

Technologia AR w urbanistyce i architekturze – omówienie metod i potencjału dla prezentacji koncepcji architektonicznej w środowisku rozszerzonej rzeczywistości

AR technology in urban planning and architecture – overview of methods of and potential for architectural conceptual proposal presentation within an augmented reality environment

Streszczenie

Technologia AR pozwala na zestawianie dynamicznych modeli 3D z realnym kontekstem fizycznym. Technologia jest realnie dostępna dla szerszego ogółu od 2015 roku, a zatem stanowi nową, ale dynamicznie rozwijającą się dziedzinę o istotnym, w opinii autorów, potencjale dla wszystkich uczestników procesu budowlanego. W artykule przybliżono główne zasady funkcjonowania technologii oraz omówiono wykorzystywane w niej narzędzia. Przeanalizowano również trzy główne metody generowania modeli 3D z omówieniem ich potencjału dla ewaluacji koncepcji architektonicznej w odniesieniu do kontekstu urbanistycznego.

Abstract

AR technology makes it possible to compare dynamic 3D models with a real-world physical context. The technology has been readily accessible to the wider public since 2015, thus constituting a new and dynamically developing field with significant—in the authors' opinion—potential for all participants of the construction process. The article familiarises readers with the main principles of the technology's operation and discusses the tools that it employs. Three main methods of generating 3D models were analysed and their potential for evaluating architectural conceptual proposals in reference to urban context was discussed.

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość, rozszerzona rzeczywistość, poszerzona rzeczywistość, planowanie przestrzenne
Keywords: entrance groups; built-in public service establishments; compositional and spatial structure.

Technologia VR i AR – przybliżenie idei

VR i AR to akronimy anglojęzycznych pojęć *Virtual Reality* i *Augmented Reality*. Odpowiadające im polskie pojęcia to: *rzeczywistość wirtualna (VR)* i *rzeczywistość rozszerzona*¹ (AR).

Pojęcie *Virtual Reality* jest względnie nowe i datuje się na połowę lat osiemdziesiątych XX wieku. Z a jego popularyzatora uważa się amerykańskiego futurologa J. Laniera (1985).² Z arys koncepcji współczesnej techno-

VR and AR technology—an introduction to the concept

VR and AR are acronyms of the English-language terms *Virtual Reality* and *Augmented Reality*. Their corresponding Polish terms are *rzeczywistość wirtualna (VR)* and *rzeczywistość rozszerzona*¹ (AR).

The term *Virtual Reality* is relatively new and is dated to the middle of the 1980's. American futurologist J. Lanier (1985) is considered to be its popula-

* Mgr inż. arch. Wojciech Sumlet, KKSM Wydział Architektury, Politechnika Krakowska, e-mail: wsumlet@pk.edu.pl

** Mgr inż. arch. Maciej Pitek, HSA Architektura, e-mail: mpitek@hs-a.pl

logii VR wiązany jest z pisarzem science-fiction Stanleyem G. Weinbaumem, który w 1935r. w opowiadaniu „Pygmalion’s Spectacles” nakreślił koncepcję okularów, które mogą wyświetlać hologramy rzeczywistości.³ Idea Weinbauma została urzeczywistniona w latach 60 XX w. W 1962r. M. Heilig stworzył prototypowe urządzenie o nazwie „Sensorama”, które pozwalało użytkownikom na przeżycie wirtualnej podróży przez miasto motocyklem i było w stanie wyświetlać obraz 3D, dźwięki motocyklu, drganie jego silnika, a nawet wiatr na twarzy uczestnika przejażdżki.⁴ W 1968r. I. Sutherland i R. Sproull skonstruowali pierwsze okulary wyświetlające proste obrazy generowane komputerowo i reagujące na ruchy głowy, czyli tzw. Head Mounted Display (HMD)⁵. Urządzenie z uwagi na duży ciężar musiało być podwieszone do sufitu pomieszczenia i w związku z tym do dziś funkcjonuje pod nazwą „miecz Demoklesa”.⁶ Lata 70 i 80 XX wieku to okres dynamicznego rozwoju technologii, jak i zainteresowania wokół niej. W 1978r. na MIT stworzono pierwszą wirtualną symulację miasta Aspen, stanowiącą pierwowzór popularnego Googlemaps.⁷ W latach 80 laboratoria NASA (NASA Ames Research) i VPL Research stworzyły i po raz pierwszy skomercjalizowały urządzenia służące interakcji z przestrzenią wirtualną (HMD, Data Glove)⁸. Urządzenia te były bardzo drogie i w związku z tym nie weszły do powszechnego użycia. Wraz z końcem lat 90 i powstaniem Internetu, zainteresowanie technologią VR zeszło na drugi plan, aż do 2012 roku, kiedy firma Oculus zaprezentowała pierwszy sprawnie funkcjonujący i ekonomicznie przystępny zestaw HMD – Oculus Rift. W chwili obecnej na rynku funkcjonuje przynajmniej kilkanaście urządzeń zaprojektowanych wyłącznie do pracy w środowisku VR, a wraz z upowszechnieniem się prostych konstrukcji jak Google Cardboard (2014) interakcja ze środowiskiem VR jest możliwa przez każdy smartfon.

