

Maksym Mackiewicz
Instytut Archeologii
Uniwersytet Wrocławski
Wrocław

Zastosowanie skanera 3D w procesie dokumentacji archeologicznej. Możliwości i perspektywy

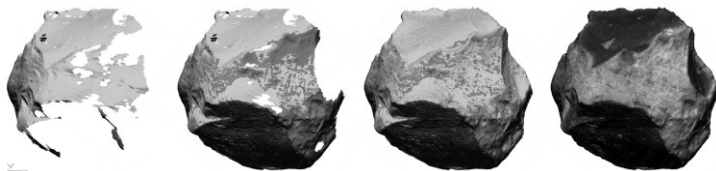
Od ćwierćwiecza wraz z rozwojem techniki informatycznej i optycznej, obserwujemy zmieniający się obraz prowadzenia dokumentacji archeologicznej. Być może, nie dorównuje on galopującemu tempu tego progresu, a nowinki nieśmiało trafiają na teren wykopalisk, ale środowisko archeologiczne, zwłaszcza grupa metodyków-badaczy, od kilku lat postuluje potrzebę zaktualizowania standardów prowadzonej dokumentacji o ogólnie dostępne możliwości techniczne. Użytkowanie aparatów cyfrowych, a następnie komputerowe przetwarzanie zdjęć do postaci ortofotografii staje się wygodnym i praktycznym standardem. Użytkowanie cyfrowego tachimetru na wykopie również nie jest już widokiem nadzwyczajnym, a koszt takiego sprzętu jest w zasięgu niewielkich firm świadczących usługi archeologiczne. Niewątpliwie stosowanie nowoczesnego sprzętu jest wielkim ułatwieniem dla badaczy. Wpływa nie tylko na poziom badań, ale i wygodę pracy. Warunkiem jest jednak samo opanowanie obsługi sprzętu, którego działanie nie jest intuicyjne, często wymaga dodatkowego przeszkolenia lub chociaż dokładnej lektury instrukcji obsługi (co, wbrew pozorom, nie wydaje się być praktyką powszechnie stosowaną). Dostępność nowoczesnych urządzeń, a także liczne oprogramowania do analizowania pobranych danych pozwala archeologom zająć się wieloaspektowym opracowaniem materiałów. Często sami posiadają sprzęt i potrzebne przygotowanie, co pozwala przejąć obowiązki zarezerwowane niegdyś dla przedstawicieli innych dziedzin. Umiejętność podstawowej obsługi urządzeń geodezyjnych przejęli archeolodzy. Opracowanie planigrafii

znalezisk czy warstwicowego planu stanowiska nie jest już trudnością, a zawodowy fotograf na wykopaliskach pojawia się jedynie wraz z dziennikarzem z prasy lokalnej zainteresowanym wynikami badań. Technologia komputerowa niezwykle ułatwia archiwizowanie, kopiowanie lub przesyłanie danych, a także wstępne ich przygotowanie do prezentacji czy druku. Dokładność takiej dokumentacji przewyższa tę prowadzoną manualnie, a mechanika całego procesu wpływa na wydajność pracy. Szczególnie ważną zaletą tej formy dokumentacji, gdzie część obowiązków przejmuje aparatura, jest możliwe zminimalizowanie efektu subiektywizmu dokumentalisty oraz wyeliminowanie praktyki wstępnej interpretacji na etapie jej wykonywania (czego duże znaczenie podkreślają Urbańczyk 2002, Tyszczyk 2006).

