

Raport Badawczy

RB/33/2015

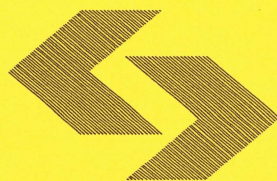
Research Report

**Zaawansowane techniki
informatyczne
wspomagające opracowanie
materiału ceramicznego**

**T. Jaworska, A. Kaliszewska,
C. Nalborski**

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Zakładu zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk

Warszawa 2015

Zaawansowane techniki informatyczne wspomagające opracowanie materiału ceramicznego

Tatiana Jaworska¹,
Agnieszka Kaliszewska²,
Cezary Nalborski³

¹Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

²Staż w ramach projektu PO KL 04.01.01-00-051/10-00
„Technologie informacyjne: badania
i ich interdyscyplinarne zastosowania”

³Studia Doktoranckie
Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

Warszawa, 2015

Spis treści

1. Zdefiniowanie problemu
2. Motywacja, cel, punkty kluczowe – czyli czego archeolog oczekuje od wsparcia informatycznego?
3. Narzędzia informatyczne wspomagające opracowanie materiału ceramicznego
 - a) Baza danych
 - b) Analiza obrazu
 - c) Modelowanie 3D materiału ceramicznego
 - d) Skanery
4. Rezultaty
5. Kierunki dalszych badań
6. Bibliografia

1. Zdefiniowanie problemu

W niniejszej pracy podejmujemy temat informatycznych narzędzi, które mogą wspomóc pracę archeologów w zakresie analizy i opracowania materiału ceramicznego pozyskanego w wyniku wykopalisk.

W archeologii naczynia ceramiczne oraz ich fragmenty stanowią najliczniejszą grupę znalezisk w trakcie badań wykopaliskowych. Jest to również grupa znalezisk niosąca ze sobą największą ilość informacji. Naczynia ceramiczne stosowane były powszechnie przez prawie wszystkie kultury od początku neolitu poczynając, z tego względu są porównywane do „starożytnego plastiku” - znajdowane są w każdym miejscu aktywności człowieka od starożytności, często aż do czasów współczesnych.

Naczynia ceramiczne - ich kształt oraz dekoracja - podlegały subtelny zmianom w zależności od czasu i miejsca powstania. Szczegółowa analiza tych zmian prowadzić może do daleko idących wniosków na temat badanego społeczeństwa i chronologii wydarzeń, co jest celem badań ceramologicznych w archeologii.

2. Motywacja, cel, punkty kluczowe – czyli czego archeolog oczekuje od wsparcia informatycznego?

W codziennej praktyce specjaliści od ceramiki napotykają wiele trudności technicznych które, jak postaramy się wykazać, mogą zostać częściowo rozwiązane poprzez zastosowanie narzędzi informatycznych, szczególnie metod z zakresu przetwarzania obrazu i baz danych.

Przede wszystkim, głównym problemem w praktyce archeologicznej jest ogromna ilość danych pozyskiwanych w trakcie analizy. Ilość fragmentów, które są analizowane w trakcie jednego sezonu to kilka, a nawet kilkadziesiąt tysięcy. Każdy fragment jest opisywany ze względu na swój wygląd fizyczny (wymiary, kolor, kształt, zaobserwowane właściwości), a następnie wstępnie interpretowany (funkcja, typ naczynia i, jeśli to możliwe, wstępne datowanie). Następnie na podstawie cech wspólnych fragmentów tworzone są klasy naczyń. Kolejnym krokiem jest ustalenie sekwencji chronologicznej tych klas: czy są one równoczesne - występują równocześnie, czy któraś z nich jest starsza lub młodsza od reszty. Wymaga to nie tylko dokładnej znajomości analizowanych fragmentów, ale również ceramiki z całego badanego regionu. Cały etap analizy ceramiki opiera się na wiedzy i doświadczeniu ceramologa, dlatego podziały dokonywane w trakcie tego procesu i przypisywanie naczyń do konkretnej klasy są często subiektywne. Tu konieczna jest uwaga, że starożytne naczynia ceramiczne nie były tworzone z myślą o ich przynależności do konkretnej klasy. Były to przedmioty użytku codziennego i ich wygląd jest wynikiem funkcji jakiej służyły, jak i gustów, tak ich twórców jak i właścicieli. Czynniki te sprawiają, że klasy wyróżniane przez specjalistów są zdeterminowane tym, co archeolog postrzega subiektywnie jako „inne” lub „podobne”.

Celem zastosowania narzędzi informatycznych wspomagających pracę archeologa w zakresie analizy materiału ceramicznego jest usprawnienie i przyspieszenie pracy, ale przede wszystkim, jak największe zobiektywizowanie wyników oraz zmniejszenie ich zależności od subiektywnych osądów specjalistów. Zastosowanie takich narzędzi nie ma za zadanie wyeliminowania archeologa z procesu analizy, a jedynie wparcie jego pracy w zakresie analizy danych.

