

Jacek Karmowski^a

orcid.org/0000-0001-8034-0694

Zastosowanie środowiska 3D w badaniach nad dziedzictwem prehistorycznym Jordanii. Przykłady z projektu Heritage-Landscape-Community

Applications of 3D Environment in the Research on the Prehistoric Heritage of Jordan: Examples Form the Heritage-Landscape-Community Project

Słowa kluczowe: technologia 3D, fotogrametria, analizy widoczności, rzeczywistość wirtualna, archeologia

Keywords: 3D technology, photogrammetry, visibility analysis, virtual reality, archaeology

Wprowadzenie

Współcześnie w ochronie i badaniach nad dziedzictwem materialnym jesteśmy świadkami stałego wzrostu zastosowania metod wykorzystujących środowisko 3D [Dell'Unto 2014, s. 56]. Trend ten widoczny jest również w archeologii, gdzie gromadzenie danych trójwymiarowych jest powszechne już od dłuższego czasu [Forte 2014, s. 115–129]. W większości przypadków jednak analizy i wyniki prac w oparciu o dane 3D były przedstawiane w tradycyjnej dwuwymiarowej formie. Ostatnio dzięki postępom technicznym oraz ich większej dostępności powoli zauważa się przejście z prezentowania i analizowania danych trójwymiarowych w formie 2D do odtwarzania i analizowania ich w środowisku 3D, także jako element pracy terenowej [Virtual reality 2000].

Projekt Heritage-Landscape-Community (HLC) w swoich pracach również stara się jak najlepiej wykorzystać możliwości, które oferuje stosowanie oprogramowania 3D. Niniejszy artykuł ma na celu zaprezentowanie przeglądu metod dokumentacji, analizy

Introduction

Today in tangible heritage protection and research we are witnessing a constant growth in the application of methodologies using 3D environments [Dell'Unto 2014, p. 56]. This trend is also visible in archaeology where recording data in three dimensions has been quite popular for a long time now [Forte 2014, pp. 115–129]. However, in most cases the analyses and results of working on 3D data have been communicated in traditional 2D fashion. Recently thanks to technological advances and its availability, a shift slowly appears from presenting and analyzing three-dimensional data in 2D to displaying and analyzing them in a 3D environment also as a component of field work [Virtual reality 2000].

The Heritage-Landscape-Community project (HLC) in its work also tries to implement the abilities of 3D software in the best way possible. This article aims to provide an overview of the 3D documentation, analysis, and dissemination approaches applied in archaeological research of the project.

^a dr, Instytut Archeologii, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

^a Ph.D., Institute of Archaeology, Jagiellonian University

Cytowanie / Citation: Karmowski J. Applications of 3D Environment in the Research on the Prehistoric Heritage of Jordan: Examples Form the Heritage-Landscape-Community Project. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2023, 73:117–131

Otrzymano / Received: 30.03.2022 • **Zaakceptowano / Accepted:** 15.11.2022

doi: 10.48234/WK73JORDAN

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

i rozpowszechniania w 3D, stosowanych w badaniach archeologicznych wspomnianego projektu.

Działania badawcze HLC prowadzone są od 2016 roku przez Uniwersytet Jagielloński we współpracy z Departamentem Starożytności Ministerstwa Turystyki i Starożytności Jordanii i obejmują dziedzictwo archeologiczne południowej Jordanii (dystrykt Tafila). Badania te koncentrują się głównie na pozostałościach z okresu Wczesnej Epoki Brązu oraz wcześniejszych kultur prehistorycznych, które odkryto w tym regionie. Podczas badań projektu zidentyfikowano i zweryfikowano szereg wcześniej nieudokumentowanych lub słabo rozpoznanych stanowisk archeologicznych. Głównym celem naszych działań jest ustalenie chronologicznych faz działalności człowieka w tym mikroregionie, zwłaszcza we Wczesnej Epoce Brązu, oraz ocena skali i charakteru obecności człowieka w tym okresie [Kołodziejczyk 2019, s. 31–50].

Dokumentacja w 3D

Proces dokumentacji w archeologii to bardzo istotny element stanowiący podstawę do dalszych badań i testowania hipotez. Tradycyjnie dokumentacja w archeologii opiera się na rysunkach artefaktów, planach architektonicznych i mapach stanowisk archeologicznych. Od lat osiemdziesiątych XX wieku, gdy do badań archeologicznych wprowadzono System Informacji Geograficznej (GIS), pozyskiwanie danych 3D i praca z nimi stały się bardzo istotne. Metody wykorzystujące GIS miały swoje wzloty i upadki pod względem popularności wśród archeologów. Obecnie jednak przez większość badaczy uważane są za niezaprzeczalnie użyteczne, a nawet niezbędne [Verhagen 2018, s. 11–25]. Do niedawna stosowanie dokumentacji GIS opierało się głównie na danych 3D zbieranych w postaci „surowych” współrzędnych, następnie chmur punktów, a teraz również w formie opartych na nich modeli 3D.

Zbieranie danych w lokalnych i globalnych układach współrzędnych stało się możliwe dzięki zastosowaniu urządzeń takich jak tachimetry i odbiorniki GPS (w tym GPS RTK o wysokiej dokładności pomiaru). W praktyce archeologicznej chmury punktów pozyskiwane są głównie dzięki wykorzystaniu technologii LiDAR, skanerów laserowych oraz fotogrametrii wykonywanej także przy użyciu odpowiednio wyposażonych dronów. W ramach projektu HLC staramy się korzystać z niektórych z tych metod [Karmowski 2017, s. 44–53]. W projekcie wykorzystujemy przede wszystkim fotogrametrię bliskiego zasięgu w celu dokumentacji obiektów nieruchomych, bazy GIS w układach lokalnych, wykorzystywane do dokumentacji prac polowych, oraz bazę GIS w układzie globalnym, w celu dokumentacji badań powierzchniowych. Wybór tych metod to rezultat kompromisu pomiędzy potrzebami wynikającymi z konkretnych zadań oraz możliwościami logistycznymi/czasem realizacji. W badaniach powierzchniowych, szczególnie w terenie górskim, gdzie materiał najczęściej nie znajduje się *in situ*,

The HLC activities are carried out since 2016 by the Jagiellonian University in cooperation with the Department of Antiquities, Ministry of Antiquities and Tourism of the Hashemite Kingdom of Jordan, and target the archaeological heritage of southern Jordan (Tafila district), focusing mainly on remains of the Early Bronze Age and earlier cultures that were found in the region. During research of the project several previously undocumented or poorly documented sites have been identified and verified. The main objective of the project is to establish chronological phasing of human activity in this microregion, particularly during the Early Bronze Age, and to assess the scale and nature of human presence in that period [Kołodziejczyk 2019, pp. 31–50].

Documentation in 3D

The documentation process is very important in archaeology, it constitutes the basis for further research and testing of hypotheses. Traditionally, documenting in archaeology is based on drawings of artefacts, architectural plans, and maps of archaeological sites. Ever since the 1980s when the Geographic Information System (GIS) was introduced in archaeology, obtaining and working with 3D datasets became very important. GIS methods have had their ups and downs in terms of popularity among archaeologists, but they are undeniably helpful in fieldwork and are now recognized as a must-have research tool [Verhagen 2018, pp. 11–25]. Until recently, the application of GIS documentation was based mostly on 3D data collected in the form of coordinates, then point clouds, and now also as 3D models based on them.

Data collection in local and global coordinate reference systems has been made possible by applying devices like total stations and GPS receivers (including very accurate GPS RTK). Point clouds in archaeological practice are mostly obtained via LiDAR, laser scanners, and photogrammetry made also with use of drones equipped with appropriate devices. Within the framework of the HLC project we are trying to benefit from some of those methods [Karmowski 2017, pp. 44–53]. In the project, we primarily use close-range photogrammetry to document archaeological features, GIS databases in local systems are used for documenting fieldwork, and a GIS database in a global system to document surface research. The selection of these methods is the result of a compromise between the needs arising from specific tasks and logistical/time constraints. In surface research, especially in mountainous terrain where materials are not usually found *in situ*, acquiring spatial data using a GPS receiver works better [Bryk, Chyla 2013, p. 19–29]. However, during archaeological excavations, using a total station, which provides greater measurement accuracy, is definitely necessary to register the location of artifacts and markers used for photogrammetry.

lepiej sprawdza się pobieranie danych przestrzennych z wykorzystaniem odbiornika GPS [Bryk, Chyla 2013, s. 19–29]. Natomiast podczas badań wykopaliskowych do rejestracji lokalizacji zabytków oraz pomiarów markerów fotogrametrycznych zdecydowanie niezbędne jest wykorzystanie tachimetru, który zapewnia większą dokładność pomiarów.

Niestety w Jordanii nie ma możliwości regularnego wykorzystywania dronów (ze względu na ograniczenia prawne), co znacznie ułatwiłoby wykonanie fotogrametrii. Nie ma też dostępu do pomiarów z ogólnokrajowego projektu, który publicznie udostępniłby dane LiDAR (jak np. w Polsce dzięki projektowi ISOK). Niektóre z tych problemów można rozwiązać przy pomocy prywatnych firm wyspecjalizowanych w świadczeniu usług geoinformatycznych, wiąże się to jednak z dość wysokimi kosztami. Na szczęście istnieją dane geoprzestrzenne dostępne publicznie, które można wykorzystać do takich celów. Jednym ze źródeł tych danych jest numeryczny model terenu (NMT) z Shuttle Radar Topography Mission (SRTM30). NMT to numeryczna reprezentacja powierzchni topograficznej, która dzięki wyspecjalizowanym algorytmom umożliwia odtworzenie kształtu terenu w danej lokalizacji. Projekt dostarczający te dane był realizowany wspólnie przez amerykańską Narodową Agencję Obrazowania i Mapowania (NIMA), Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA), Niemieckie Centrum Kosmiczne (DLR) oraz Włoską Agencję Kosmiczną (ASI). Jego celem było zmapowanie niemal całej kuli ziemskiej w 3D poprzez zbieranie danych topograficznych z wykorzystaniem interferometrii [van Zyl 2001, s. 559–565]. Odkąd dane z projektu zostały opublikowane w roku 2000, są one wykorzystywane w szerokim spektrum dyscyplin; m.in. w badaniach nad środowiskiem, badaniach społecznych czy w archeologii [Mukul et al. 2016, s. 909–917].