Koncepcja rzeczywistości poszerzonej (ang. *augmented reality* lub *mixed reality*) jest naturalnym rozwinięciem technologii VR. Jej początki datowane są na rok 1992, kiedy U.S. Air Force’s Armstrong Laboratory stworzył system Virtual Fixtures, wykorzystywany zarówno w chirurgii jak i w procesie szkolenia wojskowego⁹. Technologia AR stała się szerzej dostępna w drugiej dekadzie XXw. i rozwija się równoległe z technologią VR.

Technologia VR i AR – rozróżnienie pojęć

W środowisku VR użytkownik obcuje wyłącznie z obrazem i bodźcami generowanymi komputerowo. Obraz generowany na wyświetlaczu HMD zajmuje cały obszar widzenia i odcina użytkownika od świata realnego. W środowisku AR obrazy są nakładane na widok świata realnego. Urządzenia HMD funkcjonujące w środowisku AR są zatem albo wyposażone w jedną lub dwie kamery i wyświetlacz, który pokazuje obraz z kamery z dodatkowymi warstwami komunikatów, albo posiadają wy-

riser². The outline of the contemporary concept of VR technology is linked with science fiction writer Stanley G. Weinbaum, who formulated a proposal of spectacles that could display holograms of reality in his 1935 short story “Pygmalion’s Spectacles”³. Weinbaum’s concept became a reality in the 1960’s. In 1962 M. Heilig created a prototype device called “Sensorama”, which made it possible for users to experience a virtual motorcycle ride through a city and was capable of displaying 3D images, playing motorcycle sounds, producing its engine’s vibrations and even imitating the wind on the face of the ride’s participant⁴. In 1968 I. Sutherland and R. Sproull built the first goggles that displayed simple computer-generated images and reacted to head movements, a so-called Head Mounted Display (HMD)⁵. The device, due to its heavy weight, had to be suspended from the ceiling and is thus known under the name “sword of Damocles” to this day⁶. The 1970’s and 1980’s were a period of a dynamic development of the technology, as well as of interest in it. In 1978 the first virtual simulation of the city of Aspen was created at MIT, constituting a precursor of the currently popular Google maps⁷. In the 1980’s NASA laboratories (NASA Ames Research) and VPL Research created—and were the first to commercialise—devices used to interact with virtual space (HMD, Data Glove)⁸. These devices were very expensive and did not enter common use. Along with the end of the 1990’s and the creation of the Internet, interest in VR technology waned until 2012, when the Oculus company presented the first effectively functioning and affordable HMD set—Oculus Rift. At present, there are at least a dozen devices on the market that have been designed solely to work in the VR environment, and along with the spread of simple platforms like Google Cardboard (2014), interaction with Virtual Reality has also been made possible using any smartphone.

The concept of *augmented* or *mixed reality* is a natural extension of VR technology. Its beginnings are dated to the year 1992, when the US Airforce’s Armstrong Laboratory created the Virtual Fixtures system, used both in surgery and military training⁹. AR technology became more broadly available in the second decade of the twenty-first century and is developing in parallel with VR technology.

VR and AR technology—distinguishing the terms

In a VR environment, the user interacts only with computer-generated images and stimuli. The images generated on an HMD occupy the user’s entire field of vision and separate them from the real world. In an AR environment, images are superimposed upon a view of the real world. HMD devices that function within an AR environment are thus fitted with either one or two cameras and a display, which shows the feed from the camera with addi-

świetlacze przeziernie (np. Microsoft Hololens). Warstwa nakładana na obraz widziany składa się, bądź ze statycznych, bądź ruchomych obrazów, albo wyłącznie z informacji tekstowych.

