

Mateusz Osiadacz*

Wybrane techniki dokumentacji, rekonstrukcji i wizualizacji 3D na przykładzie zbioru neolitycznych zabytków z terenu Małopolski

Abstract

Osiadacz M. 2017. Selected techniques of documentation, reconstruction and 3D visualisation, based on the assemblage of Neolithic artefacts from Lesser Poland. *Raport* 12, 239-250

One of the tasks of the project presented in this paper was to document, reconstruct in 3D, and visualize a collection of Neolithic pottery from the area of Lesser Poland. The digitization was performed using a structured-light scanner and, in two cases, photogrammetric software. The reconstructions were modelled on the basis of digital representations of scans of original fragments by adding successive layers of the reconstructed shape directly onto the recorded artefact. Apart from preparation of source files for sharing, a number of visualisations were made, including renders and 3D animations.

Keywords: digitalization, 3D, scan, reconstruction, visualisation

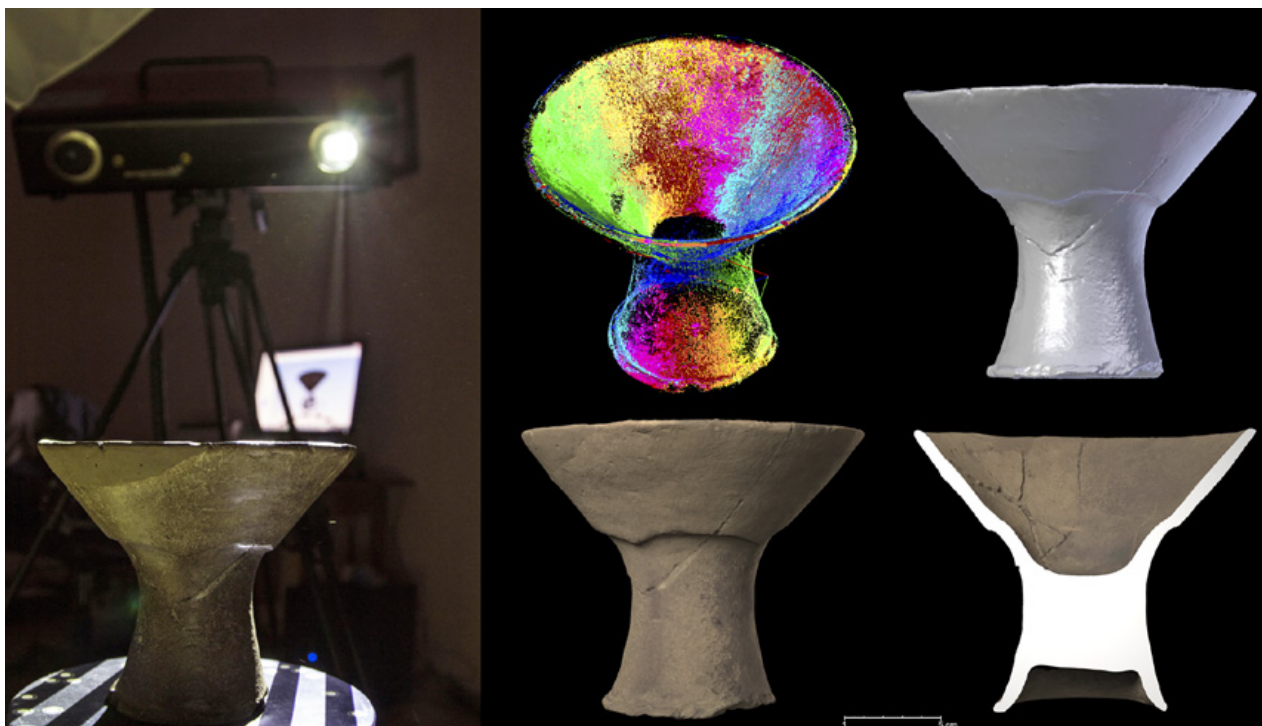
W konkurujących i różniących się między sobą dia-gnozach świata, w którym żyjemy, np. w koncepcjach ponowoczesności czy też społeczeństwa sieci, jest podkreślana malejąca rola aspektów etycznych i racjonalistycznych (obiektywnych) rzeczywistości na rzecz estetyki i partycypacji (subiektywizacji).

W społecznym obiegu wiedzy o odległej przeszłości kluczowe znaczenie mają różnego typu strategie: podkreślanie sensacyjnego charakteru odkryć archeologicznych, zainteresowanie rekonstrukcjami, teatralizacja i performatywność przeszłości, uczestnictwo w festiwalach, estetyzacja i turystyka archeologiczna (Pawleta 2015, 377). W każdej z tych strategii kluczową rolę odgrywają obrazy, a szerzej – wizualizacja. Widać to szczególnie w nurcie różnorodnych działań, łącznie nazywanych archeologią wirtualną. Podobnie duży nacisk na techniki wizualizacji jest kładziony jednak również w niektórych modernistycznych kierunkach archeologii, także przedstawiciele tradycyjnej archeologii kulturowo-historycznej nie stronią od zalet wizualizacji, widząc w niej efektywne narzędzie prezentacji swych tez oraz upowszechniania wyników badań.

Jeden ze sposobów ujęcia społecznej roli archeologii został przez H. Mamzera (1998) określony jako *uobecnianie przeszłości*. Autor zwrócił uwagę na swoisty paradoks: dawne społeczeństwa, którymi zajmuje się archeolog, już nie istnieją, a przedmiot badań, jakim są ich pozostałości, badacz wytwarza sobie sam. Jednocześnie, udostępniając współczesności ukryte wytwory kultur minionych, ożywia przeszłość, przywraca ją teraźniejszości i sugeruje ich metafizyczną ponadczasowość. Każde stwierdzenie o konstrukcji myślowej, jaką jest przeszłość, jest dokonywane przy tym w określonym usytuowaniu historycznym i kulturowym, w związku z czym *mamy do czynienia z wielością i różnorodnością rzeczywistości minionej, a nie jej jednorodnością* (Mamzer 1998, 307).

Bogate spektrum nowych środków służących uobecnianiu przeszłości przynosi rozwój nowoczesnych technologii. Powoduje on ciągłe zwiększanie roli obrazu w odbiorze otaczającej rzeczywistości, ale również w wyobrażeniach o minionych wiekach. D. Minta-Tworzowska (2011, 323, 326) zwróciła uwagę, że otaczający świat był zawsze definiowany przez człowieka

* Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk, Al. Solidarności 105, 00-140 Warszawa, e-mail: mateusz.osiadacz@gmail.com



Ryc. 1. Puchar na pustej nóżce ze stanowiska Wyciąże 5. Zabytek w trakcie skanowania, chmura punktów, model 3D w postaci siatki poligonowej, model 3D z przypisaną teksturą oraz przekrój.