Najnowszą nowinką jaka skupiła na sobie uwagę archeologów są digitizery 3D, popularnie określane skanerami 3D. Istotą ich działania jest możliwie dokładne odwzorowanie bryły skanowanego obiektu i odtworzenie jej w pamięci komputera. Nowoczesne urządzenia bazują zwykle na technologii laserowej, pozwalając pobrać niezbędne pomiary bez dotyknięcia odwzorowywanego przedmiotu. Uproszczając, zasadę jego działania możemy porównać do tachimetru laserowego, gdzie na podstawie czasu pomiędzy emisją a powrotem wiązki światła, a także znanemu kierunkowi pod jakim wysyła je urządzenie, zapisywane jest położenie punktu w trójwymiarowej przestrzeni¹. Jednorazowy pomiar o rozdzielczości kilkudziesięciu tysięcy punktów pozwala na odwzorowanie całej płaszczyzny, zapisywanej w pamięci w postaci tzw. chmury punktów, następnie wyświetlanych w postaci siatki trójkątów lub cieniowanych powierzchni. Odwzorowanie całej bryły bez „zaciemionych” ubytków (tzw. „martwych pól”) wymaga wykonania kilku do kilkunastu skanów z różnych stron obiektu. Wyniki pomiarów są następnie

¹ Starsze urządzenia opierały się na metodzie dotykowej i rejestrującym powierzchnię czujniku umocowanym na ruchomym ramieniu. Technologia również popularną wśród urządzeń bezdotykowych jest emitowanie pasów światła i rejestracji ich załamania się na powierzchni przedmiotu.

łączone w jedną całość, tworząc pełny model (Ryc. 1). Obecnie produkowane urządzenia posiadają dużą rozdzielczość optyczną, cechują się dokładnością do ułamków milimetrów, a oprócz położenia punktów, potrafią rejestrować dane o kolorze, co pozwala na uzyskanie modelu niemal w rzeczywistym stopniu oddającego geometrię i teksturę przedmiotu. Powierzchniowy sposób zbierania punktów pociąga za sobą pewne ograniczenia, utrudniając lub całkowicie uniemożliwiając zeskanowanie, np. wnętrza naczyń. Wyroby o powierzchni odbijającej lub przepuszczającej światło wymagają wstępnego przygotowania i pokrycia powierzchni substancją o konsystencji talku zapobiegającej powstawianiu refleksów.



Ryc. 1. Poszczególne etapy skanowania rdzenia magdaleńskiego i ostateczny wynik – model z nałożoną teksturą. Opracowanie: M. Mackiewicz.

Istnieje szereg różnych systemów przeznaczonych do skaningu laserowego różniących się parametrami i zastosowaniem. Inną charakterystyką cechuje się aparatura do wykonywania skanów obiektów niewielkich (np. zabytków ruchomych), inne wymagania stawia się urządzeniom przeznaczonym do odwzorowywania budynków czy całych wnętrz. Wśród najbardziej popularnych systemów należałoby wymienić: *Konica-Minolta*, *Cyrax*, *Riegl*, czy *Polhemus*.

Oddzielną grupą urządzeń są systemy digitizowania dużych powierzchni terenu za pomocą wiązki lasera z pokładu samolotu czy samochodu, np. *LIDAR*. Ich rozdzielczość i dokładność nie może się równać z pomiarami zebranymi z użyciem Total Station, jednak pozwala stworzyć odwzorowanie znacznie szybciej.

Wraz z mnogością systemów, pojawia się zróżnicowane i niestety nieujednoliczone oprogramowanie używane do przetwarzania danych. W większości wypadków pozwala jednak na zapisanie pomiarów w uniwersalnych formatach plików (*dxf*, *obj*, *vrml*), umożliwiającą dalszą obróbkę w aplikacjach typu CAD (np. *AutoCAD*) czy programach do wizualizacji (np. *3D Studio MAX*).