Do celów niniejszej pracy wybraliśmy trzy narzędzia informatyczne, które zostaną omówione w kontekście ich zastosowania w praktyce archeologicznej. Są to bazy danych, analiza obrazu w zakresie dekoracji naczyń ceramicznych, oraz wykorzystanie modelowania 3D w analizie kształtu.

3. Narzędzia informatyczne wspomagające opracowanie materiału ceramicznego

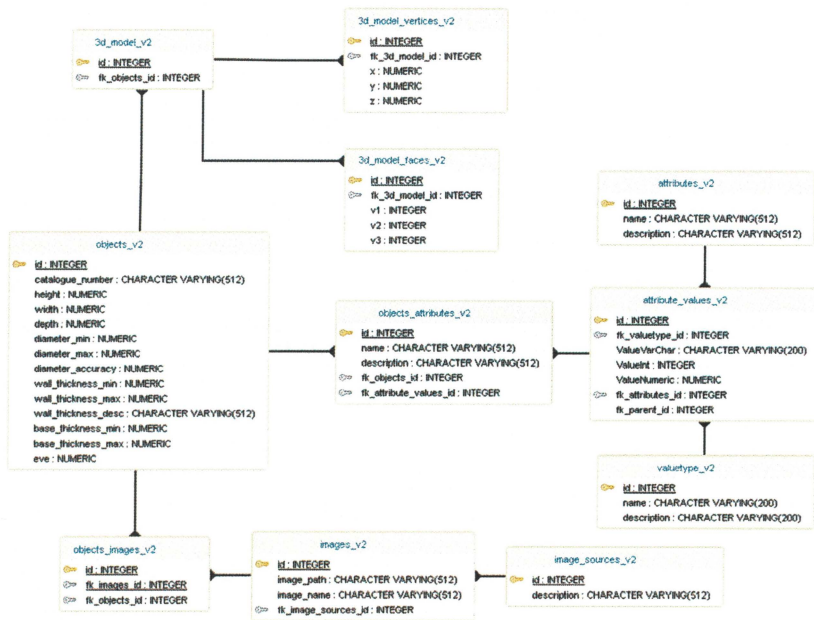
a) Baza danych

Narzędzie informatyczne, które ma wspomagać opracowanie materiału ceramicznego, potrzebuje cyfrowej reprezentacji opisującej w jak najszerszym zakresie fragmenty ceramiczne. Do przechowywania cyfrowych danych opracowano model relacyjnej bazy danych [11], [12], [13] przedstawiony na poniższym diagramie E-R:

Opracowany model danych pozwala na opisywanie podstawowych cech metrycznych poszczególnych fragmentów, specyficznych atrybutów tworzących klasy oraz geometrii danego fragmentu ceramiki w postaci trójwymiarowej reprezentacji powierzchniowej uzyskanej za pomocą algorytmów odtwarzania kształtów z dwuwymiarowych zdjęć, lub skanowania za pomocą skanera 3D zapisującego wynik w postaci powierzchniowej [14].

Model danych składa się z następujących struktur:

- **objects_v2** – główna tabela przechowująca podstawowe informacje o pojedynczym fragmencie ceramiki w tym, wspólne dla wszystkich fragmentów cechy metryczne takie jak długość, szerokość, średnica, grubość ścianki, grubość podstawy



Rys. 1 Model bazy danych, diagram E-R.

- **objects_images_v2** – tabela zawierająca powiązanie obrazu z biblioteki obrazów z konkretnym fragmentem ceramiki
- **image_sources_v2** – tabela (słownik) zawierająca listę źródeł obrazów (tkanina, zdjęcie masy ceramicznej, rysunek fragmentu, zdjęcie fragmentu)
- **images_v2** – tabela zawierająca zdjęcia fragmentów (biblioteka obrazów)
- **objects_attributes_v2** – tabela zawierająca powiązanie konkretnej instancji wartości atrybutu z konkretnym fragmentem ceramiki
- **attribute_values_v2** – tabela zawierająca instancje wartości atrybutów
- **valuetype_v2** – tabela (słownik) zawierająca możliwe typy wartości
- **attributes_v2** – tabela (słownik) atrybutów specyficznych dla danej klasy fragmentów

- 3d_model_v2 – tabela zawierająca powiązanie konkretnego fragmentu ceramiki z modelem trójwymiarowym
- 3d_model_vertices_v2 – tabela zawierająca listę wierzchołków tworzących dany fragment ceramiki
- 3d_model_faces_v2 – tabela zawierająca listę trójkątnych powierzchni tworzących dany fragment ceramiki w postaci indeksów wierzchołków