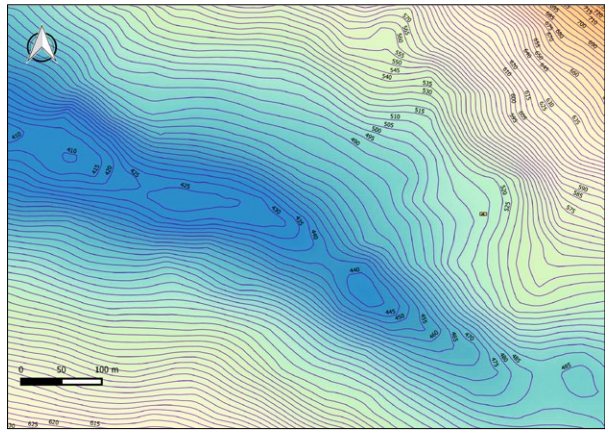
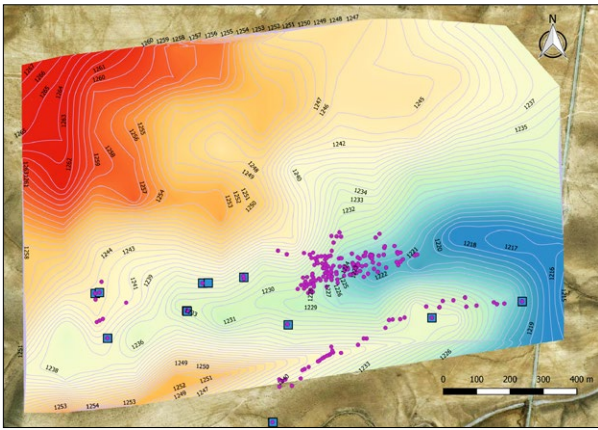
W projekcie HLC wykorzystujemy dane SRTM30 do celów dokumentacyjnych przy tworzeniu map warstwicznych obszarów, w których zlokalizowane są stanowiska archeologiczne. Rozdzielczość takich map nie jest wysoka (siatka 30×30 m), co sprawia, że nie nadają się one do pracy w niewielkiej skali (np. pojedynczego obszaru wykopalisk), ale z powodzeniem mogą być zastosowane do większych obszarów (ryc. 1). Tworzone tak mapy warstwiczne są zgeoreferowane, co umożliwia wprowadzenie na nie pomiarów GPS. Ten sposób najlepiej nadaje się zwłaszcza do wielkoskalowych badań powierzchniowych i pozwala szybko oraz niewielkim kosztem stworzyć mapy potencjału archeologicznego w danym regionie. Metoda ta umożliwia również pomiar odległości pomiędzy dowolnymi punktami, tworzenie profili wysokościowych między określonymi lokalizacjami czy obliczanie stref buforowych, wykorzystywanych do wyznaczenia obszarów objętych ochroną konserwatorską.

Opisana powyżej metoda jest bardzo przydatna w działaniach projektu, choć przedstawia raczej tradycyjny sposób wykorzystania danych trójwymiarowych

Unfortunatly in Jordan, it is not possible to use drones for photogrammetry on regular basis (due to legal restrictions) which would make producing photogrammetry easier. Sadly, it is also not possible to have access to measurements from a country-wide project that publicly provides LiDAR data (like for example in Poland, thanks to ISOK project). Some of these problems can be solved with help of third-party private companies specialized in providing geospatial services, but they are costly. Fortunately, there are publicly available geospatial data that can be utilized for such purposes. One source of it is free Digital Elevation Model (henceforth DEM) from Shuttle Radar Topography Mission (henceforth SRTM30). DEM is a numeric representation of topographical surface which thanks to specialized algorithms makes it possible to reconstruct the shape of the ground level in a given location. The project providing this data was carried jointly by US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), the US National Aeronautics and Space Administration (NASA), the German Aerospace Center (DLR), and the Italian Space Agency (ASI). Its objective was to map the nearly entire globe in 3D, by collecting topographic data using spaceborne radar interferometry [van Zyl 2001, pp. 559–565]. Ever since the data from the project were released in 2000, it have been used in a wide spectrum of disciplines, including earth studies, environmental studies, social studies and archaeology [Mukul et al. 2016, pp. 909–917].

For documentation purposes in the HLC project, we use SRTM30 data for creating contour maps of the areas with archaeological sites. The resolution of such a map is not high (grid resolution of 30 m), which makes it not suitable for small scale (i.e., a single excavation site) but it can be successfully applied for bigger landscapes (Fig. 1). Contour maps created this way are georeferenced, which makes it possible to introduce GPS measurements. This way is best suited especially for large-scale surface surveys and enables to quickly and cost-effectively produce maps of archaeological potential in a certain region. It also makes it possible to measure distances, create height profiles between certain locations, or calculate buffer zones that are later recommended to be taken under protection.

The approach described above is very useful but presents a rather traditional way of using 3D data in form of 2D representations. In our work, we also strive to benefit from three-dimensional data by creating documentation in a 3D environment in the form of photogrammetric models. Applying close-range photogrammetry and georeferencing it with control points taken with total station, enable us to obtain fully measurable textured 3D models that can be analyzed within 3D environment. This approach is beneficial in several ways: 1) it makes the documentation process faster and more accurate than traditional drawings made by hand (even those based on local coordinates); 2) allows one



Ryc. 1. Dwie mapy poziomicowe obszarów ze stanowiskami archeologicznymi odkrytymi podczas prac projektu HLC; u góry: stanowisko Faysaliyya; u dołu: stanowisko Munqata'a. Mapy zostały stworzone na podstawie danych SRTM30; oprac. autor

Fig. 1. Two contour maps of areas with archaeological sites discovered during the HLC project; top: Faysaliyya site; bottom: Munqata'a site; maps were created based on SRTM30 data; by the author



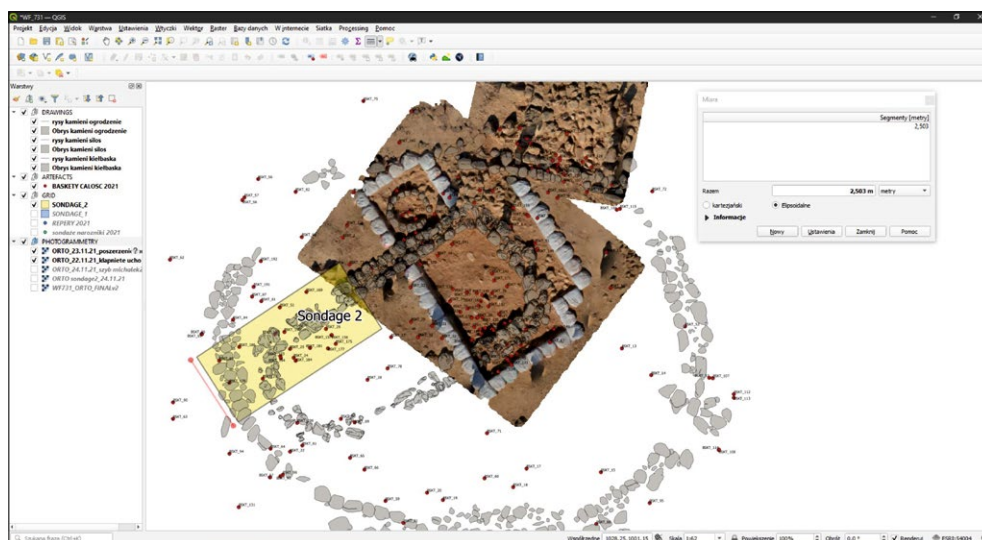
Ryc. 2. Modele 3D struktur przebadanych wykopališkowo; u góry: pomiary wybranych obiektów archeologicznych na stanowisku Huseiniya wykonane w środowisku 3D; u dołu: model 3D obiektu ze stanowiska Munqata'a obserwowany z bliźszej odległości i w korzystniejszych warunkach oświetleniowych, niż było to możliwe podczas prac terenowych; oprac. autor

Fig. 2. 3D models of excavated structures; top: measurements of selected archaeological objects at the Huseiniya site carried out in a 3D environment; bottom: a 3D model of an object from the Munqata'a site observed from a closer distance and under more favorable lighting conditions than was possible during fieldwork; by the author

do stworzenia reprezentacji (w tym wypadku mapy) w tradycyjnej dwuwymiarowej formie. W naszej pracy staramy się również czerpać korzyści z danych trójwymiarowych, tworząc dokumentację w środowisku 3D w postaci modeli fotogrametrycznych. Zastosowanie fotogrametrii bliskiego zasięgu oraz jej georeferencja z wykorzystaniem punktów kontrolnych uzyskanych za pomocą tachimetru, pozwalają uzyskać w pełni metryczne, teksturowane modele 3D, gotowe do dalszych analiz w samym środowisku 3D. Takie podejście przynosi szereg korzyści: 1) sprawia, że proces tworzenia dokumentacji jest szybszy i dokładniejszy niż tradycyjne rysunki wykonywane ręcznie (również te tworzone na podstawie współrzędnych); 2) pozwala na wykonanie pomiarów niezbędnych do celów dokumentacyjnych na samym modelu 3D, bez konieczności wykonywania czasochłonnych i niekiedy utrudnionych (np. z uwagi na warunki pogodowe) pomiarów w terenie; 3) ułatwia weryfikację poszczególnych etapów wykopališk i efektywniejsze planowanie kolejnych kroków, analizując codzienny postęp prac; 4) w niektórych przypadkach pozwala zauważyć obiekty, które ze względu na nieko-

to take the measurements necessary for documentation purposes on the 3D model, without the need for timely and sometimes difficult (for example due to weather conditions) measurement in the field; 3) Makes it possible to revisit certain stages of excavations and plan next steps more efficiently analyzing daily progress of works; 4) In some cases, it helps to notice some features that, due to difficult lighting conditions or limited accessibility, were not visible during the work in the field (Fig. 2).