Skanery 3D zaprojektowane były przede wszystkim jako narzędzia do zastosowań przemysłowych. Wykorzystywane są w kontroli jakości, przy badaniu geometrii pojazdów, okrętów i elementów konstrukcyjnych, we wzornictwie przemysłowym, a ostatnio, także w dokumentacji zabytków i dziedzictwa kulturowego. Sposoby na użycie omawianej aparatury w archeologii zależą głównie od wyobraźni badacza. W przypadku digitizerów przeznaczonych do skanowania niewielkich przedmiotów, podstawowym zastosowaniem jest skanowanie zabytków ruchomych. W niektórych konstrukcjach przy zastosowaniu zmiennej optyki możliwe jest dokładne odwzorowanie przedmiotów o rozmiarach kilku centymetrów do ponad metrowych. Skanowanie większych obiektów wymaga łączenia kilku skanów w jedną całość. Bezdotykowy charakter zbierania pomiarów jest szczególnie cenny w przypadku materiałów delikatnych, w większym stopniu podatnych na zniszczenia. Będą to przede wszystkim zabytki drewniane, z kości lub poroża, a także szklane. Szczególnie podkreśla się potrzebę wykonywania dokumentacji trójwymiarowej materiałów antropologicznych. Jest to istotne zarówno z powodu ułatwień w zbieraniu pomiarów, łatwości ich archiwizacji, jak i z szacunku do ludzkich szczątków, które powinny zostać pochowane ponownie (Tyszczyk 2003, s. 50).

Część urządzeń pozwala na wykorzystanie ich w terenie. Rozstawiane na trójnogu i zasilane, np. z akumulatora samochodowego, pozwalają także na samodzielną pracę bez potrzeby podłączania ich do komputera, co ogranicza do minimum ilość sprzętu i niepotrzebnych kabli. Do jego obsługi wystarcza jedna osoba, a sam sprzęt mieści się do bagażnika niewielkiego samochodu. Pozwala na skanowanie obiektów *in*

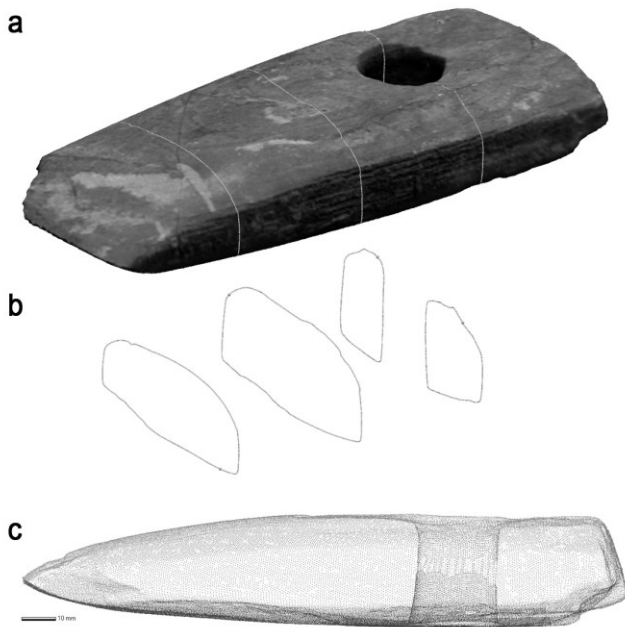
situ i sporządzanie dokładnej dokumentacji polowej. Urządzenie umożliwia zarówno skanowanie większych obszarów, jak całych powierzchni murów czy bruków odkrywanych podczas prac wykopaliskowych, a także inwentaryzacje architektury, skupiając się przy tym na detalach. Pozwala także na skanowanie obiektów narażonych na zniszczenia podczas wyciągania z ziemi lub tych, których nie można wyciągnąć w całości. Mogą to być szczególnie delikatne i łamliwe pozostałości kostne gatunków wymarłych, których wydobywanie wymaga zwykle specjalnego usztywnienia całości gipsem czy też popularne, również wyciągane we fragmentach, relikty konstrukcji drewnianych. Skanowanie w ten sposób studni przed jej wyciągnięciem, poza dokładnym odwzorowaniem (z zachowaniem wszelkich szczegółów, w tym nawet faktury drewna) jest doskonałym materiałem ilustracyjnym, źródłem danych metrycznych, jak i bazą do późniejszej jej rekonstrukcji z zakonserwowanych już elementów. Skanowanie pochówków ciepłopalnych eksplorowanych zwykle do poziomu calca, pozwala na zachowanie nie tylko ułożenia zabytków, ale także ich szczegółów, jak np. wymiary naczyń, ornament, stan zachowania. Dokumentacja takiego obiektu przez wprawno operatora sprzętu zajmie porównywalną ilość czasu co podstawowa i schematyczna dokumentacja rysunkowa. Przy obiektach bogatych w szczegóły i o skomplikowanych kształtach – stosunek ten wyraźnie będzie się przechylał na korzyść dokumentacji mechanicznej. Ciekawe efekty prezentuje skanowanie architektury, w tym budownictwa drewnianego. Wiele zabytkowych kościołów nie jest obiektem zainteresowania konserwatorów do momentu, gdy ten zawali się lub ulegnie spaleni. Poza bryłą budynku, sprzęt uchwyci także elementy konstrukcyjne. A skanując wnętrza, możemy uzyskać szczegółowy obraz szkieletu czy konstrukcji dachu. Jako przykład „wnętrza” możemy potraktować jaskinie. Skanowanie pozwala na zapis nie tylko geometrii, ale także na uchwycenie szczegółów takich, jak malowidła czy ryty. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby w następnym etapie dane te po-