Fig. 1. Goblet on an empty foot from site 5 in Wyciąże. The object under scanning, a point cloud, a 3D model in the form of a polygonal grid, a 3D model with assigned texture and a cross-section – a vessel from site 27 in Mirocin (cat. no. 23, inv. no. 197)

obrazami i że nowe technologie medialne, umożliwiające poszerzenie ludzkich możliwości percepcyjnych, prowadzą do przedefiniowania zarówno świata dzisiejszego, jak i naszego wyobrażenia o pradziejach. Podkreślano też, że rozwój technologiczny niejednokrotnie pozwala przyglądać się obiektom z przeszłości dokładniej, aniżeli mogli to zrobić ich twórcy i użytkownicy (Pawleta, Zapłata 2014, 183). Wobec stopniowego zacierania się granic pomiędzy rzeczywistością wirtualną i realną oraz wzajemnego przenikania się tych światów nowego znaczenia nabiera również pojęcia uobecniania przeszłości.

Technologie teledetekcyjne, umożliwiające tworzenie cyfrowego odwzorowania trójwymiarowej przestrzeni, wchodzą w obręb stałego warsztatu pracy archeologa zarówno na etapie prowadzenia badań terenowych, jak i naukowego opracowania materiałów. Do głównych zalet opartych na nich metod należy ich bezinwazyjność oraz nadmiarowy charakter pozyskiwanych danych w stosunku do bieżącego zapotrzebowania. Zapisywana jest bardzo duża ilość informacji na temat badanego obiektu, bez dyskryminowania tych, które badacz może uznać za mniej istotne według indywidualnych kryteriów, co w przyszłości może pozwolić nam dokonywać analiz w oparciu o nieznane obecnie metody.

Wyniki nowoczesnych metod pomiarowych mogą być wykorzystane w powiązaniu z technikami trójwymiarowego obrazowania komputerowego, rozwijającymi się z rosnącą dynamiką od lat osiemdziesiątych XX wieku. Pełnią one coraz poważniejszą rolę w uobecnianiu przeszłości i znacząco przyczyniają się do promocji idei dziedzictwa archeologicznego, którego manifestacja w rzeczywistości wirtualnej jest coraz silniejsza. Obecność w internecie stanowi stały i nieunikniony element działalności instytucji badawczych, kulturalnych i edukacyjnych, a *muzeum wirtualne*, stanowiące niegdyś marginalny element działalności jednostek muzealnych udostępniających część swoich zbiorów w sieci, stale rozszerza swoją definicję, osiągając rangę systemu poznawczego (Bentkowska-Kafel 2013, 161).

Rośnie przy tym ryzyko zafalszowania przekazu, kierowanego do ostatecznego odbiorcy. Wpływ na to ma m.in. coraz łatwiejszy dostęp do oprogramowania umożliwiającego tworzenie fotorealistycznych wizualizacji. Tym bardziej więc istotne jest przestrzeganie określonych standardów jakości prac dokumentacyjnych i wizualizacyjnych wykorzystujących technologie trójwymiarowego cyfrowego obrazowania.

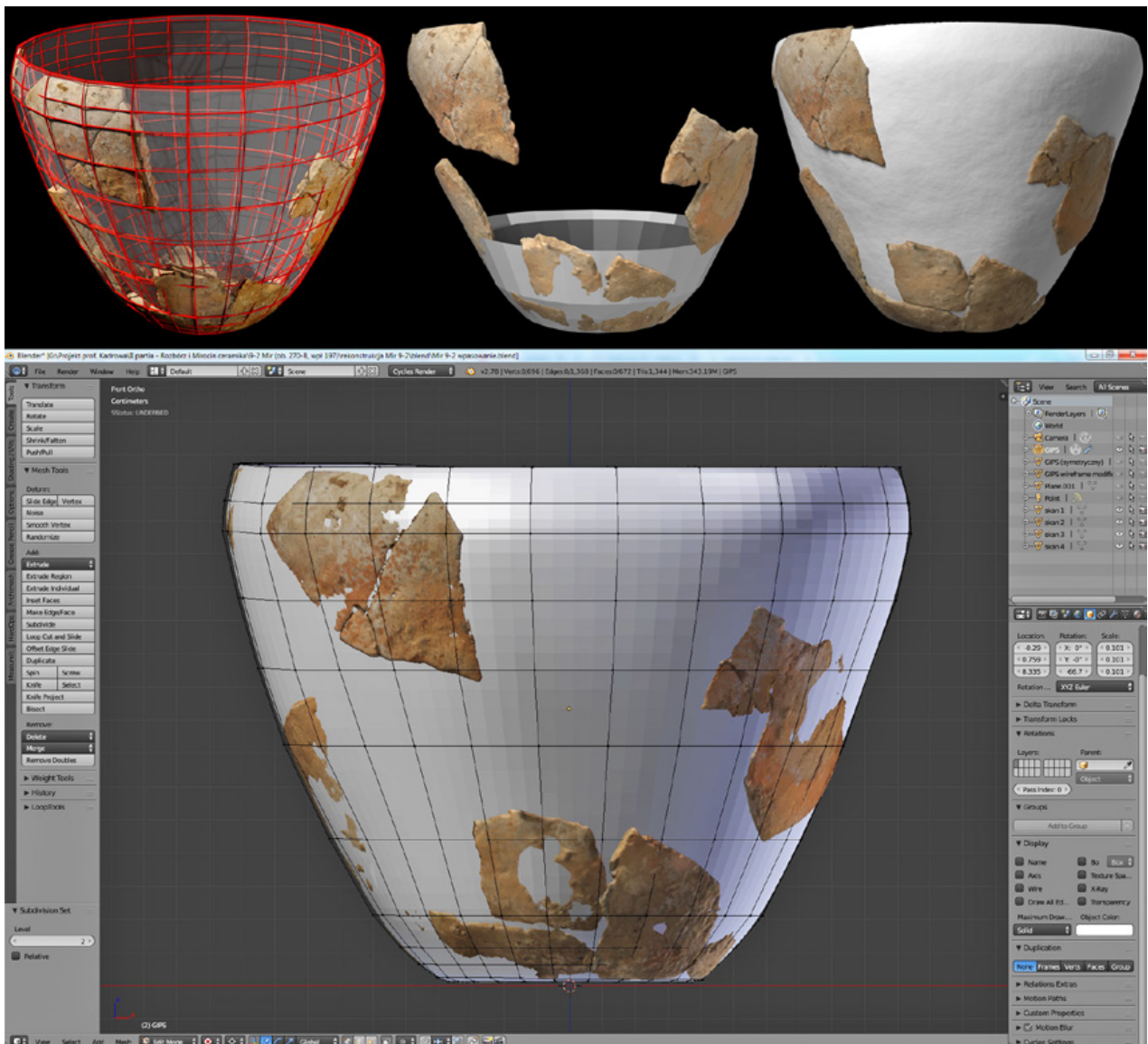
Podstawowym dokumentem, określającym metody tworzenia komputerowych wizualizacji obiektów dziedzictwa kulturowego, jest opracowana w 2009 r. *Karta londyńska (Karta londyńska. Zasady dotyczące komputerowych metod wizualizacji dziedzictwa kulturowego, 2009)*. Postulowane w niej zasady mają przyczynić się do tego, aby forma prezentowania wyników badań odzwierciedlała rzeczywisty stan wiedzy historycznej,