Georeferenced photogrammetric models can also be used to create traditional plans (in this case based on orthophotomosaics) [Miszka et al. 2016, pp. 22–26]. It is possible to upload them in GIS software, where the combined documentation of all measured objects from a given site can be stored. Objects documented in this way are presented in an accurate spatial relationship to each other. In the HLC project, the GIS database of each archaeological site also includes the location of artifacts measured by a total station and drawings of objects based on the aforementioned orthophotomosaics (Fig. 3).



Ryc. 3. Zrzut ekranu z bazy danych GIS zawierających informacje o stanowisku Wadi Faynan-731; widoczna jest lokalizacja znalezisk, ortofotomozaiki i oparta na nich dokumentacja rysunkowa; oprac. autor

Fig. 3. A screenshot from the GIS database containing information about the Wadi Faynan-731 site; the location of the finds, orthophotomosaics, and the documentation based on them are visible; by the author

rzystne warunki oświetleniowe lub ograniczoną dostępność nie były widoczne podczas prac w terenie (ryc. 2).

Zgeoreferowane modele fotogrametryczne można zastosować również do tworzenia tradycyjnych planów (w tym wypadku opartych na ortofotomozaikach) [Miszka et al. 2016, s. 22–26]. Istnieje bowiem możliwość umieszczenia ich w oprogramowaniu GIS, w którym można przechowywać połączoną dokumentację wszystkich przebadanych obiektów z danego stanowiska. Zadokumentowane w ten sposób obiekty są prezentowane w dokładnej relacji przestrzennej względem siebie. W projekcie HLC baza danych GIS każdego stanowiska archeologicznego zawiera także lokalizację artefaktów zmierzoną tachimetrem oraz rysunki obiektów wykonane na podstawie wspomnianych ortofotomozaik (ryc. 3).

Analizy w 3D

Praca w środowisku 3D ma także potencjał analityczny, poszerzający ten obecny już w tradycyjnym podejściu do wykorzystania narzędzi GIS. Przedstawione poniżej analizy zastosowane w projekcie HLC mają na celu badanie stanowisk archeologicznych w różnych skalach, od szerszego kontekstu przestrzennego do konkretnego obiektu archeologicznego.

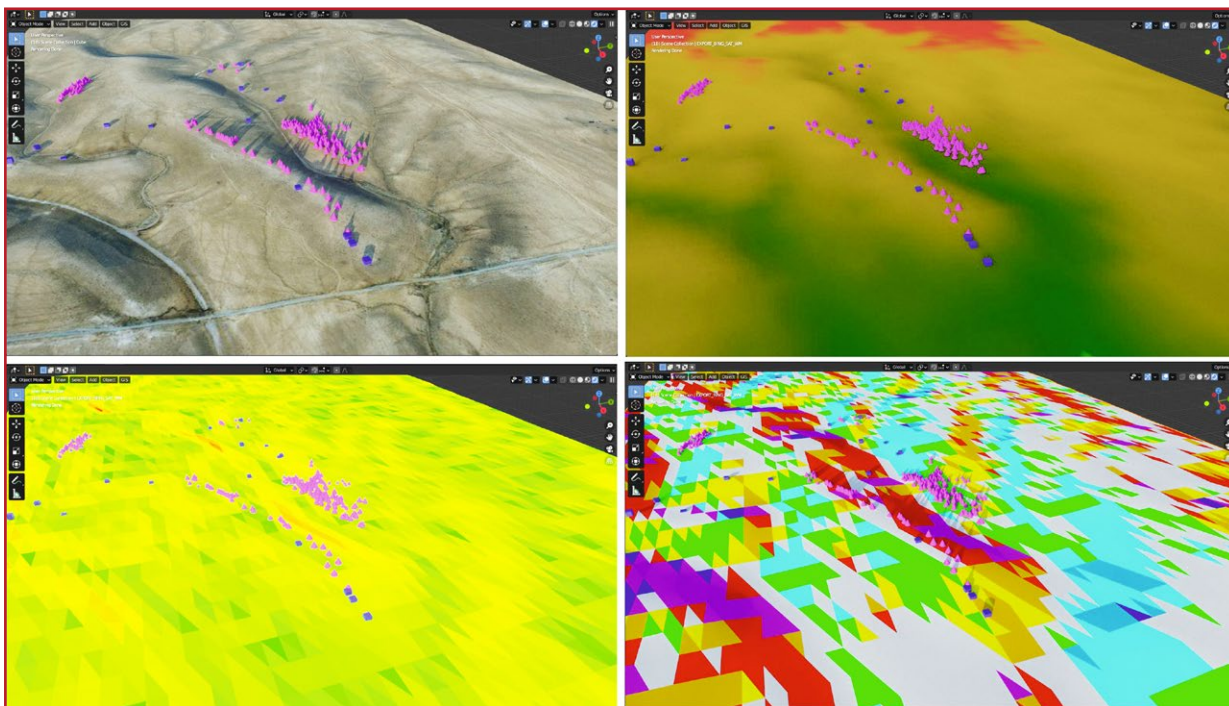
Po wygenerowaniu modelu 3D na podstawie danych z SRTM30 można go wykorzystać do różnych celów, takich jak proste analizy terenu, m.in. wizualizacja wysokości, analiza stromizny zboczy czy ich orientacja względem kierunków świata (ryc. 4). Te wstępne badania są przydatne na wczesnym etapie każdego zaplanowanego zadania projektu. Pomagają lepiej zrozumieć rzeźbę terenu i pozwalają po raz pierwszy zobaczyć go w szerszej perspektywie. Takie podejście ułatwia umiejscowienie w szerszym kontekście znajdujących się tam stanowisk archeologicznych.

Analysis in 3D

Working within a 3D environment also has analytical potential, broadening the one present in the traditional approach to GIS tool use. The analyses applied in the HLC project aim at the study of archaeological sites in different scales from broader spatial context to specific archaeological features.

After building a 3D model based on SRTM30 data, it can be used for various purposes like simple terrain examination, such as visualization of the height, steepness of the slopes or the orientation of the slopes (Fig. 4). These preliminary studies are useful in early stage of any planned field task. They help to understand the terrain relief, and allow to see it in a wider perspective for the first time. Such approach makes it easier to understand the broader context of the archaeological sites located therein.

When applying 3D techniques we also try to combine approaches known from analytical tools present in GIS [Agugiaro 2014, p. 106] with the possibilities of 3D software. Of course, creating a 3D virtual landscape itself does not constitute an analysis. The model is only a certain landscape presented in a three-dimensional, photorealistic manner. It can be based on numerical data (in this case DEM), and it is made of geometry (vertices, faces, edges) and texture (colorful raster fitted to the geometry) but if the 3D model is based on accurate data, it can give us a unique possibility to see a certain landscape from any point and perspective including so-called First Person Perspective (FPP) which aims at more personal and immersive experience of the observer (FPP is a popular term in, among other areas, video games). This kind of “virtual personal experience” is valuable and can be contrasted with the results of GIS analyses conducted on the same initial dataset.



Ryc. 4. Przykłady prezentacji i analiz wykonanych na trójwymiarowym modelu terenu: u góry po lewej: model terenu 3D z teksturą stworzoną na podstawie zobrazowań satelitarnych; u góry po prawej: model terenu 3D z kolorowym oznaczeniem wysokości; u dołu po lewej: model terenu 3D z kolorowym oznaczeniem stopnia stromości zboczy; u dołu po prawej: model terenu 3D z kolorowym oznaczeniem orientacji stoków względem kierunków świata. Wszystkie wizualizacje oparte są na tym samym modelu 3D i zawierają znaczniki struktur archeologicznych (fioletowe stożki i niebieskie sześciiany); oprac. autor

Fig. 4. Examples of presentations and analyses conducted on the 3D terrain model: top left: 3D terrain model with texture created based on satellite imagery; top right: 3D terrain model with colored height indication; bottom left: 3D terrain model with colored indication of slope steepness; bottom right: 3D terrain model with colored indication of slope orientation relative to the cardinal directions; all visualizations are based on the same 3D model and contain markers of archaeological structures (purple cones and blue cubes); by the author

Podczas stosowania technik 3D w badaniach projektu staramy się również łączyć potencjał właściwy dla narzędzi analitycznych obecnych w GIS [Agugiaro 2014, s. 106] z możliwościami oprogramowania 3D. Oczywiście wygenerowanie wirtualnego krajobrazu samo w sobie nie stanowi analizy. Model 3D to zaledwie trójwymiarowe i fotorealistyczne przedstawienie danego krajobrazu. Może być oparte na danych liczbowych (w tym wypadku NMT) i składać się z geometrii (wierzchołków, ścian, krawędzi) oraz tekstury (kolorowego rastra dopasowanego do geometrii). Jeśli jednak model 3D jest oparty na dokładnych danych, może dać nam wyjątkową możliwość zobaczenia określonego krajobrazu z dowolnego punktu i perspektywy, w tym z perspektywy pierwszoosobowej (tzw. FPP – *first person perspective*), która ma na celu dostarczenie obserwatorowi bardziej osobistych i wciągających wrażeń (perspektywa FPP jest popularna m.in. w grach komputerowych). Ten rodzaj „wirtualnego osobistego doświadczenia” jest cenny i można go skontrastować z wynikami analiz GIS przeprowadzonych na tym samym początkowym zestawie danych, które posłużyły do jego wytworzenia.