Archeo

id: 1008 catalogue_number: NT/7/0/1/0/1
 object_types_desc: upper part of a body sherd
 pottery_groups_desc:
 height: 5.20 width: 4.90 depth: diameter: eve:
 wall_thickness: 0.40
 wall_thickness_desc: Wall thickness measured in the thinnest pion, max thickness 0,8 cm
 surface_treatment: Painted
 decorations_desc: Pattern only partly preserved, seems to be a circle filled with three groups of semicircles and dots
 Probably a globular BSJ, rin would be rounded with no collar
 BSJ?
 sub_type:
 fabric_desc: few medium grano inclusions, rare small to medium dark gray to black inclusions, medium rare ca...
 fabric_color: grash orange to light brown
 additional_comments: serd was inventoried in 2011 and given #1, 7-0-1
 form_type:
 state_of_preservation:

NOWA STRUKTURA

id: 1008 catalogue_number: height: width: depth:
 diameter_min: diameter_max: diameter_accuracy:
 wall_thickness_min: wall_thickness_max: eve:
 wall_thickness_desc:
 base_thickness_min: base_thickness_max:

Atrybuty (wartości)

7: states_of_preservation : very bad
 10: object_types : Body sherd
 11: surface_treatment : Painted

1 / 421

Rys. 2 Aplikacja do zarządzania danymi modelu.

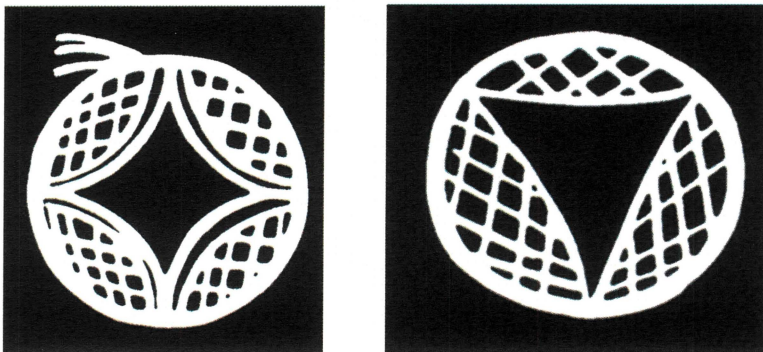
Dane zostały zgromadzone w systemie posgress zlokalizowanym na serwerze w IBS PAN z interfejsem phpPgAdmin wer. 5.1. Na potrzeby zarządzania danymi modelu, została przygotowana prosta aplikacja w Javie z interfejsem graficznym wizualizującym dane modelu

Rys. 2.

b) Analiza obrazu

Problem automatycznego rozpoznawania wzorów na ceramice podjęty został wcześniej przez zespół włoskich naukowców w serii artykułów, min: [1], [2], [3]. Jednak zaproponowana metoda nie znajduje zastosowania poza wybranym przez autorów przykładem. Fragmenty wybrane do eksperymentu posiadają dekoracje zachowaną w bardzo dobrym stanie, a wszystkie detale wzoru, który ma być rozpoznany są zachowane i dobrze widoczne. Jest to, jak na razie, poza niniejszymi badaniami, jedyna próba zastosowania rozpoznawania obrazów do automatycznej klasyfikacji motywów dekoracyjnych na archeologicznym materiale ceramicznym. Zajmujący się tym zagadnieniem włoscy naukowcy korzystali z: [4], [5], [6].

Przykładowe motywy stosowane na ceramice z omawianego okresu z Krety są widoczne na Rys. 3. Jest to z naszego punktu widzenia stan do jakiego będziemy dążyć w analizie zgromadzonych obrazów.



Rys. 3 Przykładowe wzorce motywów na ceramice.

W przypadku omawianej powyżej bazy danych powierzchnia ceramiki jest zachowana w bardzo złym stanie. Pomimo to, na podstawie zdjęć dotychczas zgromadzonego w bazie materiału ceramicznego można pokusić się o przeprowadzenie analizy zachowanych

motywów dekoracyjnych fragmentów ceramiki. Zdjęcia są kolorowe i o dużej rozdzielczości 5184x3888. Należy jednak zauważyć, że jest to bardzo trudne zadanie, ze względu na bardzo zniszczoną powierzchnię.

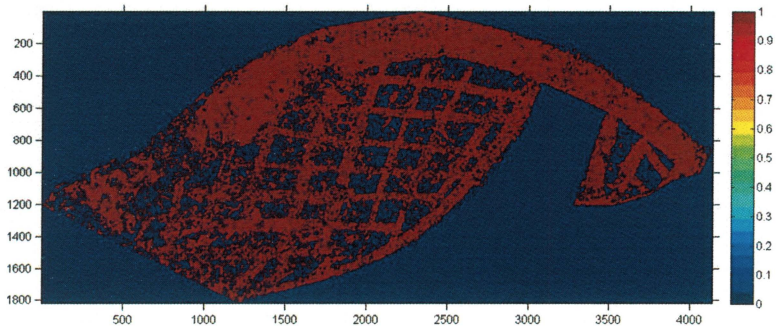


Rys. 4 Przykład ceramiki kretańskiej z motywem dekoracyjnym.