Technologia AR w architekturze i urbanistyce

Technologia AR znajduje swoje wykorzystanie w wielu dziedzinach. Wydaje się, iż najaktualniejszy na ten moment przegląd prezentują B. Arnaldi, P. Guitton i G. Moreau w opracowaniu książkowym „Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities” (2018). Od lat 90 technologia wykorzystywana jest w medycynie (chirurgia) i w wojsku (symulatory pola walki, szkolenia pilotów). Wraz z upowszechnieniem się narzędzi do względnie prostego tworzenia aplikacji AR, mnogość zastosowań rośnie w postępie geometrycznym i koncentruje się na branżach: archeologia, architektura, sztuki wizualne, edukacja, rozrywka (gry komputerowe), medycyna, nawigacja, turystyka, logistyka i inne¹⁰.

Pespektywy dla wykorzystania AR w projektowaniu architektonicznym zaprezentowała firma Trimble w 2004r.¹¹ Omówienie uwarunkowań dla wykorzystania technologii w urbanistyce omawiają m. in. K. Anagnostou i P. Vlamos¹². Istotną próbą upowszechnienia narzędzi dla osadzania modeli 3D w przestrzeni widzianej kamerą urządzeń mobilnych był Project Tango wdrożony przez Google w 2014 roku. Platforma ta pozwalała urządzeniom mobilnym rozpoznawać powierzchnie płaskie dzięki zastosowaniu trzypoziomowej detekcji głębi. Projekt

tional content layers or are fitted with see-through displays (e.g. Microsoft Hololens). The layer that is superimposed on the visible image is either composed of static or moving images or solely from information displayed via text.

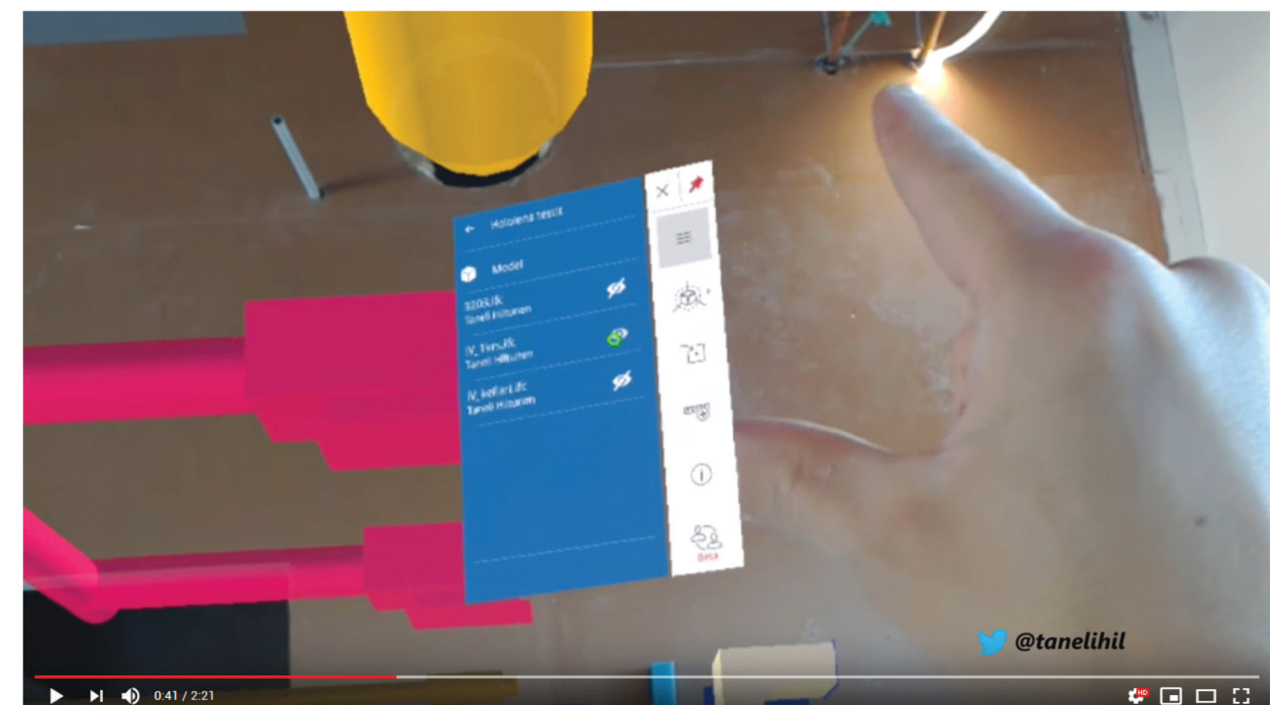
AR technology in architecture and urban planning