Na jednym ze stanowisk, o nazwie Faysaliyya, zespół projektu odkrył ponad 200 kamiennych kopców. Znajdowały się one zarówno na zboczach niewielkiej okresowej doliny rzecznej, jak i w jej wyższych partiach [Kołodziejczyk et al. 2018, s. 379–416]. Były jednak trudne do

At one of the sites, named Faysaliyya, HLC project team discovered over 200 stone cairns. They were located both on the slopes of a small periodic river valley and in its higher parts [Kołodziejczyk et al. 2018, pp. 379–416]. However, they were difficult to see even from a close distance due to their relatively small size (from ca. 0.5 to 2 m in diameter) (Fig. 5). Archaeological surface survey, as well as the result of small scale excavations in the vicinity of the structures suggested human activity at the site that can be dated to several prehistoric and historic periods (from Paleolithic to Roman) [Kołodziejczyk et al. 2018, pp. 379–416]. From the literature, it is known that mounds of this type could serve as some kind of land markings or be objects of a cultic nature. Therefore, their mutual visibility in relation to each other could have significant importance [Saidel 2017, pp. 125–140]. The case of this site was used for the application of an approach that combines the use of a 3D environment with the analytical capabilities of a GIS system.

Firstly the 3D landscape model was created with location of all cairns marked on it, using their coordinates measured in the field with GPS devices. The same GPS measurements and DEM were also uploaded into GIS environment to conduct viewshed analysis [Wheatley 1995, pp. 171–185]. The purpose of this



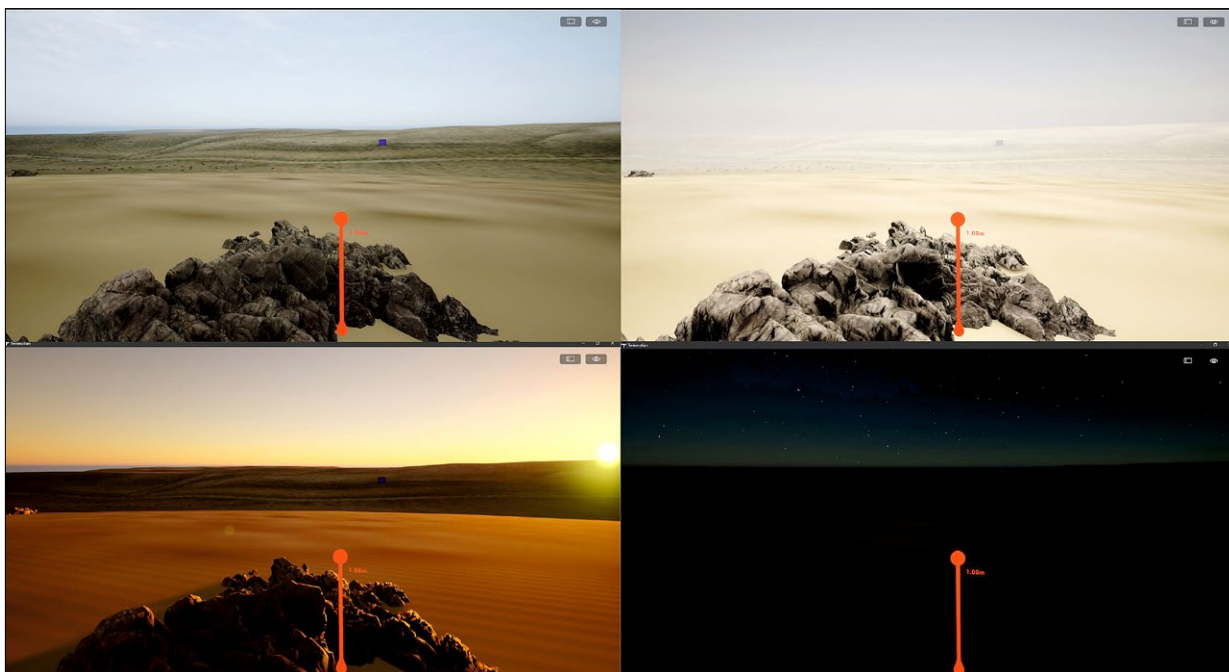
Ryc. 5. Przykłady kamiennych kopców odkrytych na stanowisku Faysaliyya; fot. P. Kołodziejczyk
 Fig. 5. Examples of stone cairns discovered at Faysaliyya site; photo by P. Kołodziejczyk

zauważenia nawet z bliskiej odległości ze względu na ich stosunkowo niewielkie rozmiary (od ok. 0,5 m do 2 m średnicy) (ryc. 5). Archeologiczne badania powierzchniowe, a także wyniki niewielkich wykopaliisk przeprowadzonych w pobliżu tych obiektów sugerują działalność człowieka, którą można datować na kilka okresów prehistorycznych i historycznych (od paleolitu po okres rzymski) [Kołodziejczyk et al. 2018, s. 379–416]. Z literatury przedmiotu wiadomo, że kopce tego typu mogły stanowić pewnego rodzaju oznaczenia terenu lub być obiektami o charakterze kultowym. Stąd ich wzajemna widoczność w stosunku do siebie mogła mieć istotne znaczenie [Saidel 2017, s. 125–140]. Badania nad tym stanowiskiem stały się przyczynkiem do zastosowania podejścia łączącego wykorzystanie środowiska 3D z analitycznymi możliwościami systemu GIS.

Pierwszym krokiem było utworzenie trójwymiarowego modelu krajobrazu z zaznaczonymi na nim lokalizacjami wszystkich kopców. W tym celu wykorzystano ich współrzędne zmierzone w terenie za pomocą urządzeń GPS. Ten sam zestaw danych początkowych (pomiaru GPS i NMT) zostały umieszczone także w środowisku GIS do przeprowadzenia analizy widoczności [Wheatley 1995, s. 171–185]. Celem tego eksperymentu było porównanie wyniku analizy GIS szacującej widoczność kopców z symulacją widoczności przeprowadzoną w środowisku 3D. W rezultacie okazało się, że w niektórych przypadkach porównanie tych dwóch metod pomogło uświadomić, że niekiedy lokalizacja w korzystnym punkcie obserwacyjnym może być niewystarczająca, by dostrzec wybraną strukturę. Ponadto symulacja 3D umożliwiła wprowadzenie dodatkowych czynników środowiskowych i różnic w oświetleniu, które nie są uwzględniane w analizach widoczności dostępnych w oprogramowaniu GIS. Metoda ta może również pozwolić na wykreowanie w wir-

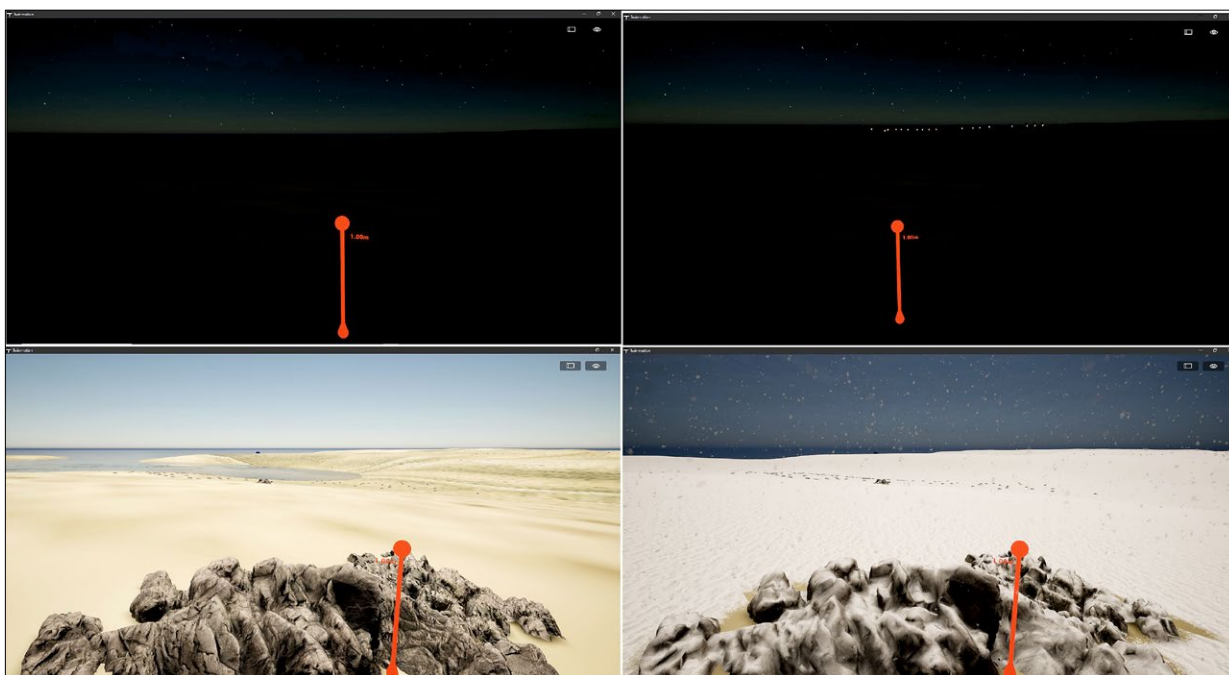
experiment was to compare the result of the GIS analysis estimating visibility of the cairns with simulation of actual view conducted in 3D environment. As the result it appeared that in some cases, the comparison between the two methods helped to realize that sometimes location in an advantageous view point actually might not be enough to see the chosen object. Moreover the 3D simulation allows to introduce various environmental and lighting factors that are not included in viewshed analyses provided by GIS software. This method can also allow to create certain environmental or anthropogenic events and objects in a 3D reality. Depending on how accurate the data is, it can be used as a stage in conceptualization and hypothesis testing. In the described simulation example, it is possible to, for example, check the impact that fires lit near the cairns would have on visibility during the day and at night (or under any other type of lighting). Various weather conditions can also be generated in the simulation (Fig. 6, 7). Utilizing such a simulation can allow acting out a scenario hypothesized by the researcher who tries to reconstruct past conditions/events. The 3D visualizations based on DEM data can also allow for displaying different kind of natural events. We can, for example, simulate what the area could look like if the water level would rise by 10 m or if it had snowed (Fig. 7). The last examples presented here might not be accurate in our case study but they indicate the method's applicability in potential environmental reconstruction/ archaeological conceptualization. What is also important is the fact that the intensity and angle of the lighting in the 3D simulation are based on the GPS location indicated in the software and refer to the specific date and time.