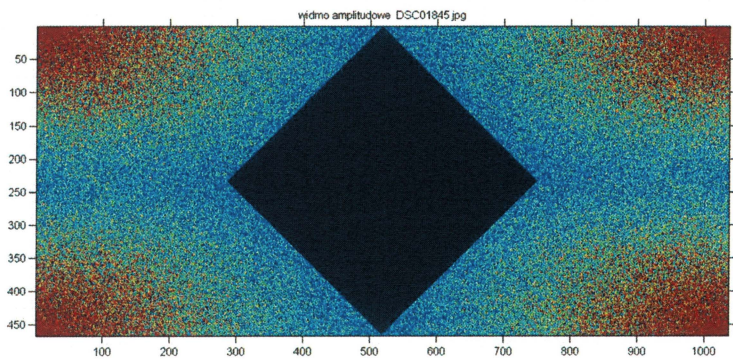
W przypadku fragmentu przedstawionego na Rys. 4 widzimy motyw z prześwietlającą surową powierzchnią naczynia. Takie uszkodzenia powodują, że nie działa w tym wypadku metoda wydzielenia części histogramu lub proste progowanie, bo na widoczny motyw składają się różne poziomy jasności pikseli. Ogólnie rzecz ujmując, poziom zakłóceń jest większy niż wzorec, który chcemy wysegmentować.

W celu eliminacji zakłóceń spowodowanych uszkodzeniami powierzchni, podejmowane były próby odfiltrowania drobnych zmian jasności przy pomocy

dwuwymiarowej analizy falkowej do drugiego poziomu Rys. 5 [7], [8] i dalej zastosowanie dolno-przepustowego filtra Fouriera dla pozostałej aproksymacji Rys. 6.

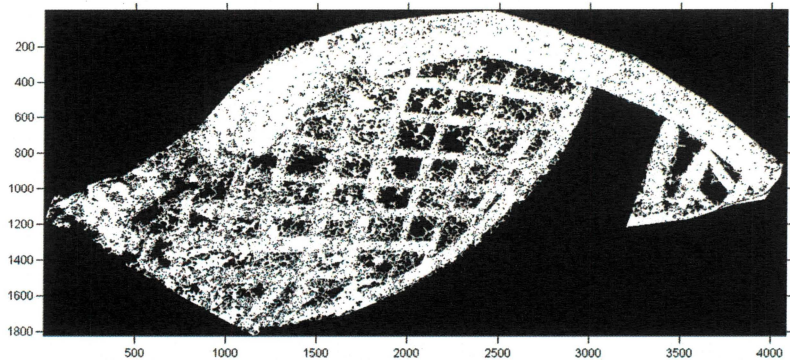


Rys. 5 Drugi poziom dwuwymiarowej aproksymacji falkowej dla dekoracji z Rys. 4.



Rys. 6 Widmo amplitudowe z wyzerowanymi wysokimi częstotliwościami dla dekoracji z Rys. 4.

Następnie wydzielono ROI, czyli interesujący nas rejon obrazu i na podstawie sumarycznego poziomu szarości dla wartości RGB przeprowadzono progowanie. Po progowaniu wydzielono największy obiekt używając 8-sąsiedztwa.



Rys. 7 Wydzielony fragment wzorca z elementu ceramicznego widocznego na Rys. 4.

Dla tak wydzielonego segmentu wzoru próby wydzielania krawędzi lub wyznaczania obwodu nie przyniosły oczekiwanych rezultatów.

Wszystkie algorytmy dotyczące powyższego przetwarzania obrazów były testowane przy pomocy oprogramowania Matlab wer. 2014 b.

c) Modelowanie 3D materiału ceramicznego

Istotnym narzędziem w procesie modelowania materiału ceramicznego, jest wykorzystanie grafiki trójwymiarowej. Do opisu modelu w postaci trójwymiarowej, stosuje się model powierzchniowy, najczęściej triangularny. Cyfrowa reprezentacja modelu daje szereg możliwości takich, jak wizualizacja w czasie rzeczywistym fragmentu w dowolnej skali, pod dowolnym kątem i dowolną teksturą, czy zastosowanie szeregu algorytmów matematycznych ułatwiających dopasowywanie fragmentów i szeregowaniem ich w różne klasy charakteryzujące się określonym zestawem cech.