łączyć z planografią zabytków czy wykorzystać w celach wizualizacji.



Ryc. 2. Ceramika naczyniowa kultury lendzielskiej (Jordanów Śląski, gm. loco) – odwzorowanie przestrzenne w postaci teksturowanego modelu, chmury punktów i przekroju. Opracowanie: M. Mackiewicz.

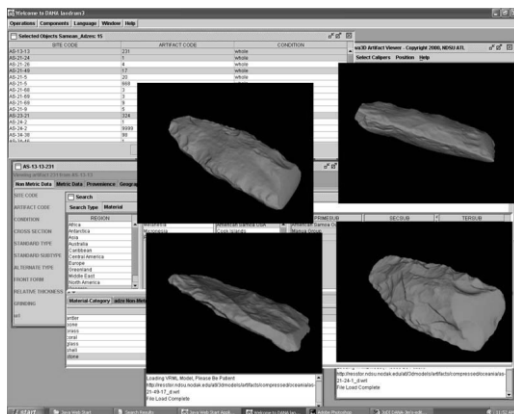
Wirtualne odwzorowanie geometrii przedmiotu cechuje się dużą dokładnością, sięgającą nawet setnych części milimetra, a oprogramowanie pozwala na wygodne pobranie wszelkich wymiarów przedmiotu (np. od punktu do punktu, punktów skrajnych), zmierzenie średnic czy kątów. Jednocześnie pozwala na utworzenie dowolnych rzutów izometrycznych, zarysowanie konturów czy wykonanie przekrojów często trudnych do uzyskania drogą tradycyjną (Ryc. 2, 3). Zastosowanie dodatkowych narzędzi pozwala na obliczanie powierzchni czy wyliczanie objętości (np. materiałów zużytych na budowę, pojemności skanowanych naczyń). Wszystkie efekty są czytelne i łatwe do dalszej publikacji w formie drukowanej bądź cyfrowej.



Ryc. 3. Rejestracja przestrzenna motyki kamiennej wiązanej z kulturą ceramiki wstęgowej klutej z Dzielnicy (gm. Cisek): a – rzut izometryczny z zaznaczonymi liniami cięcia, b – przekroje, c – widok w postaci chmury punktów. Opracowanie: M. Mackiewicz.