The analytical potential of 3D models can also be applied to smaller-scale objects. Creating documenta-



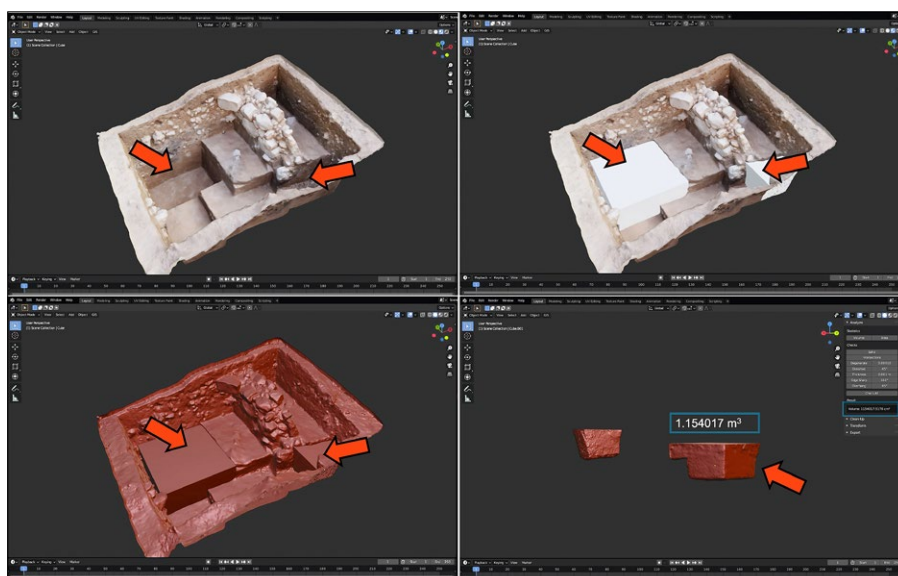
Ryc. 6. Symulacja widoczności uwzględniająca warunki pogodowe i oświetleniowe w środowisku 3D na stanowisku Faysaliyya; u góry po lewej: zachmurzenie; u góry po prawej: mgła; u dołu po lewej: zachód słońca przy czystym niebie; u dołu po prawej: noc z czystym niebem; oprac. autor

Fig. 6. Visibility simulation taking into account weather and lighting conditions in a 3D environment at the Faysaliyya site; top left: cloudy weather; top right: foggy weather; bottom left: sunset on a clear sky; bottom right: night with a clear sky; by the author



Ryc. 7. Trójwymiarowa symulacja hipotetycznych okoliczności wpływających na widoczność; u góry: widoczność w nocy z ogniskami rozpalonymi przy kamiennych kopcach znajdujących się po przeciwległej stronie doliny oraz bez ognisk; u dołu po lewej: symulacja wzrostu poziomu wody o 10 m; u dołu po prawej: symulacja opadu śniegu na stanowisku Faysaliyya; oprac. autor

Fig. 7. Simulation of hypothetical circumstances in 3D environment of Faysaliyya; the upper left and upper right examples present night-time without and with fires lit at cairns on the opposite side of the valley; lower left example present water level rise by 10 m; lower right example simulates snowfall in the area of the Faysaliyya site; by the author



Ryc. 8. Obliczanie objętości obiektów archeologicznych z wykorzystaniem algebry Boole'a w oprogramowaniu do modelowania 3D; prezentacja kolejnych kroków: u góry po lewej: fotogrametryczny model 3D obszaru wykopalisk; u góry po prawej: wskazanie miejsc obliczeń; u dołu po lewej: odwzorowanie kształtu obiektu; u dołu po prawej: odjęcie wybranych kształtów od modelu i obliczenie objętości; oprac. autor

Fig. 8. Calculating the volume of archaeological objects using Boolean algebra in 3D modeling software; presentation of consecutive steps: top left – photogrammetric 3D model of the excavation area; top right – indication of calculation points; bottom left – shape replication of the object; bottom right – subtraction of selected shapes from the model and calculation of the volume; by the author

tualnej rzeczywistości pewnych zdarzeń i/lub obiektów środowiskowych oraz antropogenicznych. W zależności od dokładności danych metodę tę można wykorzystać jako etap konceptualizacji i testowania hipotez. W opisanym przykładzie symulacji można np. sprawdzić, jaki wpływ na widoczność w dzień oraz w nocy (lub przy innym dowolnym rodzaju oświetlenia) miałyby ogniska rozpalone przy kopcach. W symulacji można wygenerować także różne warunki pogodowe (ryc. 6, 7). Wykorzystanie tej metody umożliwia odegranie hipotetycznego scenariusza napisanego przez badacza starającego się zrekonstruować przeszłe warunki/zdarzenia. Wizualizacje 3D oparte na danych NMT mogą pozwolić nam także na symulację zjawisk naturalnych. Na przykład przewidzieć, jak mógłby wyglądać dany obszar, gdyby poziom wody podniósł się o 10 m lub gdyby spadł tam śnieg (ryc. 7). Przykłady dwóch ostatnich symulacji mogą nie być zasadne w naszym studium przypadku, ale pokazują potencjał zastosowania tej metody w rekonstrukcji środowiska oraz konceptualizacji archeologicznej. Nie bez znaczenia jest również fakt, że natężenie i kąt oświetlenia w symulacji 3D bazują na lokalizacji GPS wprowadzonej do oprogramowania i odnoszą się do konkretnej daty i godziny.

Potencjał analityczny modeli 3D można zastosować również do obiektów o mniejszej skali. Tworzenie dokumentacji w środowisku 3D pozwala np. na przeprowadzenie rekonstrukcji stratygrafii i obliczeń objętości wybranych obiektów archeologicznych [Ostrowski et al. 2018, s. 219–240]. Jest to szczególnie przydatne do oszacowania potencjału magazynowego danych obiektów archeologicznych. W prehistorii, zwłaszcza przed wynalezieniem ceramiki, wykorzystywano tzw. jamy za-

tion in a 3D environment allows, for example, for the reconstruction of stratigraphy and volume calculations of selected archaeological features [Ostrowski et al. 2018, pp. 219–240]. This is particularly useful for estimating their storage potential. In prehistory, especially before the invention of pottery, so-called storage pits were used to store various objects and food. Estimating the volume of such objects can help us understand the ability of a given society to accumulate goods, which in turn can provide insights about their economy [Milevski et al. 2016, pp. 61–83]. The use of photogrammetry as a documentation method helped to estimate the volume of such objects at the Munqata'a site, where the HLC team discovered settlement structures dating back to the so-called pre-pottery Neolithic and late Neolithic periods [Kołodziejczyk et al. 2018, p. 379–416; Kołodziejczyk et al. 2019, p. 251–286]. Using 3D modeling software, the exact shape of the selected storage pit was subtracted from the 3D model of the excavation area obtained through photogrammetry. Then, using a tool that uses Boolean algebra, the volume of this object was calculated in cubic meters (Fig. 8).

Dissemination in 3D

The dissemination potential of using 3D technology in archaeological heritage research is probably the most obvious one. Such visualization of research results is in many ways more effective than traditional methods. This allows, for example, to improve the “legibility” of selected features. A good example of such presentation is visualization of cairn localization at the previously mentioned Faysaliyya site (Fig. 4).

sobowe w celu przechowywania różnych przedmiotów oraz żywności. Oszacowanie objętości takich obiektów może przybliżyć nas do zrozumienia możliwości gromadzenia dóbr przez daną społeczność, co z kolei może poszerzyć naszą wiedzę na temat ich gospodarki [Milewski et al. 2016, s. 61–83]. Wykorzystanie fotogrametrii jako metody dokumentacji pomogło oszacować objętość takich obiektów na stanowisku Munqata'a, gdzie zespół HLC odkrył struktury osadnicze datowane na okres tzw. neolitu preceramicznego oraz późnego neolitu [Kołodziejczyk et al. 2018 s. 379–416; Kołodziejczyk et al. 2019, s. 251–286]. Korzystając z oprogramowania do modelowania 3D, od trójwymiarowego modelu obszaru wykopalisk, pozyskanego dzięki zastosowaniu fotogrametrii, udało się odjąć dokładny kształt wybranej jamy zasobowej. Następnie za pomocą narzędzia korzystającego z algorytmu Boole'a, obliczono objętość tego obiektu w metrach sześciennych (ryc. 8).