z uwzględnieniem mechanizmów kontroli, umożliwiających weryfikację ich wiarygodności historycznej i spójności merytorycznej. W kontekście tworzenia wirtualnych rekonstrukcji zabytków niezachowanych bądź zachowanych fragmentarycznie jest istotna treść punktu 4.4, zgodnie z którym *cel wizualizacji zabytku powinien być przedstawiony w sposób nie budzący wątpliwości co do tego, czy jej założeniem było odzwierciedlenie stanu istniejącego, odtworzenie fazy historycznej w oparciu o materiały źródłowe, czy też domniemana rekonstrukcja*, co było podkreślane także w polskiej literaturze przedmiotu (Bentkowska-Kafel 2007, 2–3).

Dla zagadnienia rekonstruowania obiektów zabytkowych istotne znaczenie mają również zapisy *Karty lozańskiej (Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage, 1990)*. Zgodnie z treścią

artykułu 7 rekonstrukcja posiada dwie istotne funkcje: eksperymentu naukowego oraz interpretacji. Autorzy dokumentu postulują unikanie tworzenia rekonstrukcji na oryginalnych zabytkach archeologicznych, z czym dobrze korespondują coraz szersze możliwości odtwarzania pierwotnej formy zabytków w przestrzeni wirtualnej, bez naruszania oryginalnej tkanki.

Na gruncie polskim podstawowe reguły postępowania i modelowe rozwiązania w dziedzinie digitalizacji 3D obiektów dziedzictwa kulturowego zostały określone w publikacjach wydanych przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów (Bunsch *et al.* 2012; Bunsch, Sitnik 2014). Nie sposób przy tym określić jednolitego, ścisłego standardu technicznego (między innymi rozdzielczości i dokładności pomiarowej) dla każdej możliwej kategorii zabytku i, jak zauważyli



Ryc. 2. Proces modelowania rekonstrukcji z wykorzystaniem zeskanowanych fragmentów na przykładzie naczynia ze stanowiska Mirocin 27

Fig. 2. Process of reconstruction modelling with the use of scanned fragments – vessel from site 27 in Mirocin

E. Modzelewska i R. Sitnik (2008, 150), *poziom dokładności dokonywanych pomiarów zależy od potrzeb użytkownika, a więc od tego, czy wyniki będą wykorzystywane do przygotowywania rekonstrukcji multimedialnych, tworzenia wirtualnych wizualizacji do celów edukacyjnych (wtedy dane pomiarowe mogą być uproszczone) czy też do opracowania dokumentacji konserwatorskiej.*

Efekty realizacji projektu, który stał się podstawą dla niniejszego artykułu, były wcześniej sygnalizowane na konferencji *Archeologia przyszłości, przyszłość archeologii* 27 lutego 2017 r. w Warszawie oraz w wydanej równocześnie tomie konferencyjnym (Kadrow, Osiadacz 2017, 7). Jednym z jego celów było wykonanie dokumentacji 3D zbioru zabytków z okresu neolitu, zrekonstruowanie znalezisk, które się do tego kwalifikowały, oraz stworzenie wizualizacji prezentujących wyniki pracy. Działania digitalizacyjne objęły łącznie 59 obiektów. Spośród nich 42 zabytki ceramiki naczyniowej (nr kat. 1–13, 17–45), zabytek krzemienny (nr kat. 14) i 2 kamienne (nr kat. 15–16) zostały opracowane przez autora niniejszego artykułu, natomiast 14 figurek ceramicznych (nr kat. 46–49) przez K. Juszczak. Poprzez pełen proces digitalizacyjny 3D należy rozumieć nie tylko samo wykonanie dokumentacji wybranego obiektu (rozumianej jako wytworzenie cyfrowego odwzorowania geometrii

powierzchni badanego przedmiotu w układzie współrzędnych), ale także cały szereg działań, od etapu planowania prac, poprzez skanowanie, gromadzenie i zabezpieczanie danych, po ich udostępnianie użytkownikom końcowym (Bunsch, Sitnik 2014, 6). Prace wykonane w Laboratorium Bio- i Archeometrii IAE PAN można podzielić na trzy główne etapy: (1) dokumentację, (2) rekonstrukcję oraz (3) wizualizację.

Przed przystąpieniem do właściwych prac została sporządzona pełna dokumentacja fotograficzna wszystkich obiektów zabytkowych. Skanowanie trójwymiarowe wciąż jest metodą relatywnie nową, nie wszystkie prace są prowadzone według jednolitych, ścisłych standardów technicznych i równoczesne prowadzenie dokumentacji w tradycyjnej formie, przede wszystkim za pomocą fotografii, może w przyszłości ułatwić weryfikację poprawności wykonanych prac.

Digitalizację 3D wykonywano przy użyciu skanera Smarttech archeo 5MPix LED, o dokładności 0,04 mm i rozdzielczości 5 mln pikseli, skalibrowanego na objętość pomiarową 300 × 210 × 200 mm wraz z oprogramowaniem Smarttech3Dmeasure/Mesh3D. W dwóch przypadkach natomiast zdecydowano, aby jako metodę alternatywną wykorzystać oprogramowanie fotograficzne Agisoft Photoscan. Do modelowania oraz



Ryc. 3. Komputerowa rekonstrukcja naczyń z wykorzystaniem zeskanowanych fragmentów

Fig. 3. Computer reconstruction of vessels with the use of scanned fragments



Ryc. 4. Komputerowa rekonstrukcja pierwotnego wyglądu naczyń

Fig. 4. Computer reconstruction of the original appearance of vessels

wykonania wizualizacji zostało wykorzystane oprogramowanie: 3ds Max, Blender, Adobe Photoshop, Zbrush oraz Rhinoceros.

Zastosowany skaner 3D opiera się na technologii białego światła strukturalnego. Cyfrowy projektor, wchodzący w skład systemu pomiarowego, rzutuje określony, rastrowy obraz, zaś detektor w postaci kamery odczytuje go po zdeformowaniu przez powierzchnię badanego obiektu i przekazuje do jednostki centralnej. Następnie algorytmy oprogramowania współpracującego ze skanerem, analizując deformację, określają geometrię (współrzędne X, Y, Z poszczególnych punktów) powierzchni. W trakcie pomiaru zabytek jest umieszczany na stoliku obrotowym, pozwalającym na rejestrację geometrii obiektu w kolejnych ujęciach, po obrocie o zadaną miarę kąta (zwykle 12 ujęć co 30°). Powstałe w wyniku skanowania grupy chmur punktów z przyporządkowanymi wartościami barwy w skali RGB były łączone w jeden model, który następnie był pokrywany siatką poligonalną (*mesh*) z przyporządkowaną teksturą (Ryc. 1).

