwiają wszelkie analizy ilościowo-wymiarowe.

3. OPIS METODY POMIAROWEJ

W analizatorze AWK 3D stworzona jest płaszczyzna optyczna (przestrzeń pomiarowa), wspólna dla dwóch jednakowych przetworników optycznych usytuowanych do siebie prostopadle (Fig. 3). Przy pomocy takich przetworników można uzyskać ciąg wyników opisujących profile powierzchni poruszającego się ziarna z dwóch kierunków i jednakową długość tych profili w trzecim kierunku.

Przetwornik optyczny (Fig. 3) składa się z promiennika [1] oświetlającego układ optyczny [2], który formuje równoległą wiązkę promieniowania [3] o grubości kilkuset μm . Układ optyczny [4] skupia promieniowanie wiązki [3] na fotoelementie [5]. Przestrzeń pomiarowa zawarta jest pomiędzy układem optycznym [2] i [4]. Jeżeli przez przestrzeń pomiarową spadnie ziarno, to spowoduje ono rozproszenie promieniowania i zmianę natężenia prądu płynącego przez fotoelement. Zmiana natężenia będzie proporcjonalna do wymiaru spadającego elementu.

Trzy wymiary każdego ziarna są zapisywane w macierzy, np. 126^3 , co równe jest ponad dwóm milionom różnych kombinacji wymiarów. Ponadto profil każdego ziarna jest

analizowany w czasie rzeczywistym, co daje precyzyjną informację o objętości i kształcie ziarna.

Powierzchnia pomiarowa analizatora AWK 3D może być dowolnie duża. Ze względów praktycznych ograniczono ją do wymiarów 40x40 mm, w której można zmierzyć ziarna o maksymalnej wielkości około 30 mm.

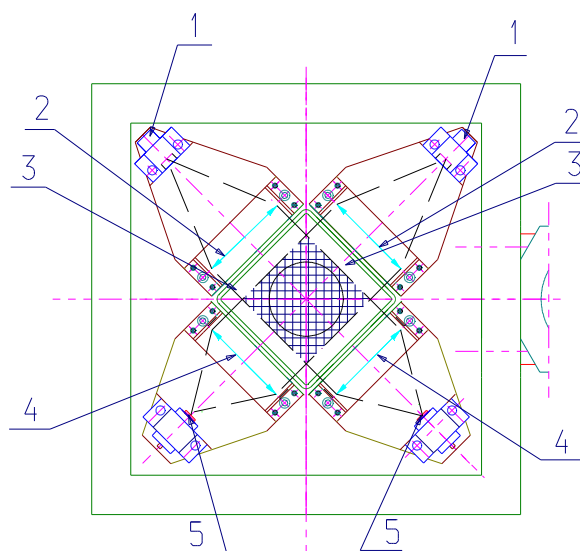


Fig. 3 Sonda pomiarowa AWK 3D
(opis oznaczeń w tekście)

Dla płynnego pomiaru wielu ziaren został opracowany dozownik z uchylną i wibracyjną rynną. Rynna stabilizuje sposób opadania ziaren przez przestrzeń pomiarową. Częstotliwość i amplituda drgań rynny jest sterowana przez program komputerowy. Wielkość tych parametrów jest zależna od liczby ziaren spadających i pomierzonych w przestrzeni pomiarowej w jednostce czasu, czyli prędkości pomiaru. Jeśli prędkość pomiaru wzrasta to częstotliwość i amplituda drgań rynny zmniejszają się. Następuje ograniczenie liczby spadających ziaren oraz automatyczne spowolnienie pomiaru. Sprzężenie amplitudy i częstotliwości drgań rynny z prędkością pomiaru służy wyrównaniu liczby spadających ziaren przez przestrzeń pomiarową do wartości niepowodującej koincydencji ziaren podczas pomiaru.