Rozpowszechnianie w 3D

Potencjał popularyzatorski wykorzystania technologii 3D w badaniach nad dziedzictwem archeologicznym wydaje się oczywisty. Taka wizualizacja wyników badań jest pod wieloma względami skuteczniejsza od tradycyjnych metod. Pozwala np. na polepszenie „czytelności” wybranych obiektów. Dobrym przykładem takiej prezentacji jest wizualizacja lokalizacji kopców na wspomnianym już wcześniej stanowisku Faysaliyya (ryc. 4). Wielkość i kolor tych struktur wtapiają się w otaczający krajobraz nawet wtedy, gdy obserwuje się je w terenie (ryc. 5). Trudno też uchwycić je na zdjęciu, które w odpowiedni sposób przedstawiałoby ich rozmieszczenie. Dzięki wizualizacji 3D możliwe jest wyraźniejsze zaprezentowanie kopców z zachowaniem ich oryginalnych relacji przestrzennych, co umożliwi ukazanie ich szerszej publiczności w bardziej efektywny sposób.

Prowadzenie dokumentacji w formie trójwymiarowych modeli fotogrametrycznych znacząco zwiększa możliwości upowszechniania wyników badań. Prezentacja w środowisku 3D pozwala na oglądanie określonych obiektów z wybranych kierunków i odległości. Istnieje też opcja dodania znaczników z komentarzami wyświetlanymi lub ukrywanymi zgodnie z potrzebami (ryc. 9). Na zgeoreferowanym modelu 3D możliwe jest również zaznaczenie dokładnej lokalizacji artefaktów odkrytych podczas wykopalisk (ryc. 9). Prezentacja modeli 3D może odbywać się np. w formie filmu. Modele można także udostępnić online za pośrednictwem platform specjalizujących się w wyświetlaniu interaktywnych modeli 3D dla każdego użytkownika internetu, korzystającego jedynie z przeglądarki (zob. np. platforma Sketchfab) [<https://sketchfab.com/about>].

Aby w pełni wykorzystać immersyjny potencjał pracy w środowisku 3D, warto umożliwić obserwatorowi tzw. wirtualny spacer [Choromański et al. 2019 s. 261–267]. W ramach projektu HLC postanowiliśmy stworzyć krótką grę komputerową, prezentującą model krajobrazu wraz z fotogrametriami obszarów wykopalisk.

The size and color of these structures blends with the surrounding landscape even when they are observed in the field (Fig. 5). It is also difficult to capture them in a photo which would present them properly. Thanks to 3D visualization it is possible to represent them more clearly by maintaining their original spatial relationships and thus present them to the wider audience in a more effective way.

Conducting documentation in the form of 3D photogrammetrical models also significantly strengthens the ability of research results to be disseminated. With use of 3D presentation, it is possible to see certain objects from all possible directions and distances with necessary tags and commentary displayed or hidden according to the current needs (Fig. 9). On a georeferenced 3D model, it is also possible to mark exact location of artifacts discovered during the excavation process (Fig. 9). The presentation of 3D models can also be done in form of a video or even shared online via platforms specialized in displaying interactive 3D models for everyone, using only an Internet browser (see for example Sketchfab platform) [<https://sketchfab.com/about>].

To fully benefit from the immersive potential of working in a 3D environment, it is worth enabling the observer to take a virtual walk [Choromański et al. 2019 pp. 261–267]. Within the framework of the HLC project, we chose to create a short video game, presenting the landscape and photogrammetrical models of the excavated areas at the Munqata'a site. Using DEM obtained from SRTM30, a model of the landscape surrounding the site was created and implemented into the game's engine where additional features along with photogrammetrical models were uploaded. It is worth emphasizing that this presentation method was mainly focused on achieving a maximum level of immersion and therefore was not aimed at a detailed reconstruction of the archaeological excavation site. The game allows the player to walk around and observe the excavation site within the landscape, switching from third to first person perspective. When the player walks into a certain place, the area of excavation changes into a virtual reconstruction of the Neolithic settlement that once existed there (Fig. 10). The size and appearance of the reconstruction are based on actual measurements and archaeological research, and the player is able to explore it both outside and inside. To make the reconstruction more appealing and immersive, inside the house, the player can find everyday household items like vessels, animal hides, or fireplace.

Summary and discussion

As was presented above, there are numerous benefits of applying 3D environment into the research and documentation of archaeological heritage. The presented examples from the HLC project refer to the research on prehistorical structures, but the discussed methods

skowych ze stanowiska Munqata'a. Korzystając z NMT uzyskanego z danych SRTM30, stworzono model krajobrazu otaczającego stanowisko i zaimplementowano go do silnika gry, w którym obok wspomnianych modeli fotogrametrycznych umieszczono dodatkowe obiekty. Warto podkreślić, że ten sposób prezentacji był głównie ukierunkowany na maksymalny poziom immersyjności; dlatego nie miał na celu szczegółowej rekonstrukcji terenu badań archeologicznych. Gra pozwala na chodzenie po wykopaliskach i obserwowanie ich w krajobrazie, z możliwością przełączenia się z perspektywy trzecio- na pierwszoosobową (wspomniane już tzw. FPP). Gdy gracz wejdzie w określone miejsce, obszar wykopalisk zamienia się w wirtualną rekonstrukcję osady neolitycznej, która kiedyś tam istniała (ryc. 10). Wielkość i wygląd rekonstrukcji opierają się na rzeczywistych pomiarach i badaniach archeologicznych, a gracz jest w stanie eksplorować ją zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz. Aby rekonstrukcja była bardziej atrakcyjna i wciągająca, wewnątrz domostwa gracz może znaleźć przedmioty codziennego użytku, takie jak naczynia, skóry zwierząt czy palenisko.

Podsumowanie i dyskusja

Jak przedstawiono powyżej, istnieje wiele korzyści z zastosowania środowiska 3D do badań i dokumentacji nad dziedzictwem archeologicznym. Prezentowane przykłady z projektu HLC odnoszą się do badań nad strukturami prehistorycznymi, ale omawiane metody można wykorzystać również w badaniach nad innymi elementami dziedzictwa materialnego (niekoniecznie archeologicznego).

Obecnie jesteśmy świadkami gwałtownej ewolucji technologii 3D i, co najważniejsze, jej coraz większej dostępności. Warto wspomnieć, że prawie całe oprogramowanie oraz dane niezbędne do zastosowania opisanych w tym artykule metod są bezpłatne lub objęte licencją pozwalającą na ich darmowe wykorzystanie w celach badawczych. Spośród wykorzystanych aplikacji Blender do modelowania 3D [<https://www.blender.org/about/>] i QGIS [<https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>] (System Informacji Geograficznej umożliwiający analizy przestrzenne) to darmowe oprogramowanie typu Open Source (FOSS) na licencji GNU, General Public License (GPL) [<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>]. Oznacza to, że są one całkowicie bezpłatne i można ich używać do dowolnych celów. Ponadto licencja FOSS pozwala na tworzenie spersonalizowanych narzędzi w ramach danego oprogramowania (w prezentowanych badaniach w Blenderze stworzono i zastosowano narzędzie do wizualizacji lokalizacji artefaktów na trójwymiarowych modelach wykopalisk). Również oprogramowanie służące do wizualizacji 3D – Twinmotion – jest dostępne bezpłatnie na licencji EDU, co pozwala na wykorzystanie go do celów naukowych [<https://www.twinmotion.com/license>]. To samo dotyczy silnika Unreal Engine, w którym powstała wspomniana krótka gra komputerowa