AR technology finds use in many fields. It appears that the currently most up-to-date review was presented by B. Arnaldi, P. Guitton and G. Moreau in their book “Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities”(2018). Since the 1990’s this technology has been used in medicine (surgery) and by the military (combat environment simulators, pilot training). Along with the spread of tools that enable a relatively simple development of AR digital applications, the multitude of its fields of use has been growing in geometric progression and focuses on archaeology, architecture, the visual arts, education, entertainment (computer games), medicine, navigation, tourism, logistics as well as other fields¹⁰.

Perspectives of the use of AR in architectural design were presented by the Trimble company in 2004¹¹. Conditions of the use of the technology in urban planning were discussed by, among others, K. Anagnostou and P. Vlamos¹². Project Tango, worked on by Google in 2014, was an essential attempt at popularising tools for placing 3D models in visible space using mobile device cameras. The platform made it

II. 1. kadr z filmu prezentującego możliwości okularów Hololens i platformy Trimble Connect. Na obraz realny placu budowy nakładany jest dynamiczny model IFC instalacji. Źr. https://www.youtube.com/watch?v=gF8H_GAm8mM; dostęp: 25.11.2018 r.

III. 1. still frame from a presentation video showing the capabilities of the Hololens display and Trimble Connect. A dynamic IFC model of an installation is superimposed on an actual image of a construction site. Source: https://www.youtube.com/watch?v=gF8H_GAm8mM; retrieved on: 25.11.2018



został zamknięty w 2016r. z uwagi na fakt, iż realnie funkcjonował jedynie na kilku modelach urządzeń specjalnie zaprojektowanych pod niego. W 2015r. został udostępniony darmowy pakiet oprogramowania Vuforia, który pozwala na generowanie modeli 3D w oparciu o markery 2D. W 2016r. na urządzenia z iOS 11 zostało upublicznione narzędzie ARKit, a w 2017r. na urządzenia z Androidem analogiczne narzędzie ARCore. Obie platformy pozwalają na osadzanie modeli 3D w oparciu o detekcję płaszczyzn i działają na zdecydowanie większej ilości urządzeń niż Project Tango. Równolegle do pakietów o charakterze otwartym i nastawionym na kreację autorskich rozwiązań rozwijane jest we współpracy firm Trimble i Microsoft rozwiązanie bazujące na HMD Hololens i platformie Trimble Connect. Rozwiązanie to wydaje się być na chwilę obecną najbardziej zaawansowane i najsprawniej funkcjonujące. Jest to również na chwilę obecną jedyne dopracowane rozwiązanie integrujące BIM i AR, czyli pozwalające na wyświetlanie modeli BIM (wraz z warstwą semantyczną) w kontekście przestrzeni rzeczywistej.

Omówienie metod generowania obrazów AR na przykładzie doświadczeń autorów

Generowanie modeli w oparciu o markery

Generowanie modeli 3D w oparciu o markery jest względnie proste i może być realizowane na standardowych urządzeniach mobilnych. Zasadą działania polega na logicznym związaniu uprzednio wgranego modelu 3D (ewentualnie animacji, lub informacji tekstowej) z markerem, czyli znacznikiem w przestrzeni rzeczywistej. W roli markerów stosowane są m. in. beacons, znaczniki RFID¹³ i obrazy 2D. W kontekście architektury najpopularniejszą platformą służącą budowie własnych aplikacji jest Unity z wprowadzonym w 2015 roku dodatkiem Vuforia. Rozwiązanie bazuje na markerach 2D.

Kiedy marker jest widoczny w polu widzenia kamery urządzenia, na jego ekranie generowany jest model 3D osadzony przeważnie bezpośrednio na markerze. Istotną cechą warunkującą, na ile obraz może być wykorzystany jako marker, jest stopień jego wewnętrznego zróżnicowania.