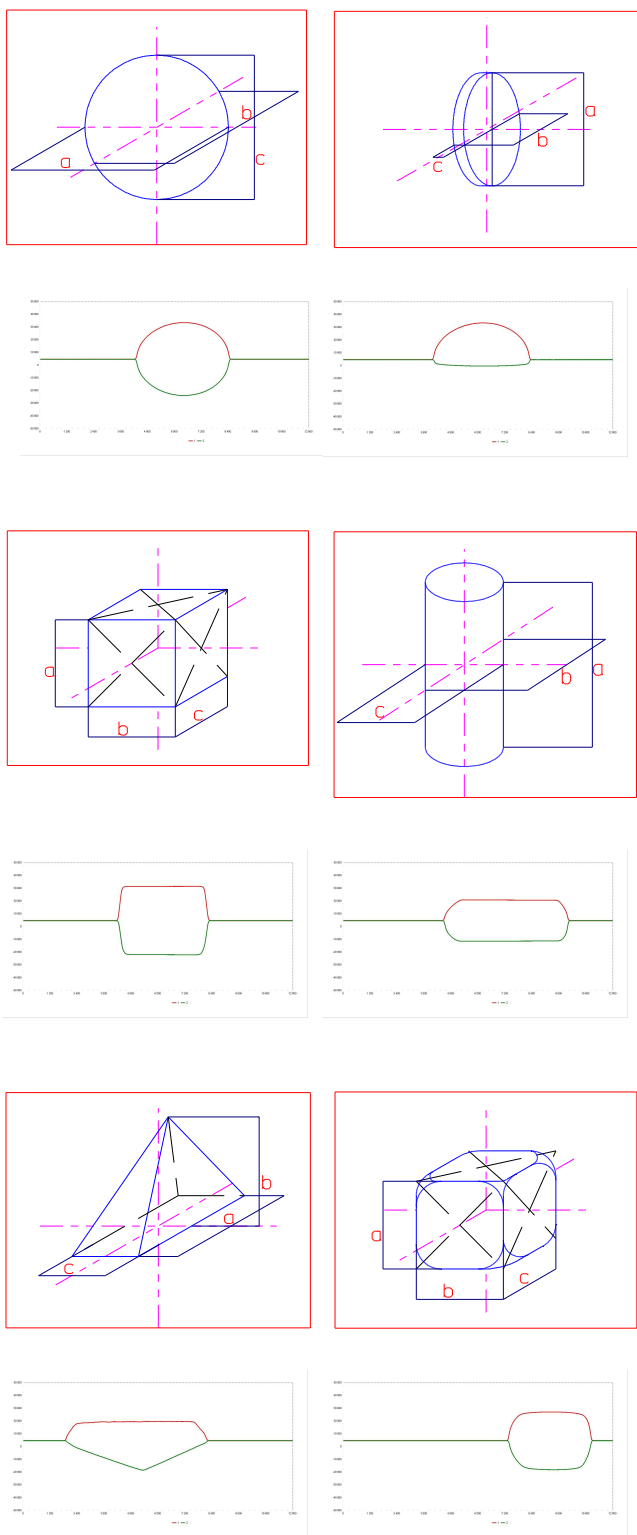


Fig. 4 Zeskanowane kształty wzorców zapisane w komputerze

Na Fig. 4 podano kilka wybranych przykładów zeskanowanych kształtów wzorców, według których sprawdza się poprawność działania analizatora AWK 3D. Każde ziarno można zidentyfikować według

kształtu i wymiarów, które są zapisane w pamięci komputera. Dla szczególnie dokładnych analiz można cały proces pomiarowy zapisać na dysku komputera i następnie wielokrotnie go odtwarzać analizując na różne sposoby geometrię ziaren. Dane takiej analizy przedstawione są na Fig. 5.