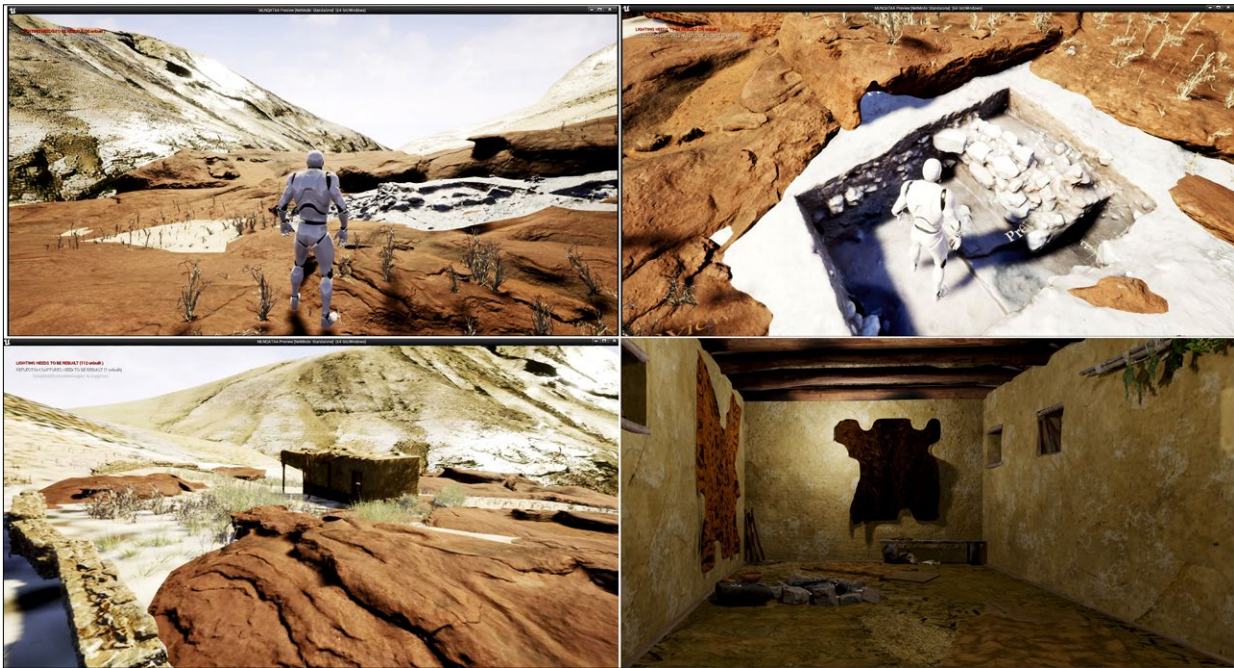


Ryc. 9. Prezentacja wykopalisk archeologicznych w postaci modeli 3D; u góry: model 3D obszaru wykopaliskowego wraz z znacznikami opisującymi wybrane nieruchome obiekty archeologiczne; u dołu: model 3D obszaru wykopalisk z symbolami wskazującymi dokładną lokalizację artefaktów odkrytych podczas prac; oba przykłady ze stanowiska Munqata'a; oprac. autor

Fig. 9. Presentation of archaeological trenches in form of 3D models; upper part: 3D model of the excavated area with appropriate tags describing chosen archaeological features; lower part: 3D model of the excavated area with marks indicating exact location of artifacts discovered during the excavation process; both from the Munqata'a site; by the author

can also be used in studies on various tangible heritage elements (not necessarily archaeological).

Currently we are witnessing rapid evolution of 3D technology and, most importantly, its greater availability. It is worth mentioning that almost all necessary software and data used to apply the methods described in this article are free or under licenses, enabling it to be used free of charge for research purposes. Among them Blender for 3D modeling [<https://www.blender.org/about/>] and QGIS [<https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>] for geographic information system and spatial analysis are free and open source software (FOSS) under GNU General Public License (GPL) [<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>]. This means that they are completely free and can be used for any purposes. Moreover, FOSS license allows for creation of personalized tools within the given software (in the



Ryc. 10. Zrzuty ekranu z gry komputerowej opartej na danych uzyskanych z badań archeologicznych na stanowisku Munqata'a; gra zawiera wirtualny krajobraz odtworzony w oparciu o dane z SRTM30, fotogrametryczne modele obszarów wykopaliskowych oraz trójwymiarową rekonstrukcję neolitycznej osady, która kiedyś znajdowała się na tym stanowisku; oprac. autor

Fig. 10. Screenshots from the video game based on data obtained from archaeological research at the Munqata'a site; the game includes virtual landscape based on data from SRTM30, photogrammetrical models of excavations areas and 3D reconstruction of Neolithic settlement that once existed at the site; by the author

rowa. Korzystanie z niego jest bezpłatne, dopóki twórca nie czerpie korzyści finansowych z tytułu dystrybucji stworzonej przez siebie gry [<https://www.unrealengine.com/en-US/download>].

Oczywiście opisane tutaj metody mają też swoje ograniczenia. Szczególną ostrożność należy zachować przy interpretacji wyników pochodzących z obserwacji dokonanych w środowisku 3D. Przede wszystkim należy pamiętać, że dokładniejsze dane przekładają się na dokładniejsze wyniki. Zastosowanie symulacji 3D w sposób przedstawiony w studium przypadku stanowiska Faysaliyya należałoby zalecać tylko w lokacjach, w których nie można uzyskać dokładniejszych danych przestrzennych. Aby odpowiedzieć na bardziej szczegółowe pytania badawcze, zdecydowanie zaleca się stosowanie danych NMT i GPS RTK o wyższej rozdzielczości. Sama metoda nie ma wartości analitycznej znanej z narzędzi GIS, dlatego powinno się nią posługiwać zawsze w połączeniu z innymi metodami.

Kolejnym ograniczeniem może być fakt, że obiekty 3D i fizyka światła zastosowane w symulacji są arbitralne i zależne od danego oprogramowania (choć użytkownik może do pewnego stopnia nimi manipulować) [Markiewicz 2022, s. 2–8]. Należy pamiętać również, że zastosowanie środowiska 3D oferuje jedynie symulację. Ma na celu przybliżenie obserwatorowi doświadczenia przebywania w miejscu [Knapp, Ashmore 1999, s. 1–30], ale nie jest to rzeczywisty widok na dane stanowisko archeologiczne czy krajobraz. Przy stosowaniu tego rodzaju metod należy mieć to na uwadze i nie

presented research a tool for visualization of artifacts location on 3D models of excavations was created and applied in Blender). Also software used for 3D visualization—Twinmotion is free of charge under EDU license which allows its use for academic purposes [<https://www.twinmotion.com/license>]. The same applies to the Unreal Engine in which the short game was created. This software is free of charge unless the creator financially benefits from the distribution of the games they create using the engine [<https://www.unrealengine.com/en-US/download>].

Of course, these methods also have their limitations. Extreme caution must be exercised in interpreting the results coming from observations made in a 3D environment. First of all, better data means better results. The application of 3D simulation in the way presented in the case study of the Faysaliyya site should be advised only for the locations where more accurate data cannot be obtained. To answer more specific research questions, the use of better resolution DEM and GPS RTK measurements (instead of traditional handheld GPS) is definitely advised. The method itself lacks analytical value known from the GIS tools, so it should always be used in combination with other methods.

Another limitation is that the 3D objects and light physics are arbitrary and depend on the software (although the user can manipulate them to some point) [Markiewicz 2022, pp. 2–8]. It has to be kept in mind that application of a 3D environment offers only a sim-

mylić pojęcia „wizji” z pojęciem „percepcji” [Richardson-Rissetto 2017, s. 10–21]. Relacje człowieka z miejscem oraz właściwa temu dynamika, istotne np. w archeologii krajobrazu, nie mogą być zrekonstruowane w bezpośredni sposób za pomocą symulacji.

Niemniej zalety korzystania z tych metod są ewidentne i jeśli są one właściwie używane, mogą stanowić cenny atut w wielu projektach badających dziedzictwo materialne [Buchner, Markiewicz 2019, s. 1–12]. Wprowadzenie rozwiązań wizualnych 3D w badaniach nad dziedzictwem daje badaczom kolejne narzędzie, które powinno być wykorzystywane w połączeniu z już przyjętymi i powszechnie stosowanymi metodami (jak analizy przestrzenne GIS), a także z podejściem humanistycznym (popartym odpowiednimi teoriami). Środowisko 3D, umożliwiając dzięki fotorealizmowi bardziej osobistą perspektywę, może stanowić ważne narzędzie w konceptualizacji pytań badawczych. Jak omówiono powyżej, może być również wykorzystane do testowania konkretnych hipotez i konfrontowania ich z wynikami uzyskanymi za pomocą innych metod. Stosowanie wirtualnej rzeczywistości może pomóc nam w zrozumieniu perspektywy ludzi, którzy znajdowali się w danej przestrzeni. Należy jednak używać jej z ostrożnością i nie traktować jako bezpośredniej „wizji przeszłości” – bez względu na to, jak realistyczna wydaje się użytkownikowi. Wirtualna „rzeczywistość” zawsze będzie zależna od wprowadzonych danych, zastosowanego oprogramowania oraz samych użytkowników. Podobnie jak w przypadku metod wykorzystujących GIS, metod zastosowania środowiska 3D nie należy traktować jako dedukcyjnych. Powinny być one częścią procesu indukcyjnego, w którym stosuje się wiele podejść, narzędzi i zbiorów danych łącznie umożliwiających rozwój danej teorii [Buchner, Markiewicz 2019, s. 1–12].

Wykorzystanie środowiska 3D szybko zyskuje w popularności w wielu dyscyplinach naukowych. Istotne jest, aby badania nad dziedzictwem nie pozostawały w tyle i również przyłączyły się do tego trendu. Mam nadzieję, że metody przedstawione w tym artykule pokazują, że możliwości środowiska 3D nie ograniczają się jedynie do dostarczenia „ładnej wizualizacji” dołączonej do badań. W dzisiejszych czasach praca w środowisku 3D umożliwi lepszą dokumentację, konceptualizację, analizę oraz nowe sposoby immersyjnego rozpowszechniania dziedzictwa materialnego.

Podziękowania

Autor pragnie wyrazić wdzięczność za wszelkie wsparcie i cenne rady w przygotowaniu rękopisu kierownikowi Projektu HLC dr Piotrowi Kołodziejczykowi. Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego nr UMO-2016/22/E/HS3/00141 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki. Publikacja została stworzona przy wsparciu finansowym Strategicznego Programu Doskonałości Uniwersytetu Jagiellońskiego, Wydziału Historii ID UJ (Inicjatywa Doskonałości w Uniwersytecie Jagiellońskim).

ulation. It aims at getting the observer closer to the experience of being in the place [Knapp, Ashmore 1999, pp. 1–30], but it is not an actual view on a site or a landscape. In the use of this kind of methods, it is vital to remember about this and not to confuse the concept of ‘vision’ with the concept of ‘perception’ [Richardson-Rissetto 2017, pp. 10–21]. The people–place relations and dynamics so important, for example, in landscape archaeology, cannot be simply reconstructed with use of a simulation.