Pliki modelu, zależnie od rozdzielczości skanowania, wielkości obiektu i formatu w jakim są zapisane, zajmują od kilkuset kilobajtów do kilkudziesięciu megabajtów, co sprawia, że są one łatwe w archiwizacji. Ich niewielkie rozmiary umożliwiają przesłanie modelu jako załącznika do wiadomości email, pozwalając badaczowi na przyjrzenie się konkretnym cechom zabytku, co często nie jest możliwe w przypadku fotografii, jak i samodzielnemu pobraniu niezbędnych wymiarów. Idealnym rozwiązaniem byłoby stworzenie internetowego archiwum – szerokodostępowej bazy danych zabytków, uzupełnionej poza fotografiami, o modele 3D. Jako przykład można wymienić system inwentaryzacji zabytków

DANA (Digital Archive Network for Anthropology) uruchomiony na Uniwersytecie Stanowym Dakoty Północnej w Fargo, USA (Clark, Stator, Perrizo i in. 2002) (Ryc. 4).



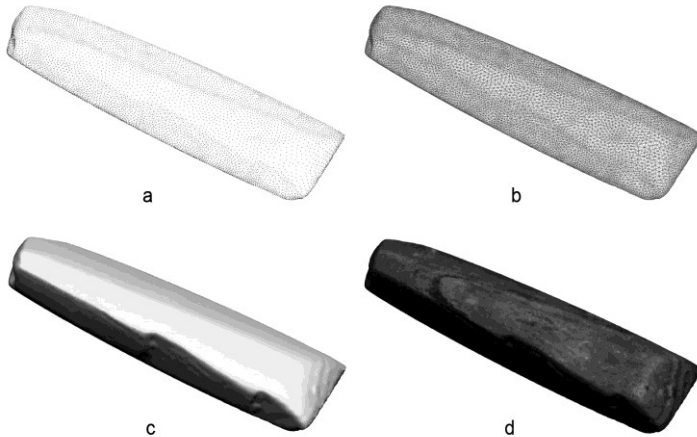
Ryc. 4. System *DANA* z uruchomioną przeglądarką modeli trójwymiarowych (Clark, Stator, Perrizo i in. 2002).

Użyteczność trójwymiarowego modelu nie kończy się na dokumentacji, a może być narzędziem dalszego etapu studiów. Mijamy jednak świadomość, jak wąski jest rynek oprogramowania skierowanego do archeologów. Ilość specjalistycznych narzędzi jest niewielka, co zmusza badaczy do współpracy z programistami i proponowania własnych rozwiązań lub dostosowania mechanizmów już istniejących. Dla przykładu narzędzia zaprojektowane do kontroli jakości można ukierunkować na kontrolowanie poszczególnych cech całej grupy zabytków, np. w celu poszukiwania egzemplarzy wykonanych z jednej formy. Patrząc w przyszłość, przełomem byłyby programy umożliwiające tworzenie statystyk, automatycznie wyłapywanie wspólnych i różniących cech zabytków, aż po proponowanie podziałów typologicznych. Aplikacje samodzielnie wykonujące składanki czy łączące fragmenty naczyń w jedną całość, dziś wydają się być bardzo odległe.

Nie można także pomijać potrzeby tworzenia wizualizacji. Trójwymiarowa rejestracja zamku stanowi znakomitą bazę dla prezentacji poszczególnych jego faz przebudowy. Odwzorowanie obiektu w połączeniu z efektem skanowania terenu, uzupełnione o tekstury, umożliwia tworzenie stylizowanych rekonstrukcji w pełnej realizmu, otaczającej go scenarii. Te w postaci obrazów lub animacji, umieszczone w Internecie, pozytywnie wpływają na popularyzację archeologii i dziedzictwa kulturowego.

Modele trójwymiarowe równie dobrze prezentują się w postaci „wirtualnych muzeów”. Aplikacje umieszczone na stronach internetowych dają użytkownikowi możliwość obrócenia zabytku, obejrzenia z dowolnej strony czy zbliżenia na konkretny szczegół.