Druga z metod pomiarowych, *Structure from Motion* (*SfM*), pozwala na wytworzenie modelu 3D z sekwencji zdjęć cyfrowych. Algorytmy oprogramowania określają wzajemną orientację kamer (względna lokalizację aparatu w kolejnych ujęciach), a następnie program identyfikuje tożsame elementy obrazów i na ich podstawie tworzy barwną chmurę punktów, odpowiadającą powierzchni badanego obiektu. Słusznie zwracano uwagę

(Bunsch, Sitnik 2014, 12, 14) na zagrożenia płynące z zastosowania tej metody, przede wszystkim trudny do zdefiniowania błąd pomiarowy oraz możliwość zafalszowania geometrii modelu w konsekwencji popełnionych w trakcie pracy błędów. Jednocześnie przy zastosowaniu dostępnego obecnie oprogramowania i właściwym doborze sekwencji zdjęć metoda cechuje się wysoką skutecznością, a na jej popularność dodatkowo wpływa duża uniwersalność oraz niskie koszty. W praktyce bywa ona stosowana jako alternatywa dla „tradycyjnego” skaningu (Piegat, Piotrowski 2016; Głowienka *et al.* 2015, 115–135; Wójcicki, Herma 2009), w tym również do dokumentacji niewielkich zabytków archeologicznych (Samaan *et al.* 2013).

Jednym z problemów, pojawiających się w przypadku skanowania z wykorzystaniem technologii światła strukturalnego, jest utrudniona rejestracja powierzchni odbijających bądź o ciemnej barwie. Zastosowanie metody fotogrametrycznej ułatwiło zadokumentowanie naczyń z gliny o barwie bliskiej czerni ze stanowiska Mogiła 62 (nr kat. 29, nr inw. MAK/NH/85/188:6 EW/1423), a także czarki ze stanowiska Rozbórz 4 (nr kat. 17, nr inw. 62). Zdjęcia zostały wykonane za pomocą aparatu Canon EOS I Ds Mark II z obiektywem Canon EF 50 mm f/2.5 Compact Macro. Cyfrowe odwzorowania zabytków zostały wyskalowane względem miarki zeskanowanej razem z badanymi obiektami.

W przypadku wszystkich skanowanych obiektów, oprócz opracowanych wyników w postaci siatki poligonalnej (format OBJ) z przypisaną teksturą, zostały zachowane także surowe wyniki pomiarów w postaci



Ryc. 5. Wizualizacja – amfora ze stanowiska 14, 15. Zeskanowane fragmenty, rekonstrukcja bryły z wykorzystaniem zachowanych fragmentów, rekonstrukcja pierwotnego wyglądu oraz fragment publikacji zawierającej analogiczny zabytek (Grabowska, Zastawny 2014).

Fig. 5. Visualisation – amphora from site 14, 15. Scanned fragments, reconstruction of a solid body with the use of preserved fragments, reconstruction of the original appearance and an excerpt from a publication of a similar heritage object (Grabowska, Zastawny 2014)

chmur punktów (format PLY) oraz fotografii źródłowych dla dwóch zabytków dokumentowanych metodą fotogrametryczną. Jak zwrócili uwagę E. Bunsch i R. Sitnik (2008, 158–159) w przypadku zastosowania skanera 3D, to właśnie surowe chmury punktów i tylko one stanowią obiektywny element dokumentacji, pozbawiony subiektywnego wpływu badacza, dlatego zawsze powinny być archiwizowane w celu umożliwienia w przyszłości weryfikacji poprawności uzyskanej dokumentacji. Należałoby przy tym dodać, że aby uzyskać pełną dokumentację obiektu ze wszystkich stron, zwykle jest konieczne zeskanowanie go w kilku położeniach i połączenie ze sobą poszczególnych wyników pomiarów (grup chmur punktów), a ten etap nie odbywa się już w sposób w pełni zautomatyzowany i nie jest wolny od ryzyka popełnienia błędów przez obserwatora.

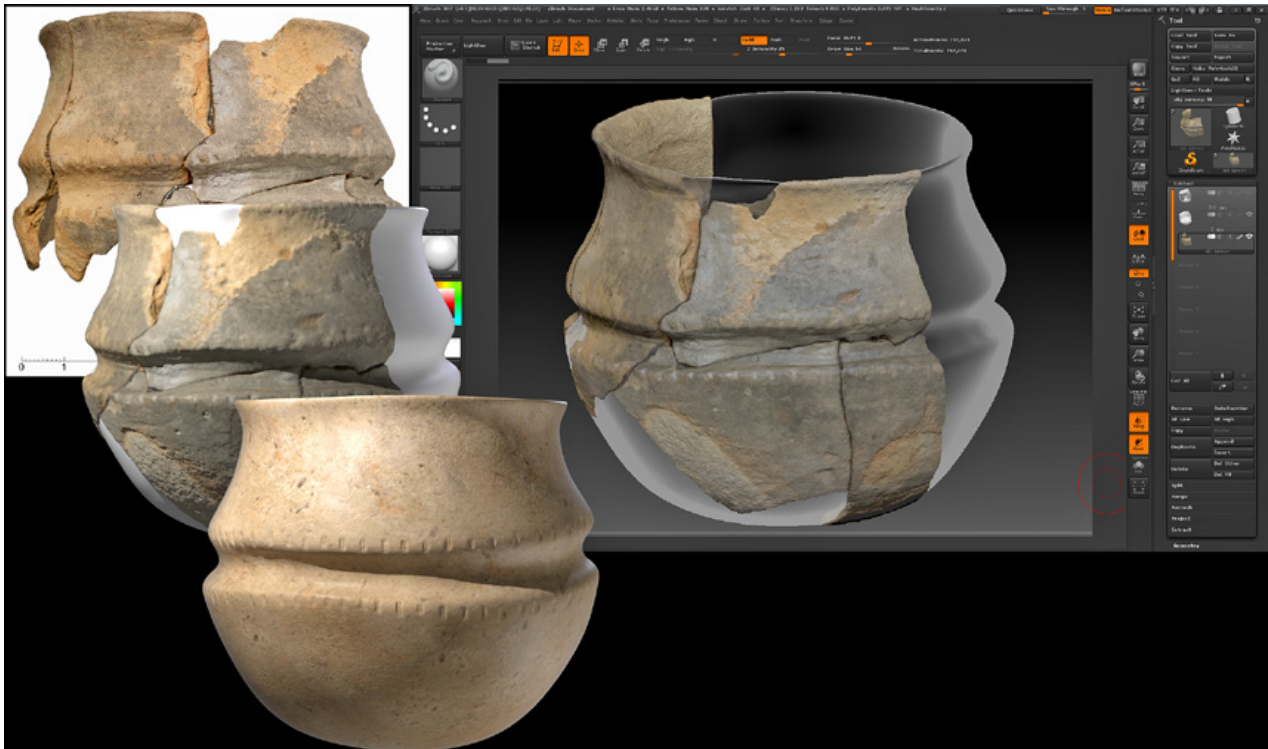
Drugim etapem prac było wykonanie rekonstrukcji wszystkich wchodzących w zakres projektu zabytków ceramiki naczyniowej. Naczynia lepiące bez użycia