Nevertheless, the advantages of applying these methods are significant and, if used properly, can be a valuable asset in many heritage research projects [Buchner, Markiewicz 2019, pp. 1–12]. The introduction of the 3D visual solutions in heritage studies gives researchers, yet another tool which should be used in combination with already accepted and popularly applied methods (like various GIS analysis), as well as with humanistic approach (ideally backed up by tested theories). By bringing to the table more personal perspective, thanks to photorealism, 3D environment can constitute an important tool in conceptualization of research questions. As discussed above, it can be also used to test certain hypothesis against results obtained with other tools. It can be helpful in understanding the people–place perspective but should be used with caution, as it cannot give a direct “vision of the past”—no matter how realistic it would seem to the user. Virtual “reality” will always be dependent on the introduced data, used software and the users themselves. As many GIS tools, various approaches to applying 3D environments should not be treated as a deductive method. It should be a part of an inductive process in which many approaches, tools and datasets are dealt with, enabling theoretical progress [Buchner, Markiewicz 2019, pp. 1–12].

The use of 3D environments is quickly gaining popularity in many research disciplines. It is important that heritage research does not lag behind and also joins this trend. I hope that the methods presented in this article demonstrate that the potential of the 3D environment is not limited to providing a “nice visualization” attached to research. Nowadays, working in a 3D environment enables better documentation, conceptualization, analysis, and new ways of immersive dissemination of material heritage.

Acknowledgments

The author would like to express gratitude for all the support and valuable advices in preparing of the manuscript to the director of the HLC Project—Doctor Piotr Kołodziejczyk. The research described in this article was financed from the National Science Centre, Poland grant no: UMO-2016/22/E/HS3/00141. The publication has been created with financial support of Strategic Program Excellence Initiative at Jagiellonian University, Faculty of History (ID.UJ).

Bibliografia / References

Opracowania / Secondary sources

- Agugiaro Giorgio, *2D GIS & 3D GIS and Web-Based Visualization*, [w:] *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, red. Fabio Remondino, Stefano Campana, Oxford 2014.
- Bryk Magdalena, Chyla Julia M., *Zastosowanie technologii GIS w lokalizacji stanowisk archeologicznych podczas prospekcji terenowej*, „Rocznik Geomatyki” 2013, t. 12, z. 1(63).
- Buchner Aneta, Markiewicz Małgorzata, *3D Images as a Source for Analysis and Interpretation of Data Obtained During Archaeological Research*, [w:] *Proceedings of the 23rd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2018*, red. Wolfgang Börner, Susanne Uhlirz, Wiedeń 2019.
- Choromański Kamil, Łobodecki Jakub, Puchała Karol, Ostrowski Wojciech, *Development of Virtual Reality Application for Cultural Heritage Visualization from Multi-source 3D Data*, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” 2019, t. 42, nr 2/W9.
- Dell’Unto Nicolo, *3D models and archaeological investigation*, [w:] *Perspectives to archaeological information in the digital society*, red. Isto Huvila, Uppsala 2014.
- Forte Maurizio, *Virtual reality, cyberarchaeology, tele-immersive archaeology*, [w:] *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, red. Fabio Remondino, Stefano Campana, Oxford 2014.
- Karmowski Jacek, *Wybrane aspekty metodologiczne dokumentacji zabytków podczas nowych archeologicznych badań powierzchniowych przeprowadzonych przez Uniwersytet Jagielloński w Krakowie w regionie miasta At-Tajila (Jordania)*, „Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation” 2017, t. 50.
- Knapp Bernard A., Ashmore Wendy, *Archaeological Landscapes. Constructed, Conceptualized, Ideational*, [w:] *Archaeologies of Landscape. Contemporary Perspectives*, red. Wendy Ashmore, Arthur B. Knapp, Oxford 1999.
- Kołodziejczyk Piotr, *HLC Project 2014–2019. Research activity of Jagiellonian University*, [w:] *Discovering Edom. Polish archaeological activity in southern Jordan*, red. Piotr Kołodziejczyk, Kraków 2019.
- Kołodziejczyk Piotr, Nowak Marek, Wasilewski Michał, Witkowska Barbara, Karmowski Jacek, Czarnowicz Marcin, Brzeska-Zastawna Agnieszka, Zakrzeńska Justyna, Radziwiłko Katarzyna, Kościuk Julia, *HLC Project 2017. Jagiellonian University excavations in southern Jordan*, „Polish Archaeology in the Mediterranean” 2018, t. 27, nr 1.
- Kołodziejczyk Piotr, Nowak Marek, Wasilewski Michał, Witkowska Barbara, Karmowski Jacek, Czarnowicz Marcin, Zakrzeńska Justyna, Brzeska-Zastawna Agnieszka, *HLC Project 2018. Jagiellonian University excavations in southern Jordan*, „Polish Archaeology in the Mediterranean” 2019, t. 28, nr 2.
- Markiewicz Małgorzata, *Photography vs. visualisation. Technical images in archaeological research*, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage” 2022, t. 24.
- Milewski Ianir, Braun Eliot, Varga Daniel, Yigal Israel, *On Some Possible Implications of a Newly Discovered Early Bronze Age, Large-Scale Silo Complex at Amaziya, Nahal Lachish (Israel)*, [w:] *Storage in Ancient Complex Societies. Administration, Organization and Control*, red. Linda R. Manzanilla, Mitchell Rothman, New York 2016.
- Miszcz Łukasz, Ostrowski Wojciech, Hanus Kasper, *Dokumentacja i prospekcja z wykorzystaniem fotogrametrii podczas realizacji Paphos Agora Project*, [w:] *W sercu starożytnego miasta. Pięć lat badań krakowskich archeologów na Agorze w Pafos na Cyprze (2011–2015)*, red. Ewdoksia Papuci-Władyka, Agata Dobosz, Kraków 2016.
- Mukul Manas, Srivastava Vinee, Mukul Malay, *Accuracy analysis of the 2014–2015 Global Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 arc-sec C-Band height model using International Global Navigation Satellite System Service (IGS) Network*, „Journal of Earth System Science” 2016, t. 125, nr 5.
- Ostrowski Wojciech, Miszcz Łukasz, Winiarska Weronika, *Three-dimensional Stratigraphy Reconstruction and GIS – Postprocessing Issues in Archaeological Field 3D Documentation*, „Studies in Ancient Art and Civilization” 2018, t. 22.
- Richards-Rissetto Heather, *What can GIS + 3D mean for landscape archaeology?*, „Journal of Archaeological Science” 2017, t. 84.
- Saidel Benjamin A., *An alternative date for the Nahal Mitnan Cairn Field in the Western Negev Highlands. Identifying an Early Timnian tumuli tradition in the Southern Levant*, „Paléorient” 2017, t. 43, nr 1.
- Verhagen Philip, *Spatial Analysis in Archaeology. Moving into New Territories*, [w:] *Digital Geoarchaeology. Natural Science in Archaeology*, red. Christoph Siart, Markus Forbriger, Olaf Bubbenzer, Cham 2018.
- Virtual reality in archaeology*, red. Barceló Juan, Forte Maurizio, Sanders Donald, Oxford 2000.
- Wheatley David, *Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application*, [w:] *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, red.

Gary Lock, Zoran Stančič, London 1995.
van Zyl Jakob J., *The shuttle radar topography mission (SRTM). A breakthrough in remote sensing of topography*, „Acta Astronautica” 2001, t. 48.

Źródła elektroniczne / Electronic sources

Description of Sketchfab platform, <https://sketchfab.com/about> (dostęp: 16 III 2022).

Description of software and license statement of Blender Foundation, <https://www.blender.org/about/> (dostęp: 16 III 2022).

Description of software and license statement of QGIS, <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html> (dostęp: 16 III 2022).

GNU General Public License, Version 3, 29 June 2007, <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html> (dostęp: 16 III 2022).

Twinmotion Licenses and Pricing, <https://www.twinmotion.com/license> (dostęp: 16 III 2022).

Unreal Engine Licensing Options, <https://www.unrealengine.com/en-US/download> (dostęp: 16 III 2022).

Streszczenie

W artykule omówiono zastosowanie środowiska 3D w badaniach nad materialnym dziedzictwem prehistorycznym na przykładzie projektu Heritage-Landscape-Community (HLC). Przedstawia on przegląd kilku podejść do wykorzystania metod związanych ze środowiskiem 3D. Wspomniane podejścia podzielone są na trzy sekcje, z których każda opisuje przykłady: dokumentacji, analizy i rozpowszechniania. Od zbierania i pozyskiwania danych w 3D poprzez ich analizę w wirtualnej rzeczywistości po rozpowszechnianie w formie interaktywnej gry komputerowej. W artykule przytoczono przykłady, które mogą być użyteczne nie tylko w badaniach archeologicznych, ale także w innych dyscyplinach zajmujących się ogólnie rozumianym dziedzictwem materialnym. Zaprezentowany w tej pracy wgląd w metodologię ma na celu zbadanie możliwych sposobów zastosowania środowiska 3D, jednocześnie koncentrując się na wykorzystaniu darmowego oraz niskokosztowego oprogramowania.

Abstract

This paper discusses the application of 3D environment in research on prehistoric tangible heritage using the example of the Heritage-Landscape-Community (HLC) project. It provides an overview of several approaches to using 3D-related methods, divided into three sections: documentation, analysis, and dissemination. These range from collecting and acquiring data in 3D, through their analysis in virtual reality, to dissemination in the form of an interactive computer game. The article presents examples that can be useful not only in archaeological research but also in other disciplines dealing with material heritage in general. The methodology presented in this work aims to explore possible ways of using the 3D environment, while focusing on the use of free and low-cost software.