Dodatkowym atutem modelu jest jego czytelność, co można zastosować w celach publikacyjnych. Można użyć schematycznego sposobu wyświetlania jaki oferuje nam oprogramowanie. W przypadku prostych brył wystarczająco klarowna jest chmura punktów (*cloud*), a przy bardziej skomplikowanych kształtach – widok siatki trójkątów (*wireframe*) lub modelu z wygładzoną i cieniowaną powierzchnią (*surface*). Ostatni tryb pozwala także na nałożenie tekstury (Ryc. 5). Obróbka modelu w programie CAD, umożliwiająca podkreślenie krawędzi płaszczyzn, pozwala na uzyskanie obrazu w formie szkicu, zbliżonego do rysunku technicznego.



Ryc. 5. Siekierka kamienna z Dzielnicy (gm. Cisek, woj. Opolskie). Różne tryby wyświetlania modelu: a – chmura punktów, b – siatka trójkątów, c – wygładzona powierzchnia, d – wygładzona powierzchnia z teksturą. Opracowanie: M. Mackiewicz.

Model trójwymiarowy można wykorzystać jako bazę do stworzenia repliki przedmiotu. Gdy w przypadku narzędzia kamiennego możemy wykonać formę silikonową i odlew gipsowy, tak w przypadku zabytków delikatnych możliwości wykonania kopii są utrudnione. Poza tym, do wykonania formy niezbędne jest posiadanie samego znaleziska. W przypadku, gdy przedmiot ulegnie zniszczeniu lub zaginie odtworzenie kształtu jest niemożliwe. Technologia obrabiarek sterowanych komputerowo pozwala na odwzorowanie kształtu modelu w różnego rodzaju tworzywach z dokładnością sięgającą ułamków milimetra². Detal wykonany w kamieniu, bezpośrednio po obróbce może zastąpić wybrakowany element historycznej architektury, a repliki w drewnie czy porożu, wyglądają niezwykle realistycznie i mogą być kopiami muzealnymi.

² Najbardziej popularną metodą pozwalającą na wytworzenie bryły przedmiotu na podstawie modelu cyfrowego jest zastosowanie sterowanych komputerowo obrabiarek (CNC) oraz droższe, choć bardziej dokładne, odtwarzanie skomplikowanych kształtów w tworzywie sztucznym techniką stereolitografii laserowej (*Rapid Prototyping*).

Stworzona w ten sposób rekonstrukcja wykonana w trwałym materiale może pełnić funkcje egzemplarza dydaktycznego przede wszystkim ze względu na dokładne odwzorowanie geometrii. Wirtualny model równie dobrze może zostać użyty jako podstawa do projektu całego procesu produkcyjnego pamiątek muzealnych oddających kształt konkretnego zabytku.

Przewagę dokumentacji trójwymiarowej nad tradycyjną w formie rysunku lub fotografii, doskonale prezentuje dokumentacja konserwatorska rzeźby *Dawida* autorstwa Michała Anioła (Scopigno, Cignoni, Callieri i in. 2003). Model trójwymiarowy zachowuje najdrobniejsze szczegóły (Ryc. 6). Pozwala przy tym na zarysowanie przekroju w dowolnym miejscu – co w manualnie wykonywanej dokumentacji często okazałoby się niemożliwe. Taka forma rejestracji pozwala na kontrolowanie stanu zabytku, powstających na nim ewentualnych zniszczeń i zgodne z uprzednio przeprowadzoną dokumentacją – uzupełnienie braków. Szersze zastosowanie modelu pozwala na tworzenie duplikatów czy dalsze wykorzystanie cyfrowej postaci *Dawida* w formie wizualizacji czy animacji.



Ryc. 6. Fragment dokumentacji trójwymiarowej rzeźby Michała Anioła. Kontury są przekrojami nóg postaci wykonanymi na różnych wysokościach rzeźby (za Scopigno, Cignoni, Callieri i in. 2003).