II. 2. marker 2D i model 3D w testach realizowanych przez autorów
III. 2. 2D marker and 3D model in tests performed by the authors

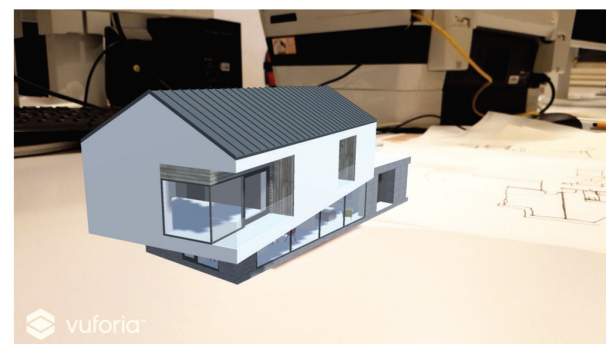
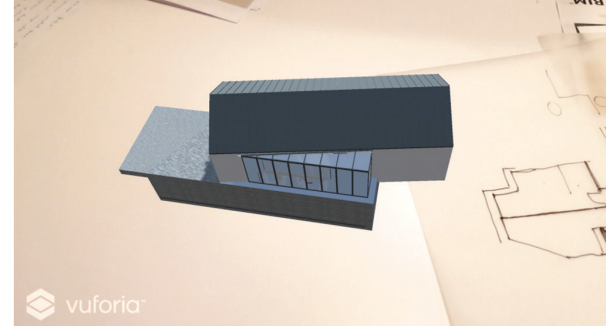


possible for mobile devices to identify flat surfaces by using three-level depth detection. The project was shut down in 2016 due to the fact that it actually functioned only on a few models of devices that had been specifically designed with it in mind. In 2015 the free-ware Vuforia package was made available, making it possible to generate 3D models using 2D markers. 2016 saw the release of the ARKit for iOS 11 devices, while 2017 featured the release of an analogous tool, ARCore, for Android devices. Both platforms make it possible to place 3D models based on surface detection and can be used on a much greater number of devices than Project Tango could. Simultaneously to open software packages aimed at the creation of original solutions, a solution based on the Holo-lens HMD and the Trimble Connect platform is being jointly developed by Trimble and Microsoft. This solution currently appears to be the most advanced and effective. It is also the only full-featured solution to integrate BIM and AR, which makes it possible to display BIM models (along with their semantic layer) in the context of real space.

Discussion of AR image generation methods on the example of the authors' experiences

Marker-based model generation

Marker-based 3D model generation is relatively simple and can be performed using standard mobile devices. Its principle of operation is based on logically binding a pre-loaded 3D model (or an animation or text information) with a marker in real space. Objects that play the role of markers include beacons, RFID¹³ markers and 2D images. In the context of architecture, the most popular platform used to build applications is Unity with the Vuforia plug-in, introduced in 2015. The solution is based on 2D markers. When a marker becomes visible to the camera of a device, a 3D model is generated on its screen, usually directly on top of the marker. The essential characteristic that conditions the suitability of an image to serve as a marker is the degree of its internal differentiation.



II. 3. model 3D osadzony na markerze leżącym na biurku w testach autorów
III. 3. 3D model placed on a marker lying on a desk in tests performed by the authors

Technologia generowania modeli w oparciu o markery sprawdza się dobrze w środowisku wewnętrznym i daje możliwość względnie łatwej prezentacji pomniejszonych modeli architektury. Próby generowania modeli w skali urbanistycznej w oparciu o markery opisuje m. in P. N. Machado Carvalho¹⁴. *Technologia obarczona jest istotną wadą polegającą na tym, że model jest generowany na wyświetlaczu wyłącznie wtedy gdy marker znajduje się w polu widzenia kamery. Platforma Vuforia pozwala na wiązanie modelu z większą ilością markerów, co do pewnego stopnia niweluje ten problem, aczkolwiek fizyczna lokacja dużej liczby markerów w przestrzeni jest kłopotliwa. Rozwiązanie to znajduje jednak zastosowanie w kontekście projektowania wnętrz. Drugim istotnym ograniczeniem technologii jest dystans rozpoznawania markerów, który ograniczony jest rozdzielczością kamery w urządzeniu oraz fizyczną wielkością markera. Przeważnie nie przekracza on 10m¹⁵.*