Wyróżnia się dwie podstawowe metody pozyskiwania trójwymiarowych danych geometrycznych. Pierwsza metoda zakłada odtwarzanie trójwymiarowej geometrii fragmentów ceramiki z dwuwymiarowych obrazów techniki obrazów stereoskopowych, lub fotometryczne stereo.

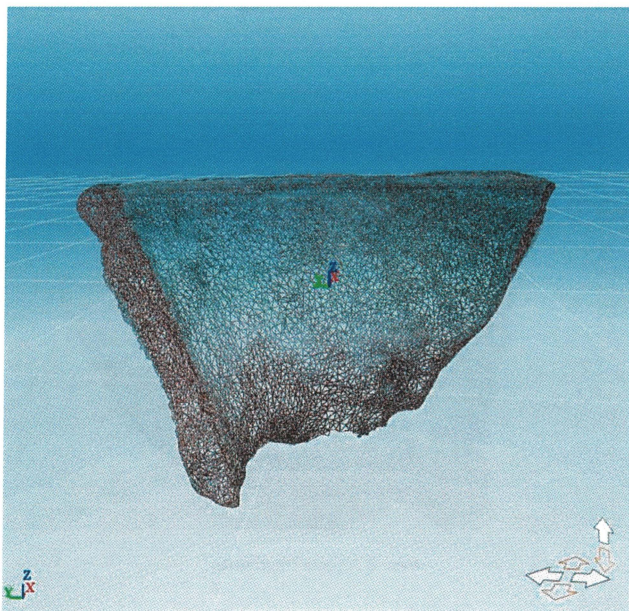


Rys. 8 Zdjęcie fragmentu



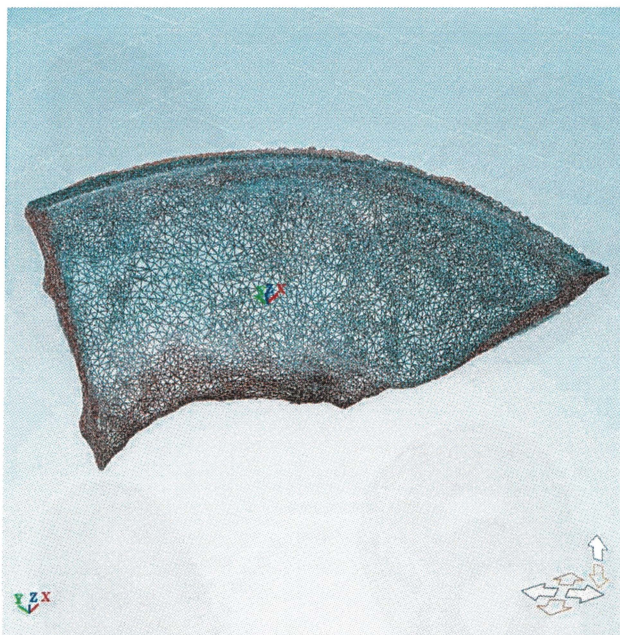
Rys. 9 Zdjęcie fragment z Rys. 8 tworzące z nim stereoparę (przesunięcie „disparity” jest w tym wypadku słabo widoczne).

Metoda ta pozwala z kilku zdjęć odtworzyć trójwymiarowy kształt obiektu opisany w postaci powierzchniowej [4] za pomocą triangularnych powierzchni Rys. 8, Rys. 9.



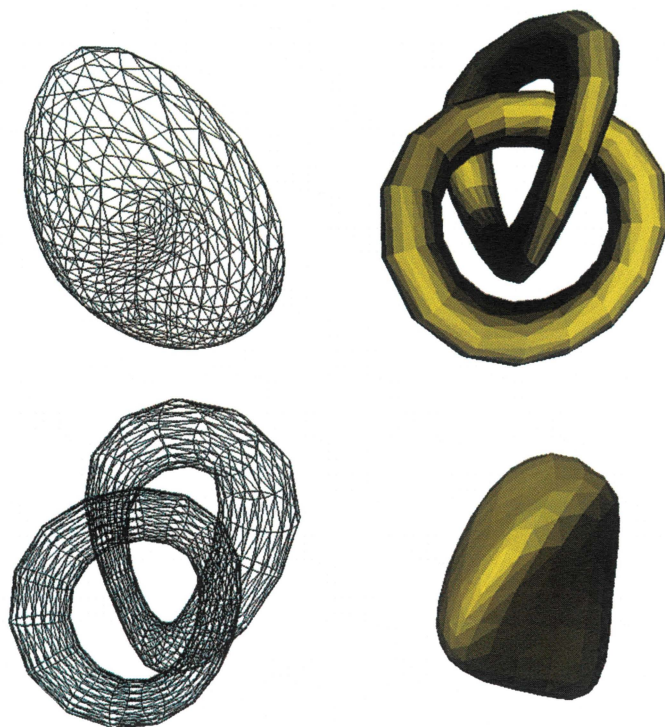
Rys. 10 Odtworzony trójwymiarowy model fragmentu

Druga metoda, znacznie dokładniejsza i efektywniejszej czasowo, zakłada wykorzystanie skanera trójwymiarowego. Dostępne na rynku skanery pozwalają uzyskać wysoką dokładność skanowania z poziomem błędów (x,y,z) mniejszym niż 0.25 mm, co z kolei pozwala na uzyskanie trójwymiarowego modelu powierzchniowego (triangularnego) Rys. 12.