koła garncarskiego z reguły nie posiadają w pełni regularnych kształtów, często silnie odbiegają od pionowej osi symetrii i charakteryzują się zmienną wysokością. W każdym przypadku rekonstrukcje były modelowane w oparciu o cyfrowe odwzorowania zeskanowanych, oryginalnych fragmentów, poprzez nabudowywanie kolejnych poziomów odtwarzanej bryły bezpośrednio na zadokumentowanym materiale zabytkowym (Ryc. 2). Odtwarzana bryła naczynia i oryginalne fragmenty przenikały się wzajemnie, uwydatniając w trakcie pracy ewentualne rozbieżności w geometrii (parokrotnie pozwoliło to na odrzucenie fragmentów niepasujących do obiektu, pierwotnie uznanych za jego część) i umożliwiając modyfikowanie na bieżąco siatki poligonowej. Zaletą tej metody jest możliwość uzyskania wyższej zgodności z oryginałem niż w przypadku zastosowania półautomatycznych narzędzi w rodzaju bryły obrotowej, projektowanej w oparciu o dwuwymiarowe rzuty (zdjęcia lub rysunki) materiału zabytkowego.

Ryc. 6. Wizualizacja – ołtarzyk ceremonialny ze stanowiska Modlnica 5. Zeskanowane fragmenty, rekonstrukcja bryły z wykorzystaniem zachowanych fragmentów oraz rekonstrukcja pierwotnego wyglądu.

Fig. 6. Visualisation – ceremonial altarpiece from site 5 in Modlnica. Scanned fragments, reconstruction of a solid body with the use of preserved fragments, reconstruction of the original appearance





Ryc. 7. Czarka ze stanowiska Rozbórz 4. Fotografia, rekonstrukcja bryły z wykorzystaniem zachowanego fragmentu, rekonstrukcja pierwotnego wyglądu oraz widok w trakcie modelowania

Fig. 7. Cup from site 4 in Rozbórz. Photograph, reconstruction of a solid body with the use of preserved fragments, reconstruction of the original appearance and a view during modelling

Przyjęta została metoda, zgodnie z którą zabytki zachowane fragmentarycznie i niezrekonstruowane wcześniej fizycznie przez konserwatorów były modelowane komputerowo w dwóch wersjach: (a) rekonstrukcji bryły o białej barwie, pozbawionej większości szczegółów zdobniczych z zatopionymi w niej, zeskanowanymi, oryginalnymi fragmentami, na podobieństwo naczynia uzupełnionego gipsem (Ryc. 3) oraz (b) propozycji rekonstrukcji pierwotnego wyglądu przedmiotu (Ryc. 4). Rozwiązanie to ułatwia identyfikację elementów odtworzonych oraz weryfikację merytorycznej poprawności rekonstrukcji.

Należy podkreślić, że rekonstrukcje mają charakter propozycji sposobu odtworzenia pierwotnej formy zabytku, opartej na analizie dostępnych źródeł, nie zaś stwierdzenia kategorycznego. W przypadku większości naczyń zachowane fragmenty den, wylewów i brzuśców nie pozostawiały wątpliwości co do oryginalnej formy bryły. Wpasowanie niektórych fragmentów, ze względu na ich niewielki rozmiar, sprawiało jednak trudności i w sytuacji, gdy nie posiadały one cech charakterystycznych, umożliwiających umiejscowienie ich w konkretnej części naczynia, były one odrzucane. W kilku przypadkach było potrzebne posiłkowanie się analogiami

z innych znalezisk. Jednym z najciekawszych zabytków (nr kat. 2, nr inw. TAR 14, 15/551), wchodzących w obręb projektu, była amfora kultury malickiej (Ryc. 5) ze stanowiska Targowisko 14, 15 w Kotlinie Sandomierskiej (pow. wielicki, woj. małopolskie) z 2 fragmentami ornamentu antropomorficznego (Czerniak *et al.* 2007, 474–475, fig. 5). Zeskanowano wszystkie 13 zachowanych fragmentów, jednak poza 2 wspomnianymi wyżej oraz 2 fragmentami ornamentowanej listwy plastycznej nie posiadały one cech pozwalających na ich wykorzystanie w odtwarzaniu kształtu przedmiotu. Pomocne w rekonstrukcji okazały się wyniki prac przeprowadzonych w 2004 r. na pobliskim stanowisku Targowisko 10, 11, gdzie odkryto pierwszą wówczas na terenach Polski amforę kultury malickiej z tego typu przedstawieniem (Czekaj-Zastawny *et al.* 2007, 491, 496, fig. 9; Grabowska, Zastawny 2008). Krzywizna zachowanych fragmentów oraz kąty ścian przy załomie brzuśca wskazywały, że naczynia miały podobną wielkość i proporcje (omawiana amfora była nieco większa, o wysokości około 35 cm). W obydwu przypadkach przedstawienie antropomorficzne miało postać listwy plastycznej zdobionej nacięciami, z tą różnicą, że w omawianym naczyniu postać jest niższa (około 77 mm), posiada ręce skierowane w górę, podobnie jak nogi, i nie posiada guzków zaznaczających piersi oraz głowę. Co istotne, motyw zachował się na 2 fragmentach, których jednakowa wielkość i stylistyka potwierdza pochodzenie z jednego naczynia, dlatego w jego rekonstrukcji przedstawienia antropomorficzne zostały umieszczone po

dwóch przeciwległych stronach. Elementy niezachowane takie jak wylew, dno i ucha zostały odtworzone w oparciu o zabytek ze stanowiska Targowisko 10, 11, z tym jednak, że w przypadku uch zrezygnowano z guzków, niewystępujących nigdzie indziej na zachowanych fragmentach naczynia, na rzecz przedłużenia ornamentu nacięć widocznego na listwie plastycznej. Ornament figuralny wystąpił również na 7 innych naczyniach (nr kat. 4–10) ze stanowiska Targowisko 12, 13 (pow. wielicki, woj. małopolskie). Zostały one zeskanowane, jednak stan ich zachowania nie pozwalał na wykonanie rekonstrukcji.