Generowanie modeli w oparciu o detekcję płaszczyzn

Generowanie modeli 3D w oparciu o detekcję płaszczyzn stało się powszechnie dostępne w 2016r. wraz z wprowadzeniem na rynek okularów Microsoft Hololens oraz integrację ich z platformą Trimble Connect. Rozwiązanie zostało również zaadoptowane przez firmę Apple i udostępnione w 2017r. w postaci platformy ARKit na której rozwijane są dedykowane aplikacje działające na urządzeniach mobilnych z iOS (od v.11). W 2018r. bliźniacze rozwiązanie ARCore na urządzenia z Androidem (od v.7.0) wprowadził Google. Rozwiązania ARKit i ARCore współpracują z popularnymi platformami Unity / Unreal i pozwalają na samodzielne i darmowe tworzenie aplikacji w technologii AR na urządzenia mobilne. Zasadą funkcjonowania technologii polega na automatycznej

The technology of generating models based on markers works well in an internal environment and makes it possible to relatively easily present scaled-down architectural models. Attempts at generating models based on markers on the urban scale were described by, among others, P. N. Machado Carvalho¹⁴. *The technology features a significant flaw which is based on the fact that the model is generated on the display only when the marker is visible to the camera. The Vuforia platform makes it possible to tie a model with a greater number of markers, which somewhat alleviates this problem, although the physical placement of a large number of markers within space is troublesome. However, this solution is employed in the context of interior design. The second significant limitation of the technology is the distance at which it identifies markers, which is constrained by the resolution of the camera of a device and the physical size of the marker. It usually does not exceed 10 m¹⁵.*

Surface detection-based model generation

Generating 3D models based on surface detection became broadly accessible in 2016 along with the release of the Microsoft Hololens display and its integration with Trimble Connect. The solution was also adopted by Apple and released in 2017 in the form of the ARKit platform, for which dedicated applications that operate on iOS (v. 11 and above) mobile devices are being developed. In 2018 a similar solution—ARCore—was released for Android devices (v. 7.0. and above) by Google. ARKit and ARCore solutions work with popular Unity / Unreal platforms and make it possible to independently create applications in AR technologies for mobile devices free of charge.



II. 4. model systemu magazynowania samochodów (Smart Parking) lokowany na ul. Biernackiego w Krakowie w oparciu o autorską aplikację bazującą na ARCore / Unity – testy autorów
 III. 4. model of a car storage system (Smart Parking) located at Biernackiego Street in Krakow based on an original application based on ARCore / Unity—tests performed by the authors

detekcji płaszczyzn w oparciu o dane pochodzące wyłącznie z kamery wbudowanej w urządzenie przenośne. Na rozpoznanych płaszczyznach można wskazywać punkty w których osadzone są modele 3D.

W oparciu o automatyczną detekcję płaszczyzn, oraz ruch urządzenia tworzona jest mapa przestrzenna, której rozmiar wydaje się być ograniczony wyłącznie pojemnością pamięci urządzenia.

W odróżnieniu od metody generowania modeli w oparciu o markery, w omawianej technologii pozycja osadzonego modelu 3D jest zapamiętywana przez urządzenie tak długo, jak zachowywana jest ciągłość ścieżki budowanej w oparciu o płaszczyzny. Wprowadza to istotną dla funkcjonalności barierę polegającą na tym, iż ruch urządzenia śledzącego powierzchnie musi być względnie powolny i prowadzony po ścieżce zbudowanej z czytelnych dla urządzenia płaszczyzn. Istotnym jest również fakt, iż czytelność płaszczyzn jest silnie uzależniona od obecności kontrastów kolorystycznych i stopnia oświetlenia. W realizowanych przez autorów testach udało się wygenerować automatycznie mapę płaszczyzn o długości ponad 100m i wysokości 7m (długość liczona była po linii dojścia od punktu osadzenia do punktu obserwacji). Z uwagi na niską jakość czujników IMU¹⁶ stosowanych w urządzeniach mobilnych przy tworzeniu ścieżek o dużych rozmiarach pojawia się wyraźny dryf modelu. W zrealizowanych testach dryf ten wynosił około 6m.

Generowanie modeli w oparciu o geolokalizację (AR+GIS)

Generowanie modeli 3D w oparciu o geolokalizację jest metodą zdecydowanie najbardziej wymagającą, ale również przedstawiającą, wydaje się, największy po-

The principle on which the technology functions is based on automatic surface detection relying solely on data from a mobile device's camera. Points can be assigned on surfaces identified by the software that can then be used to place 3D models.