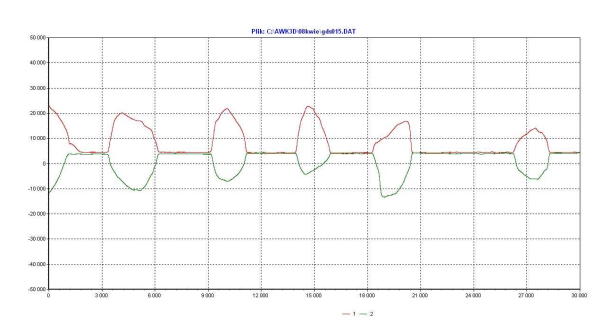
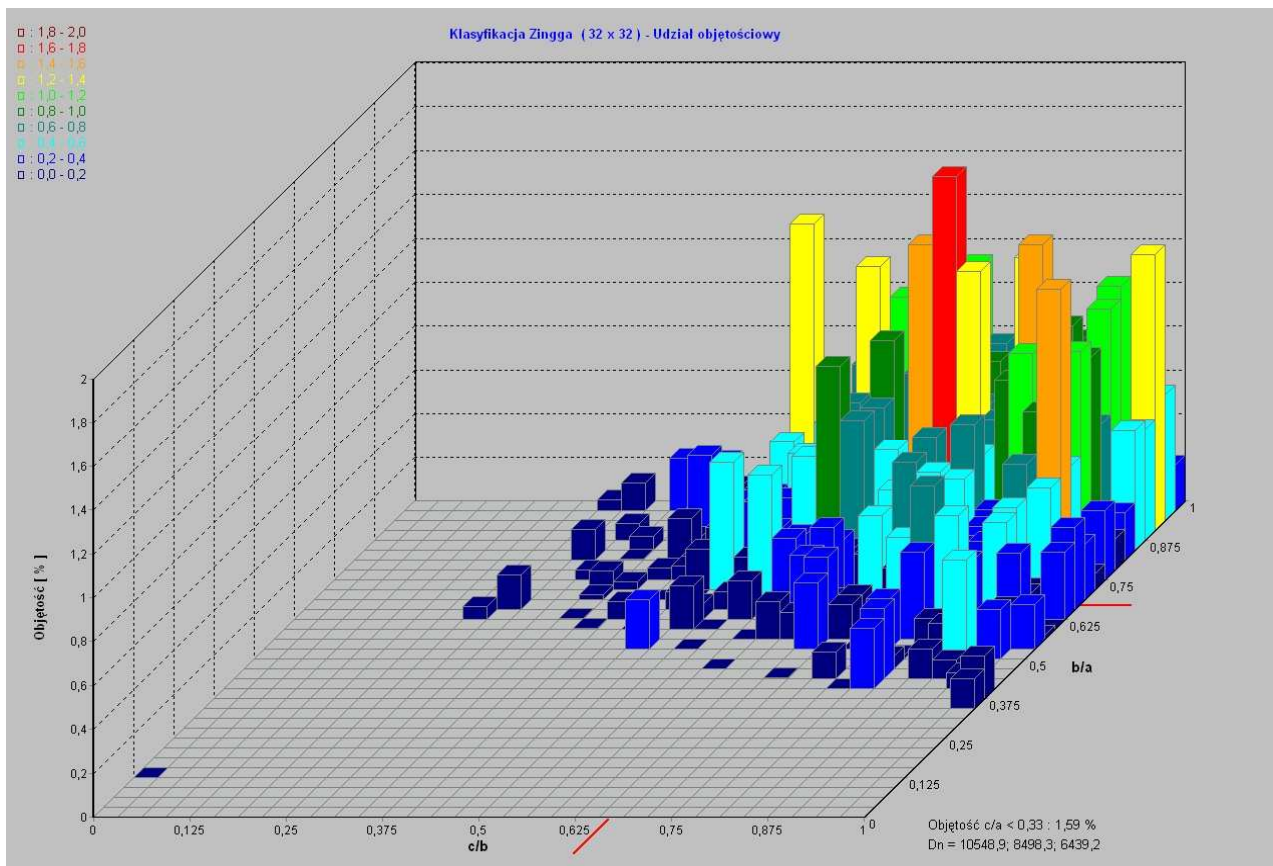


Fig. 5 Zapis zeskanowanego kształtu badanego uziarnienia

4. WYNIKI BADAŃ

Dla przeprowadzania typowej analizy, wykonywanej z dokładnością $\pm 1\%$, wystarczy posłużyć się 2 milionową matrycą kształtów ziaren. W każdym miejscu matrycy można zapisać dowolną liczbę ziaren, następnie na podstawie współrzędnych matrycy obliczyć ich objętość, kształt i udział objętościowy w całym zmierzonym rozkładzie ziaren. Dla oceny kształtu ziaren posłużono się klasyfikacją Zingga. Wyniki pomiarów przedstawiono na Fig. 6. Pod wykresem pokazane są wyniki tabelaryczne, gdzie podany jest procent objętości ziaren o różnych kształtach, sumaryczna objętość cząstek o kształcie kuli, walca, dysku i klingi (porównaj z Fig. 1). Dodatkowo wyliczona jest zawartość procentowa cząstek niekształtnych, tak samo jak przy pomocy suwmiarki Szulca.