Innym zabytkiem (Czerniak 2010), którego rekonstrukcja nastroczała pewnych trudności, było naczynie ze stanowiska Modlnica 5 (nr kat. 1, nr inw. MOD 5/13000). Spośród 13 zeskanowanych fragmentów tylko 7 posiadało cechy charakterystyczne, pozwalające na umiejscowienie ich w bryle obiektu. Rekonstrukcja (Ryc. 6) została oparta na sugestiach przekazanych wraz z materiałami z badań przez Krakowski Zespół do Badań Autostrad. Naczynie posiadało pierwotnie formę prostokątnego pojemnika z 4 zaokrąglonymi nóżkami, tak zwanego *ołtarzyka ceremonialnego*. Choć dla zabytku brak jest bezpośrednich analogii, podobną formę zdobienia, w postaci prostoliniwnych nacięć, posiada „ołtarzyk” z Dąbrowy (gm. Kłaj, pow. wielicki, woj. Małopolskie; Zastawny 2008, 59–63). Wśród innych odniesień można wymienić również znaleziska

ze stanowiska Modlniczka 2 (Czekaj-Zastawny, Przybyła 2012, 16–17, Tabl. 24:7) oraz z Targowiska 11 (Grabowska, Zastawny 2011).

Po weryfikacji kształtu rekonstrukcji była zwiększana szczegółowość siatki poligonowej i obiekt był wykańczany w programie Zbrush (Ryc. 7). Pozwala on na bardziej plastyczne, rzeźbiarskie modelowanie, lepiej korespondujące z zachowaniem rzeczywistej masy glinianej. Formy zdobień były odtwarzane w oparciu o zachowane fragmenty (Ryc. 8). Charakterystyczna porowata faktura powierzchni наносzona była poprzez „odciskanie” wzorów pochodzących ze zdjęć fragmentów ceramicznych.

Osobną kwestią było nadanie właściwej barwy rekonstruowanemu przedmiotowi. Celem było odwzorowanie kolorystyki bliskiej tej na zachowanych fragmentach, przy czym należy pamiętać, że zabarwienie ceramiki może się drastycznie zmieniać pod wpływem warunków podepozycyjnych. Do wytworzenia tekstury były wykorzystywane fotografie ceramiki. W przypadku jednego z naczyń ze stanowiska Targowisko 12, 13 (nr kat. 12, nr inw. TAR 12, 13/4896) zostały stwierdzone pozostałości farby czerwonej, którą zgodnie z obecnym stanem wiedzy była pokryta cała zewnętrzna powierzchnia zabytku, oraz farby białej, tworzącej dookolny pas otaczający naczynie w najszerszym miejscu (Czerniak *et al.* 2007, 473–474, fig. 6). Elementy te uwzględniono w trakcie odtwarzania formy zabytku.



Ryc. 8. Komputerowa rekonstrukcja pierwotnego wyglądu wybranych naczyń

Fig. 8. Computer reconstruction of the original appearance of selected vessels



Ryc. 9. Wizualizacja zrekonstruowanych naczyń ze stanowisk Targowisko 12, 13 oraz Targowisko 14, 15

Fig. 9. Visualisation of reconstructed vessels from sites 12, 13 and 14, 15 in Targowisko

Ostatni etap działań stanowiła wizualizacja wyników prac. Pliki, opisujące zdigitalizowane materiały zabytkowe (w formie chmur punktów lub siatki poligonowej), pozwalają na samodzielne dokonywanie pomiarów i analiz oraz mogą być przydatnym materiałem do dalszych badań. Ich obsługa wymaga jednak użycia specjalistycznego oprogramowania i nie są one dogodnym medium do szerokiej promocji dziedzictwa archeologicznego. Jak zaznaczono w *Karcie londyńskiej, opracowując cele, metody i programy upowszechniania wizualizacji komputerowych, należy uwzględnić takie kwestie jak ułatwienia w obcowaniu z zabytkami, niedostępnymi ze względu na przeszkody natury ekonomicznej, politycznej lub środowiskowej.*

Jednym z popularnych sposobów prezentacji modelu 3D jest udostępnianie go za pośrednictwem internetu na przystosowanych do tego platformach opartych na systemie OpenGL. Zadokumentowany obiekt w postaci pliku opisującego geometrię oraz barwę jego powierzchni w oryginalnej formie zwykle posiada dużą wagę i jest nieuniknione zmniejszenie poziomu skomplikowania modelu (Modzelewska, Sitnik 2008, 152). Służą do tego specjalne funkcje oprogramowania, pozwalające uprościć geometrię w różnym stopniu w różnych częściach

obiektu, w zależności od ilości szczegółów i stopnia skomplikowania. Metodą umożliwiającą interaktywny kontakt z modelem 3D jest również zastosowanie formatu PDF 3D, który jest obsługiwany przez popularną przeglądarkę Adobe Acrobat.

Wszystkie obiekty zostały zwizualizowane w postaci renderów (obrazów). Ponieważ trzy naczynia kultury malickiej z bezpośrednio sąsiadujących ze sobą stanowisk Targowisko 12, 13 (nr kat. 3, nr inw. AR 12, 13/5648, 5649; nr kat. 12; nr inw. TAR 12, 13/4896) oraz Targowisko 14, 15 (nr kat. 2, nr inw. TAR 14, 15/551) są równoczesowe (informacja poparta konsultacją z prof. S. Kadrowem), uznano, że mogą być przedstawione we wspólnym kontekście (Ryc. 9).

W wyniku realizacji projektu wytworzono dwie kategorie zabytków wirtualnych: cyfrowe odwzorowania zachowanej materii zabytkowej oraz obiekty stanowiące próbę rekonstrukcji pierwotnego stanu przedmiotów. Wszystkie materiały, łącznie z dokumentacją fotograficzną i wizualizacjami (wyrenderowanymi obrazami, animacjami 3D), są dostępne na stronie internetowej Muzeum Archeologicznego w Krakowie (*Ceramika jako nośnik idei i wiedzy*, 2015).

Jak słusznie zauważyła A. Bentkowska-Kafel (2008, 40), *mimo precyzji pomiaru ocena pełnej reprodukcji lub rekonstrukcji zależy najczęściej od wierności i jakości odwzorowania, sposobu wykończenia modelu i jego otoczenia, a także narzuconych programowaniem funkcji.*



Ryc. 10. Wizualizacja zrekonstruowanego naczynia ze stanowiska Pleszów 17. Różne sposoby prezentacji modelu o tej samej geometrii i barwie, widzianego z tej samej perspektywy poprzez zastosowanie różnych wykończeń powierzchni obiektu, cech kamery oraz sposobów oświetlenia

Fig. 10. Visualisation of a reconstructed vessel from site 17 in Pleszów. Various ways of presentation of a model of the same geometry and colour, seen from the same perspective, by using different finish for its surface, different camera options and illumination methods

Należy podkreślić, że informacje pozyskiwane w wyniku digitalizacji 3D ograniczają się do geometrii oraz barwy powierzchni (zapisanej w skali RGB w określonych warunkach ekspozycyjnych) obiektu. Nie zawierają natomiast danych na temat współczynnika załamania światła (wizualnie decydującym o połysku powierzchni) oraz przezroczystości. Informacje na temat faktury powierzchni przy dostatecznie szczegółowym pomiarze powinny być uchwycone w wyniku dokumentacji, w praktyce jednak konieczność uproszczenia modelu w celu jego udostępnienia powoduje utratę tych szczegółowych danych.