Działania na wirtualnym modelu pozwalają na uwytklenie słabo widocznych szczegółów. Odpowiednie jego przeskalowanie lub ustawienie światła ułatwia odczytanie za-

tartych rytów naskalnych lub inskrypcji z epitafiów czy stel kamiennych. Przeprowadzona w ten sposób dokumentacja jest szczególnie cenna w przypadku obiektów stojących w otwartym terenie, narażonych na działanie pogody, jak i różnorodnych aktów wandalizmu. Grupa archeologów zrzeszonych w organizacji *Wessex Archaeology* w analogiczny sposób podjęła się dokumentowania napisów rytých nożami w korze drzew przez żołnierzy na obszarze działań wojennych w czasie I i II wojny światowej. Poza umożliwieniem odczytu zniekształconych przez rozrost drzew inskrypcji, miało to drugie znaczenie – utrwalenia świadectwa historii w naturalny sposób podatnego na zniszczenia (Goskar 2008) (Ryc. 7). Niestety dokładność pomiarów wciąż jest zbyt mała, aby użyć podobnych metod do odczytywania małych napisów z drobnych zabytków, np. zatartych numizmatów.



Ryc. 7. Skan powierzchni drzewa z uwidocznioną inskrypcją (za Goskar 2008).

Chociaż sama technologia nie jest nowa, tak stosowanie tej metody w archeologii wciąż jest traktowane jako „nowinka”. Na jej małą popularność, tego wygodnego i perspektywicznego, systemu dokumentacji wpływa zapewne wiele czynników. Główną barierą jest cena sprzętu i niezbędnego oprogramowania będąca często ponad możliwości przeciętnej

firmy archeologicznej. Również cena za wykonanie dokumentacji znaleziska w firmie świadczącej tego typu usługi jest wydatkiem co najmniej kilkuset złotych od zabytku (co zdaje się być efektem niewielkiej konkurencji). Kolejną kwestią jest umiejętność obsługi sprzętu oraz oprogramowania. Programy często nie są intuicyjne, co wymaga przeszkolenia się samego badacza lub zatrudnienia pracownika technicznego jako operatora. Zniechęcać może fakt wielu aplikacji przeznaczonych do obsługi skanera, gdzie ich wybór determinowany jest przez cenę i współpracę z danym typem urządzenia, a nie wynika z oferowanych możliwości i opcji potencjalnie przydatnych w dokumentacji archeologicznej. Brakuje wielofunkcyjnej aplikacji powstałej nakładami doświadczonej firmy gwarantującej dalszy jej rozwój i wypuszczanie regularnych aktualizacji poprawiających stabilność i funkcjonalność programu.

Znaczna część winy za „niewspółcześnie” prowadzoną dokumentację spada na samych badaczy. Wielokrotnie, posiadający umiejętności obsługi komputera (ograniczające się edytora tekstu), nie widzą potrzeby dostosowania się do nowych standardów lub co gorsze, ślepo bronią metod wpojonych im w czasie studiów. Brak potrzeby doształcenia się archeologów, utwierdza bierna postawa służb konserwatorskich, które nie zwiększają wymagań wobec prowadzonej dokumentacji, zmuszając badaczy do prowadzenia jej w postaci cyfrowej godnej XXI wieku.

Metodyczne studia prowadzone przez wiele ekip badawczych na całym świecie działają na korzyść rozwoju zastosowań i popularyzacji skanerów 3D. Często ścigają się w odnajdywaniu nowych zastosowań, chętnie dzieląc się uwagami i nowymi pomysłami powstającymi podczas realizacji kolejnych projektów. Problemowe artykuły bardzo licznie publikowane są w Internecie, zapewniając do nich szeroki dostęp i możliwość wykorzystania, a także dalszego rozwoju, przedstawionych konceptów.