Do wyników pomiaru dołączona jest analiza sitowa, obliczona według metody „ELSIEVE” symulującej wyniki pomiaru według sit mechanicznych (Kamiński and Kamińska, 2007; Kamiński and Trzciński, 2008 – in print).



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	-	-	0,18	0,34	0,75	4,07	6,17	5,05	6,18	6,40
0,8-0,9	-	-	0,14	0,14	1,32	2,20	4,71	7,96	7,35	7,45
0,7-0,8	-	-	-	0,19	0,40	3,20	3,55	4,03	6,12	5,61
0,6-0,7	-	-	0,22	0,00	0,16	0,55	1,28	1,19	3,19	3,74
0,5-0,6	-	-	-	0,01	0,23	0,00	0,29	1,07	0,80	1,88
0,4-0,5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,13	0,79	0,65
0,3-0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,1-0,2	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0-0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Shapes' distribution : b/a = 0,67 : c/b = 0,67

Volume c/a < 0,33 1,59 %

Shape	Percent
Sphere	63,72
Discus	23,48
Cylinder	11,21
Blade	1,59

Distribution on sieves - Volume [%]

	0	2000	4000	6300	8000	9500	12500	16000	20000
D	100,00	99,92	99,48	94,85	67,53	35,94	6,28	2,04	0,00

Fig. 6 Zebrane wyniki pomiarów wg analizy Zingg, suwmiarki Szulca (Volume = 1,59%) i analizy sitowej ELSIVE

Przedstawiony powyżej analizator AWK 3D, który wykonuje pomiary w zakresie wielkości ziaren od 0,05 do 30 mm, ze względu na swoją dokładność i uniwersalność może być urządzeniem wykorzystywanym przez specjalistów z wielu dyscyplin naukowych oraz używany do wielu zastosowań praktycznych.

Obecnie taki przyrząd jest z powodzeniem wykorzystywany w laboratorium Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego (Gotowiec, 2006; Jagliński, 2006).

5. PODSUMOWANIE

Pomiary wielkości i kształtu ziaren są niezwykle użyteczne w badaniach naukowych oraz dla celów praktycznych. Najczęściej stosowaną klasyfikacją pozwalającą przeprowadzić analizę kształtu ziaren jest klasyfikacja Zingga. Dotychczas stosowane metody pomiarowe są bardzo pracochłonne i mało dokładne. Dla uszczegółowienia i przyspieszenia tego typu pomiarów może być stosowany z powodzeniem automatyczny pomiar przy użyciu analizatorów optyczno-elektronicznych, np. analizatora AWK 3D. Analizatory takie umożliwiają określenie wielkości i kształt ziaren 3D (trójwymiarowo) oraz uzyskanie szeregu dodatkowych parametrów charakteryzujących cechy uziarnienia różnorodnych geomateriałów. Urządzenia tego typu wykorzystywane są w wielu laboratoriach w Polsce, między innymi w laboratorium Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.

LITERATURA

Gotowiec T., 2006. Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne ilów warwowych na północny zachód od Radzymina. Praca magisterska. Archiwum

Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1-97.

- Giriart D., Rutkowski J., Smolska E., 2007. Uwagi o znaczeniu interpretacyjnym analizy kształtu, obtoczenia, i ułożenia ziaren frakcji gruboklastycznej wybranych środowisk sedimentacyjnych. W: Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (eds), *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku: 10-17*. Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomska A., Unrug R., 1986. *Zarys sedymentologii*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1-628.
- Jagliński K., 2006. Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne ilów warwowych na północny wschód od Radzymina. 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*, XII, 2-3, Warszawa, 85-93.
- Kamiński S., Trzciniński J., 2008. Optical electronic way of soil grain size composition determination and its possible application in engineering geology. *Geologia*, Akademia Górniczo-Hutnicza (w druku)
- 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.
- Zingg T., 1935. Beitrag zur Schotteranalyse. *Mineralogische und Petrologische Mitteilungen* 15, 39-140.