Jednocześnie w celu przygotowywania wizualizacji, aby obiekt wyglądał realistycznie, wszystkie wymienione parametry muszą być określone w ustawieniach oprogramowania. Do tego dochodzi kwestia otoczenia oraz dowolnego oświetlenia (barwa, natężenie światła) przedmiotu w wirtualnej przestrzeni, a także cech wirtualnej kamery (długości ogniskowej, wartości przysłony). W konsekwencji model 3D (skan bądź rekonstrukcja) o ściśle określonej, niezmiennej geometrii i barwie, oglądany z tej samej perspektywy, można przedstawiać

w zupełnie odmienny wizualnie sposób (Ryc. 10). O ile ponad półtorawiekowy rozwój fotografii przystosował ludzką percepcję do prawidłowego kodowania informacji przekazywanych przez to medium, o tyle realistyczne wizualizacje, uzyskujące cechy pozornej wiarygodności poprzez podobieństwo do fotografii, niosą ze sobą ryzyko wprowadzenia odbiorcy w błąd (Bentkowska-Kafel 2008, 42–43).

Komputerowe obrazowanie trójwymiarowe pełni coraz większą rolę w edukacji, popularyzacji i promocji dziedzictwa kulturowego. Umożliwia także szerokie udostępnienie materiałów zabytkowych do dalszych prac badawczych bez narażania ich oryginalnej tkanki. Jednocześnie większość wizualizacji, szczególnie tych przedstawianych w bardziej przystępnej formie, wykorzystuje tylko niewielką część informacji pozyskanych w wyniku digitalizacji, a wymaga określenia wielu parametrów, o których informacji nie posiadamy. Element kreacji w tego rodzaju pracach należy uznać za nieunikniony, dlatego tym większy nacisk należy położyć na zawarty w *Karcie londyńskiej* postulat dbałości o to, aby procesy wizualizacji komputerowych i ich wyniki

były prawidłowo rozumiane i oceniane przez odbiorców. Nowoczesne technologie wizualizacyjne wywierają znaczny wpływ na odbiór otaczającego świata, w tym dziedzictwa kulturowego i prawidłowo wykorzystane mogą wydatnie przyczynić się do poszerzenia kręgu odbiorców dóbr kultury i promocji idei dziedzictwa archeologicznego.

Niniejszy artykuł jest efektem realizacji projektu Narodowego Centrum Nauki 2013/09/B/HS3/03334 *Ceramika jako nośnik idei i wiedzy we wczesnych społeczeństwach rolniczych w dorzeczu górnej Wisły. Studia w skali mikro i makro z wykorzystaniem metod badawczych z zakresu mineralogii i technik cyfrowych*, kierowanego przez prof. S. Kadrowa.

Bibliografia

- Bentkowska-Kafel A. 2007. *Wprowadzenie do zagadnień Karty Londyńskiej*. http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/bentkowska_karta_londyńska.pdf (wgląd 26.05.2017).
- Bentkowska-Kafel A. 2008. Historyczna wiarygodność zabytku wirtualnego. Uwagi na marginesie postulatów Karty londyńskiej. W: A. Seidel-Grzezińska, K. Stanicka-Brzezicka (red.), *Nowoczesne metody gromadzenia i udostępniania wiedzy o zabytkach*. Wrocław: Wydawnictwo Via Nowa, 35-47.
- Bentkowska-Kafel A. 2013. *Muzeum wirtualne – muzeum bez granic?* http://nimos.pl/upload/wydawnictwa/Muzealnictwo/Muzealnictwo54/024Muzealnictwo54_bentkowska-kafel.pdf (wgląd 30.05.2017).
- Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiwicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A. 2012. *Cyfrowe odwzorowania muzealiów – parametry techniczne, modelowe rozwiązania*. Warszawa: Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów.
- Bunsch E., Sitnik R. 2008. W stronę obiektywnej dokumentacji dzieła sztuki – praktyczne wykorzystanie skanerów z oświetleniem strukturalnym. W: A. Seidel-Grzezińska, K. Stanicka-Brzezicka (red.), *Nowoczesne metody gromadzenia i udostępniania wiedzy o zabytkach*. Wrocław: Wydawnictwo Via Nowa, 157-162.
- Bunsch E., Sitnik R. 2014. *Kryteria doboru techniki 3D do dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego (= Digitalizacja w muzeach 2/2014)*. Warszawa: Narodowy Instytut Dziedzictwa i Ochrony Zbiorów.
- Ceramika jako nośnik idei i wiedzy*, 2015. <http://www.ma.krakow.pl/artykuly.php?i=8.68.242&gl=2&j=0> (wgląd 23.09.2017).
- Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage*, 1990. http://www.icomos.org/charters/arch_e.pdf (wgląd 26.05.2017).
- Czekaj-Zastawny A., Grabowska B., Zastawny A. 2007. Pottery of the malice culture from sites Brzezcie 17 and Targowisko 11, western Lesser Poland, W: J. K. Kozłowski, P. Raczky (red.), *The lengyel, polgar and related cultures in the middle/late neolithic in central Europe*. Kraków: Polska Akademia Umiejętności, 488-500.
- Czekaj-Zastawny A., Przybyła M. M. 2012. Modlniczka 2, powiat krakowski. Cmentarzysko kultury ceramiki wstęgowej rytej i osady neolityczne (= *Via Archaeologica. Źródła z badań wykopaliskowych na trasie autostrady A4 w Małopolsce*). Kraków: Krakowski Zespół do Badań Autostrad, 7-300.
- Czeraniak L. 2010 *Osady kultury ceramiki wstęgowej rytej Modlnica, gm. Wielka Wieś, woj. małopolskie, stanowisko 5 (Aut 4)*. Kraków (Maszynopis opracowania w siedzibie Krakowskiego Zespołu do Badań Autostrad).
- Czeraniak L., Golański A., Kadrow S. 2007. New facts on the malice culture gained from the rescue excavation at the A4 motorway section east of Krakow. W: J. K. Kozłowski, P. Raczky (red.), *The lengyel, polgar and related cultures in the middle/late neolithic in central Europe*. Kraków: Polska Akademia Umiejętności, 471-486.
- Głowienka E., Jankowicz B., Kwoczyńska B., Kuras P., Michałowska K., Mikrut S., Moskal A., Piech I., Strach M., Sroka J. 2015. *Fotogrametria i skaniny laserowe w modelowaniu 3D*. Rzeszów: Wyższa Szkoła Inżynierii i Ekonomiczna z siedzibą w Rzeszowie.
- Grabowska B., Zastawny A. 2008. Amfora kultury Malickiej z wyobrażeniem postaci ludzkiej z Targowiska, st. 11, woj. małopolskie. W: J. Chochorowski (red.), *Młodsza epoka kamienia. Wybrane znaleziska (= Via Archaeologica. Źródła z badań wykopaliskowych na trasie autostrady A4 w Małopolsce)*. Kraków: Krakowski Zespół do Badań Autostrad, 69-84.
- Grabowska B., Zastawny A. 2011. *Materiały kultury ceramiki wstęgowej rytej ze st. 10, 11 w Targowisku, pow. wielicki*. Kraków (Niepublikowane opracowanie w archiwum Krakowskiego Zespołu do Badań Autostrad).
- Kadrow S., Osiadacz M. 2017 *Archeologiczna Przyszłość, Przyszłość Archeologii*. http://iaepan.vot.pl/images/aktual/konferencja2_27022017.pdf (wgląd: 14.05.2017).
- Karta Londyńska. Zasady dotyczące komputerowych metod wizualizacji dziedzictwa kulturowego*. 2009. http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pl.doc (wgląd: 26.05.2017).
- Mamzer H. 1998. Archeologia jako uobecnianie przeszłości. W: W. Wrzosek (red.), *Świat historii. Prace z metodologii historii i historii historiografii dedykowane Jerzemu Topolskiemu z okazji siedemdziesięciolecia urodzin*. Poznań: Instytut Historii UAM, 299-307.