Rys. 11 Odtworzony trójwymiarowy model fragmentu ujęcie z innej strony

Technologie skanowania laserowego wykorzystują laserowego emitera linii i wysokiej rozdzielczości czujnik obrazu, którego znana jest względna pozycja i orientacja. Laser i czujnik przemieszczając się wzdłuż i dookoła skanowanego przedmiotu np. w tym przypadku fragmentu ceramiki, zapisują wykryte pozycje wiązki lasera i po szeregu przekształceń geometrycznych tworzą siatkę obiektu składającą się z trójkątnych powierzchni rozpiętych na określonych wcześniej punktach w przestrzeni.



Rys. 12 Przykładowe zeskanowane obiekty w reprezentacji powierzchniowej.

Technologia skanowania trójwymiarowego rozwinęła się na tyle że w przystępnej cenie można kupić skaner ręczny lub stacjonarny wielkości kilkudziesięciu centymetrów, co pozwoli na wykorzystanie go bezpośrednio na stanowisku badawczym. Rozdzielczość takich skanerów kształtuje się na poziomie 0.2 mm co w zupełności wystarczy do skanowania nawet niewielkich fragmentów.

d) Skanery

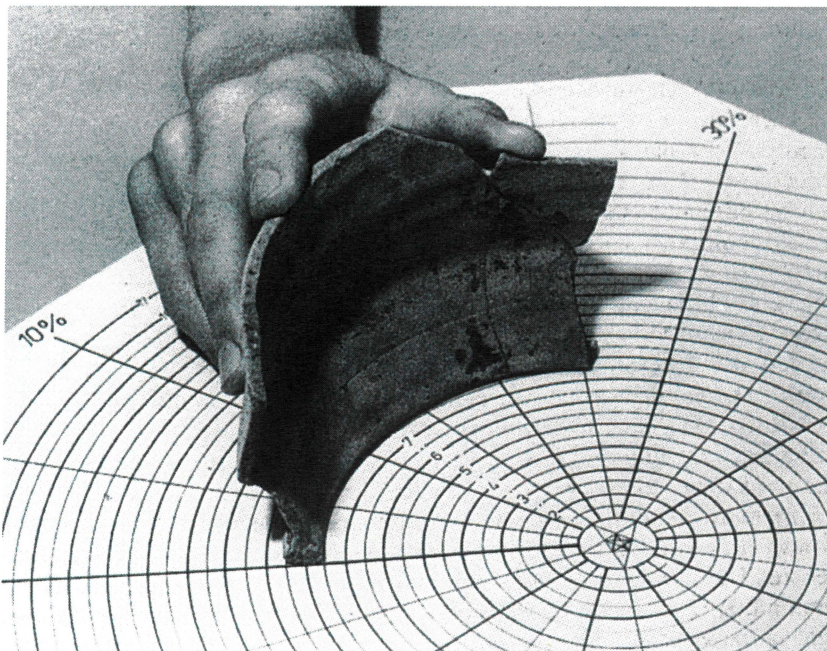
Podczas prac badawczych, na pozyskiwania informacji o właściwościach skanerów możliwych do zastosowania w procesie opracowywania materiału ceramicznego, napotkano na interesujące zestawienie większości dostępnych na rynku urządzeń:

<http://www.aniwaa.com/comparison/3d-scanners/>

4. Rezultaty

a) Analiza bazy danych

Dane zawarte w bazie danych zostaną wykorzystane w przyszłości do analizy statystycznej całego opisanego zbioru.