A three-dimensional map is generated based on automatic surface detection and the movement of the device, its size being constrained only by the memory capacity of the device itself. In contrast to the marker-based model generation method, in this technology the position of a 3D model is retained in the device for as long as the continuity of the path built on surfaces is maintained. This introduces a significant barrier to functionality based on the fact that the motion of the surface-tracking device must be relatively slow and led along a path built from surfaces that are recognisable to the device. The fact that the recognisability of surfaces is highly dependent on the presence of colour contrast and degree of illumination is also essential. In tests performed by the authors, it was possible to automatically generate a surface map with a length of over 100 m and a height of 7 m (the length was calculated along the line connecting the point of placement and the point of observation). Due to low-quality IMU sensors¹⁶ being used in mobile devices, visible model drift can occur when creating long paths. In the tests that were performed, a drift of around 6 m was observed.

GIS-based model generation (AR+GIS)

Generating 3D models based on geolocation is the clearly most demanding method, but at the same



II. 5. model widziany z odległości około 60m (ścieżka dojścia 100m) z wyraźnie obecnym dryfem szacowanym na 6m (obrys czerwony wskazuje pierwotną pozycję modelu) – testy autorów
 III. 5. model seen from a distance of around 60 m (100 m approach path) with a clearly observable drift estimated at 6 m (the red outline shows the original position of the model)—tests performed by the authors

tencjał pod kątem zastosowań w skali urbanistycznej. Z asada działania układu opiera się na założeniu, że zarówno model 3D stanowiący przedmiot obserwacji, jak i obserwator posiadają bardzo precyzyjne koordynaty geolokalizacyjne. Jeśli chodzi o model 3D, umocowanie informacji geolokalizacyjnej jest względnie proste i dostępne poprzez wybrane narzędzia integrujące BIM i GIS (np. ArcGIS). Model architektury jest z natury statyczny, wobec czego może mieć wpisane stałe koordynaty przestrzenne. Ustalenie precyzyjnej lokalizacji obserwatora nastręcza natomiast więcej trudności i jest wysoce problematyczne przy użyciu standardowych urządzeń mobilnych.

W. Huang, M. Sun, S. Li opisują eksperyment zrealizowany w 2016r. Peking University, w którym w ramach tworzonego systemu ARGIS przetestowano dwa warianty rozwiązania bazującego na zintegrowanej pracy precyzyjnych czujników IMU (MTi firmy Xsens), standardowych odbiorników GPS i precyzyjnych RTKGPS. Przy zastosowaniu odbiorników wysokiej czułości (RTKGPS) osiągnięto dokładność lokalizacji modeli na poziomie 5cm, a przy zastosowaniu standardowego odbiornika GPS (zbliżonego do stosowanych w telefonach komórkowych) błąd odwzorowania sięgał 5m¹⁷. Podobny eksperyment opisują również A. Cirulis i K. Brigmanis, którzy na Vidzeme University of Applied Sciences (Litwa) opracowali system City 3D-AR. System bazuje na zestawie HMD z dwoma kamerami, odbiorniku GPS, kompasie cyfrowym i zewnętrznym żyroskopie¹⁸. Szeroki przegląd doświadczeń dotyczących integracji AR z geolokalizacją

time apparently showing the greatest potential in terms of application on the urban scale. The system's operation principle is based on an assumption that both the 3D model that is to be observed and the observer possess precise geolocation coordinates. As far as the 3D model is concerned, attaching geolocation information is relatively simple and accessible with selected tools that integrate BIM and GIS (e.g. ArcGIS). An architectural model is static by nature and can thus feature permanent spatial coordinates. Determining the precise location of the observer is more difficult and is highly problematic when standard mobile devices are used.