Nowoczesne technologie w polskiej archeologii pojawiają się bardzo rzadko, a w przypadku skanerów 3D jest to

metoda wciąż mało znana. Można jednak odnotować pozytywne przykłady i wskazać kilka udanych projektów. Pierwsze wzmianki w polskojęzycznej literaturze sygnalizujące możliwości szerokiego zastosowania digitizerów w dokumentacji dziedzictwa kulturowego pojawiły się w 2003 roku (Gołembnik 2003, 2004, Tyszczyk 2003). Poligonem doświadczalnym dla nowatorskich metod stały się interdyscyplinarne badania wykopaliskowe Pałacu i Ogrodach Królewskich w Wilanowie prowadzone przez A. Gołembnika od 2003 roku. System prowadzonej dokumentacji, zdecydowanie wyróżniał się na tle powszechnie stosowanych praktyk. Odbiło się to także w wysokim poziomie edytorskim sprawozdawczej publikacji (Gołembnik 2004, Gołembnik, Jankowski 2005). Wspecjalizowane rodzime firmy zaznaczają swoją obecność również w projektach międzynarodowych, np. podczas wykonywania skaningu zabytkowego miasteczka Atturaif w Arabii Saudyjskiej. Projekt obejmował teren 50 ha, który zinwentaryzowano wykonując ponad 2100 skanów (Pudło 2008).

Optymizmem może napawać analogiczna sytuacja jaką można było zaobserwować kilkanaście lat temu, gdy na rynek wchodziły programy CAD. Konstruktorzy i architekci zgodnie twierdzili, że nic nigdy nie zastąpi kalki i tuszu, a teraz żaden z nich nie wyobraża sobie powrotu do okresu „przedkomputerowego”.

Bibliografia

- Clark J. T., Slator B. M., Perrizo W. i in.
2002 Digital Archive Network for Anthropology, *Journal of Digital Information*, vol. 2, is. 4. (<http://jodi.tamu.edu/Articles/v02/i04/Clark/>).
- Gołembnik A.
2003 Archeologia na wirażu, *Ochrona Zabytków*, nr 1-2, s. 135-150.
2004 Pałac i ogrody w Wilanowie – badania archeologiczne Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków w sezonie 2003, *Monument. Studia i materiały KOBiDZ*, nr 1, s. 135-160.

- Golembnik A., Jankowski A.
 2005 Badania archeologiczne Ogrodów Królewskich w Wilanowie – sezon 2004/2005, *Monument. Studia i materiały KOBiDZ*, nr 2, s. 275-304.
- Golembnik A., Morysiński T.
 2004 Czas na nowe technologie, *Ochrona Zabytków*, nr 1-2, s. 93-103.
- Goskar T.
 2008 *Lasers and Light*, Wessex Archaeology. (<http://www.wessexarch.co.uk/blogs/computing/2008/10/06/lasers-and-light>)
- Pudło M.
 2008 Laser w arabskim Atturaif, *Geodeta*, nr 4 (155), s. 4-8.
- Scopigno R., Cignoni P., Callieri M. i in.
 2003 *Using optically scanned 3D data in the restoration of Michelangelo's David*. Optical Metrology for Arts and Multimedia, (red.) Salimbeni R. (http://vcg.isti.cnr.it/publications/papers/david_rest_spie.pdf)
- Tyszczyk S.
 2003 Matrix, *Archeologia Żywa*, nr 3 (26), s. 50-54.
 2006 Mechaniczny proces dokumentacji – zagrożenie czy szansa dla interpretacji? [w:] *Badania archeologiczne na Górnym Śląsku i ziemiach pogranicznych w latach 2003-2004*, s. 259-273.
- Urbańczyk P.
 2002 Koniec rysowania?, *Archeologia Żywa*, nr 4 (23), s. 53-56.

Abstract

Since few years, along with IT technology development, we have been observing a trend towards digitization of the archaeological documentation. Traditional photography has been replaced by digital cameras, extemporary field drafts created with pencil are transmitted to digital format using CAD software. GPS and Total Station on the fieldwork became a standard. Within last few years, the 3D digitizers riveted archaeologists to create a virtual model of product on the computer screen. 3D software allows to see the model from each side, draw a cross section and take every metric data. Moreover, the model files can be easily send by email.

Capabilities of the virtual model do not end with the documentation. We can keep it in a database, publish as a 'virtual museum' or use it as a base of replica production. Variety of application is only a matter of imagination.