- Minta-Tworzowska D. 2011. Badania nad kulturą wizualną i ich wpływ na konstruowanie obrazów przeszłości przez archeologów. W: R. Zapłata (red.), *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego. Wybrane zagadnienia*. Lublin: Instytut Archeologii WNHIS UKSW, 315-334.
- Modzelewska E., Sitnik R. 2008. Odwzorowanie struktury powierzchni obiektu zabytkowego za pomocą skanu 3D. W: A. Seidel-Grzebińska, K. Stanicka-Brzezicka (red.), *Nowoczesne metody gromadzenia i udostępniania wiedzy o zabytkach*. Wrocław: Wydawnictwo Via Nowa, 147-156.
- Pawleta M. 2015. Wybrane aspekty społecznego funkcjonowania wytworów wiedzy archeologicznej i archeologii we współczesności. *Folia Praehistorica Posnaniensia* 19, 375-398.
- Pawleta M., Zapłata R. 2011. Obrazowanie przeszłości w świetle nowych mediów. W: R. Zapłata (red.), *Digitalizacja dziedzictwa archeologicznego. Wybrane zagadnienia*. Lublin: Instytut Archeologii WNHIS UKSW, 335-358.
- Pawleta M., Zapłata R. 2014. Nowomediálne kreacje przeszłości – przeszłość medialnie zapośredniczona. W: A. Seidel-Grzebińska, K. Stanicka-Brzezicka (red.), *Obraz i metoda*. Wrocław: Wydział Nauk Historycznych i Pedagogicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, 180-189.
- Piegat T., Piotrowski W. 2016. Skany kontra zdjęcia. *Geodeta* 5, 42-47.
- Samaan M., Héno R., Pierrot-Deseilligny M. 2013. *Close-Range Photogrammetric Tools for Small 3D Archaeological Objects*. <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W2/549/2013/isprsarchives-XL-5-W2-549-2013.pdf> (wgląd 26.05.2017).
- Wójcicki A., Herma S. 2009. Fotogrametria jako alternatywna metoda modelowania obiektów 3D. W: Bzdrya K. (red.), *Modele inżynierii teleinformatyki. Wybrane zastosowania*, 4. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 245-254.
- Zastawny A. 2008. Neolityczna plastyka gliniana ze stanowiska 3 w Dąbrowie, Gm. Kłaj. W: J. Chochorowski (red.), *Młodsza epoka kamienia. Wybrane znaleziska (= Via Archaeologica. Źródła z badań wykopaliskowych na trasie autostrady A4 w Małopolsce)*. Kraków: Krakowski Zespół do Badań Autostrad, 57-68.

Summary

Mateusz Osiadacz

Selected techniques of documentation, reconstruction and 3D visualisation, based on the assemblage of Neolithic artefacts from Lesser Poland

The role of images in perception of the contemporary world keeps growing. One of the concepts of the social role of archaeology is that it presentifies the past, re-establishes it in the present. This concept takes on a new meaning in the context of rapid development of visualisation techniques.

Remote-sensing technologies, enabling digital representation of three-dimensional space, have become well established in archaeological toolbox, both during the fieldwork stage and the scientific study of the results. They can be utilized in conjunction with 3D computer imaging techniques, which have been developing more and more dynamically since the 1980s and have contributed significantly to the promotion of the idea of archaeological heritage.

This paper has been written on the basis of the results of a project of the National Science Centre 2013/09/B/HS3/03334 entitled *Ceramic ware as a carrier of ideas and knowledge in early agricultural societies in the Upper Vistula River Basin. Micro- and macro-scale studies using research methods associated with mineralogy and digital techniques* carried out under the guidance of Professor S. Kadrow. One of the aims of the project was to produce 3D documentation of a Neolithic artefact assemblage, to reconstruct the finds qualifying for that purpose and to produce visualisations of the results.

3D digitisation was mostly performed using a Smarttech archeo 5MPix LED scanner based on the structured light technology. In two cases, Agisoft Photoscan photogrammetric software was used. The modelling and visualisation work was performed with the software: 3ds Max, Blender, Adobe Photoshop, Zbrush and Rhinoceros.

The reconstructions were modelled on the basis of digital representations of scans of the original fragments by adding successive layers of reconstructed shape directly onto the recorded artefact (Fig. 1). In accordance with the adopted method, fragmented artefacts which had not been physically reconstructed by restorers were computer-modelled in two versions: (a) reconstruction of a solid white body, deprived of most ornamental details, with embedded scans of original fragments, resembling a vessel filled up with gypsum (Fig. 2), and (b) proposed reconstruction of the original appearance of the object (Fig. 3). This solution facilitates identification of restored elements and verification of the substantive correctness of the reconstruction.

In several cases, e.g. an amphora representing the Malice Culture from site 14, 15 in Targowisko (Fig. 4) and a ceremonial altarpiece from site 5 in Modlnica (Fig. 5), archaeologists had to rely on analogies with other finds. After verification of the reconstructed shape, the level of detail of the polygonal grid was increased and the item was finished using the Zbrush software (Fig. 6). Forms of ornaments were reconstructed on the basis of preserved fragments (Fig. 7).

The last stage involved visualisation of the results. The files describing digitized artefacts (in the form of point clouds or polygonal grids) enable measurements and analyses, and thus provide a useful material for further studies (Fig. 8). However, specialized software is required for processing. Therefore, all objects have been visualized in the form of rendered images (Fig. 9); 3D animations have been made, too. Some of the materials have already been shared and their number will be gradually increasing.

Modern visualisation technologies have a significant effect on the perception of the surrounding world, including cultural heritage. When used correctly, they may contribute greatly to increasing the circle of recipients of cultural goods and to promoting the idea of archaeological heritage.