Rys. 13 Pomiar EVE fragmentu, przy pomocy specjalnej tablicy [15] (Fig 15.2., str. 211)

Z punktu widzenia archeologicznego analiza taka jest niezwykle ważna. Pozwala nie tylko na zrozumienie samego zespołu, ale również na porównanie go z innymi zespołami. Zagadnienie wykorzystania miar statystycznych w analizie zespołów ceramiki zostało szczegółowo omówione w pracach C.R. Ortona [15], [16]. W przypadku, gdy na badany zespół składają się tysiące fragmentów, bardzo rzadko można z całą pewnością powiedzieć, ile naczyń faktycznie znajdowało się w danym zespole. Ilość fragmentów, na które rozbiły się

naczynia może zależeć nie tylko od typów tych naczyń, ale również okoliczności ich zniszczenia, jak i procesów które zachodziły już po pogrzebaniu fragmentów (procesy postdepozycyjne). W takim przypadku trudno jest określić podobieństwo, lub jego brak pomiędzy dwoma zespołami fragmentów. W tym celu już na etapie opisu do bazy danych wprowadzane są pomiary, które mogą ułatwić takie porównania. Jedną z takich miar jest *Estimated Vessel Equivalent (EVE)*, czyli stopień „kompletności” wylewu lub bazy mierzony w procentach, gdzie 100% oznacza w pełni zachowany fragment. Pomiar ten dokonywany jest ręcznie, więc jest obciążony błędem. Jednak główną korzyścią stosowania tej miary jest możliwość ustalenia minimalnej możliwej liczby naczyń w zespole (Rys. 13). Miarę tą otrzymujemy przez zsumowanie wszystkich EVE, a następnie podzielenie otrzymanej liczby przez 100. Otrzymana miara wyznacza dolną granicę liczby naczyń, które mogły znajdować się w zespole. Jest to tylko jedna z kilku miar, które mogą zostać zastosowane do określenia przybliżonej liczby naczyń w badanym zespole.

Uwzględnienie pomiaru EVE na etapie wprowadzania danych do bazy, w połączeniu z innymi danymi, pozwala na dogłębną analizę zespołu, za pomocą zapytań SQL, w końcowej fazie analizy całego zespołu.

Dla tak określonej miary po wykonaniu na bazie następującego zapytania SQL:

```
select sum(eve)/100.0 as Miara,count(*) as IloscFragmentow  
from objects_v2 where eve is not null
```

otrzymujemy następujący wynik:

Miara: **41.63**

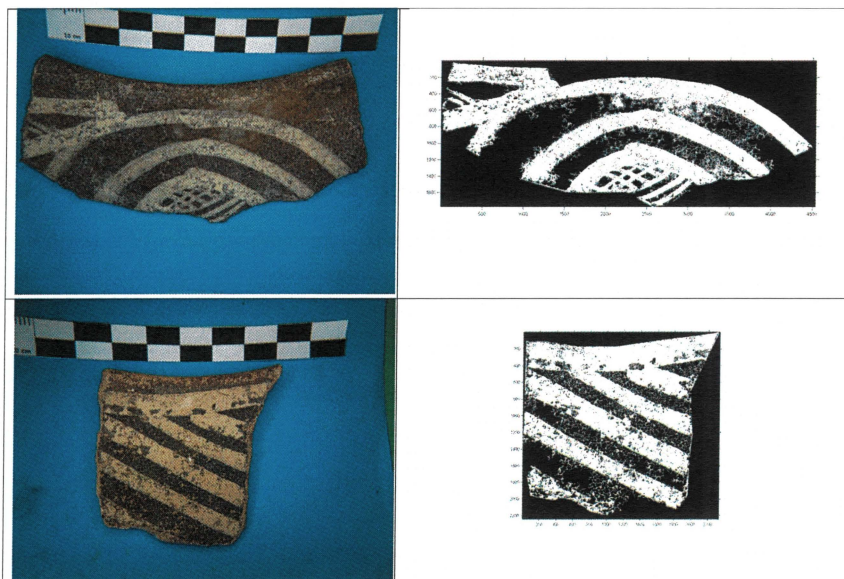
Ilość fragmentów: **409**

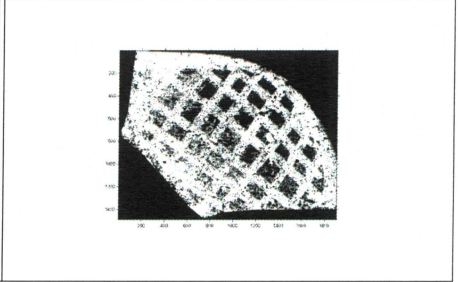
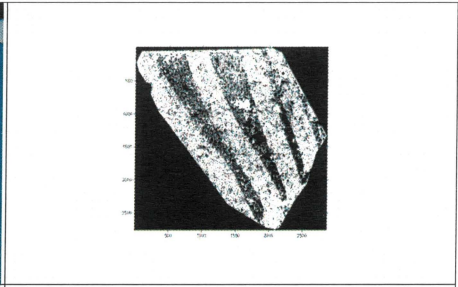
Oznacza to, że najmniejsza możliwa liczba naczyń w zespole to 41. Liczba fragmentów obecnie wprowadzonych do bazy to 409. Obecnie miara ta ma charakter czysto testowy,

ponieważ fragmenty wprowadzone do bazy nie były próbką statystyczną, ale subiektywnym wyborem fragmentów zachowanych w stopniu pozwalającym na uzyskanie jak największej ilości informacji. Jednak, gdy wszystkie dane fragmentów zostaną ostatecznie wprowadzone, miara ta stanie się niezbędna do dalszej analizy zespołu jak i do porównań z innymi zespołami fragmentów naczyń z regionu.

b) Wyniki otrzymane dla znajdowania wzorców

W poniższej tabeli w lewej kolumnie widzimy oryginalne zdjęcie fragmentu z robione w czasie prac wykopaliskowych oraz w prawej kolumnie wysegmentowany wzór przy pomocy algorytmu opisanego w pkt 3 b).





5 Wnioski i kierunki dalszych badań

Na podstawie już usystematyzowanego materiału znajdującego się w bazie danych możemy określić pewne szacunkowe ilości zgromadzonych naczyń.

Naszym ostatecznym celem jest otrzymanie modelu 3D poszczególnych naczyń, których fragmenty zostały wykopane i opisane w basie danych. Oczywiście przy dużych brakach materiału ceramicznego może być to bardzo trudne do osiągnięcia, bo nie będzie wtedy znany profil naczynia, ani jego wysokość. W tym celu będą stosowane różne dostępne metody analizy danych, poczynając od zapytań do bazy przy pomocy SQLa, poprzez analizę obrazu w celu dopasowania wzorców, a kończąc na budowie modelu 3D poszczególnych naczyń.

Na poszczególnych etapach stosujemy już takie szczegółowe rozwiązania, jak dynamiczna baza danych umożliwiająca rozwijanie on-line między innymi słowników. Zapytania SQL umożliwiające znalezienie naczyń na podstawie ich wspólnych cech zapisanych w bazie.

Na podstawie obrazu udaje się wyznaczyć wzory zdobnicze na porcelanie, które są unikatowe do poszczególnych naczyń, a w związku z tym po dopasowaniu fragmentów do konkretnych wzorów, będzie można skompletować wszystkie fragmenty danego naczynia. Przy dopasowywaniu wzorców będzie można zastosować transformację SIFT [9], [10], która dzięki wykrywaniu niezmienniczych cech wzorców dobrze je do siebie dopasuje.

Bibliografia

- [1] F. Stanco , D. Tanasi , G. C. Guarnera i . G. Gallo , „Automatic Classification of Decorative Patterns in the Minoan Pottery of Kamares Style,” w *Pattern Recognition and Signal Processing in Archaeometry: Mathematical and Computational Solutions for Archaeology*, Hershey, Information Science Reference, 2012, str. 186-211.
- [2] F. Stanco , D. Tanasi , G. C. Guarnera i . G. Gallo , „Classification of decorative patterns in Kamares pottery,” w *Radamante al computer Archeologia e informatica nel mondo minoico: l' esperienza catanese*, Caltanissetta, Università di Catania, Centro di Archeologia Cretese, 2011, str. 20-50.
- [3] F. Stanco , D. Tanasi , G. C. Guarnera i . G. Gallo „Frammenti di Storia". Il riconoscimento automatico dei motivi decorativi della ceramica Kamares,” *Archeomatica*, str. 6-9, Settembre 2012.
- [4] Zhang J., Zhang X., Krim H., Walter G.C., „Object representation and recognition in shape spaces,” *Pattern Recognition*, str. 1143-1154, 2003.
- [5] V. S. McNeill G., „2D Shape Classification and Retrieval,” *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*, str. 1483-1488, 2005.
- [6] Sebastian, Thomas B.; Kimia, Benjamin B., „On Aligning curves,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, str. 116-125, 2003.
- [7] S. Mallat, *A wavelet tour of signal processing*, I red., Londyn, NY: Academic Press, 1997, str. 578.
- [8] P. Wojtaszczyk, *Teoria falek*, I red., Warszawa: PWN, 2000, str. 250.
- [9] D. G. Lowe, „Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints,” *Internationa Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, str. 91-110, 2004.
- [10] D. G. Lowe, „Object Recognition from local scale-invariant features,” w: *International Conferences on Computer Vision*, Corfu, Greece, 1999.
- [11] Terry Halpin, Tony Morgan, (2010) *Information modeling and Relational Databases*, Neumont University
- [12] Colin Ritchie, (2002) *Relational database principles*, Continuum
- [13] S. Sumathi, S. Esakirajan, (2007) *Fundamentals of Relational Database Management Systems*, Springer
- [14] Marek Domaradzki, Robert Gembara (1993) *Tworzenie realistycznej grafiki 3D*, LYNX-SFT

[15] C. Orton, M. H. (1993). *Pottery in Archaeology*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town: Cambridge University press.

[16] C.R. Orton, P. T. (1990). Statistical Analysis of Ceramic Assemblages. *Archeologia e Calcolatori n. 1*, strony 81-110.