W. Huang, M. Sun and S. Li described an experiment performed in 2016 at Peking University in which, as a part of the development of the ARGIS system, two variants of a solution based on precise IMU sensors (MTi sensors by Xsens), standard GPS receivers and precise RTKGPS receivers were tested. When using highly sensitive receivers (RTKGPS), a model location precision level of 5 cm was attained, while when using a standard GPS receiver (similar to those used in mobile phones), positioning errors reached up to 5 m¹⁷. A similar experiment was also described by A. Cirulis and K. Brigmanis, who developed the City 3D-AR system at the Vidzeme University of Applied Sciences (Lithuania). The system is based on a dual-camera HMD device, a GPS receiver, a digital compass and an external gyroscope¹⁸. An extensive review of experiments concerning AR integration with geolocation was de-



II. 6. kadr pokazujący możliwości aplikacji UrbanPlanAR; źr. <https://www.youtube.com/watch?v=hg4dSI9db4o>; dostęp: 25.11.2018 r.
III. 6. image showing the possibilities of the UrbanPlanAR application; source. <https://www.youtube.com/watch?v=hg4dSI9db4o>; retrieved on: 25.11.2018

opisuje N. Hedley w publikacji „1.24 - Augmented Reality and GIS”¹⁹.
Pomimo ograniczonej dokładności odwzorowania modeli na urządzeniach mobilnych rozwijane są aplikacje AR, które mają w zamierzeniu na nich działać. Prace trwają m. in. na University of Canterbury’s HIT Lab²⁰ (Nowa Zelandia). W oparciu o doświadczenia badaczy z Heriot Watt University (Szkocja) została opracowana prawdopodobnie pierwsza aplikacja bazująca na geolokalizacji UrbanPlanAR, która jest w stanie uwzględniać w prezentacji obiekty zacierające. Aplikacja została skomercjalizowana przez firmę True View Visuals w 2017r. i nie jest przeznaczona do sprzedaży, ani do udostępniania.²¹

Porównanie metod generowania modeli w technologii AR pod kątem ich zastosowania w symulacji projektów w skali urbanistycznej

Tabela przedstawia porównanie przedstawionych metod generowania modeli 3D, pod kątem ich zastosowania w prezentacji koncepcji architektonicznej w skali urbanistycznej.

Podsumowanie

Technologia AR w kontekście branży architektonicznej jest na chwilę obecną nowością, aczkolwiek prezentuje istotny potencjał dla prezentacji i ewaluacji koncepcji architektonicznej w okolicznościach świata realnego. W przeciwieństwie do powszechnych metod prezentacji koncepcji (jak rysunki, wizualizacje, filmy i modele fizyczne), pozwala ona na bezpośrednią konfrontację zamierzenia projektowego z kontekstem. Kontekst ten jest w środowisku AR absolutnie rzeczywisty i nie

scribed by N. Hedley in the publication “1.24 - Augmented Reality and GIS”¹⁹.
Despite limited model presentation precision, AR applications for mobile devices are being developed. Work is currently underway at, among others, the University of Canterbury’s HIT Lab²⁰ (New Zealand). Based on experiments by researchers from Heriot Watt University (Scotland), UrbanPlanAR was developed—possibly the first geolocation-based application capable of taking into consideration objects that cast shade. The application was commercialised by True View Visuals in 2017 and is not meant for sale or sharing²¹.
Comparison of model generation methods in AR technology in terms of their application in simulating projects on the urban scale
The table below features a comparison of the presented 3D model generation methods in terms of their application in the presentation of architectural conceptual proposals on the urban scale.

Conclusion

In the context of the architectural sector, AR technology is still a novelty, although it presents significant potential for the presentation and assessment of architectural conceptual proposals in real world conditions. Contrary to commonly used methods of presentation (drawings, visualisations, videos and physical models), it makes it possible to directly confront a design with its context. This context is absolutely real in an AR environment and is not filtered, simplified or even falsified—as in the case of conventional presentation methods. At its current stage of development, the technology is burdened by several economic and technological limitations, although similarly to any new technology, it appears

Tabela 1. porównanie metod generowania modeli 3D w technologii AR, na podstawie ustaleń autorów

	Generowanie AR w oparciu o markery	Generowanie AR w oparciu o detekcję płaszczyzn	Generowanie AR w oparciu o geolokalizację	
			odwzorowanie z błędem rzędu 5m	odwzorowanie precyzyjne (dokł. w cm)
Sprzęt	Powszechny i tani – standardowe urządzenia mobilne	Powszechny - urządzenia mobilne z Android (v 7.0) lub iOS (v.11)	Powszechny i tani – standardowe urządzenia mobilne	Rejestrator RTKGPS / GNSS
				Rejestrator IMU
				Laptop
				HMD
				kamera (optymalnie dwie)
Oprogramowanie	Darmowe i dostępne (np. Unity / Vuforia)	Darmowe i dostępne (np. Unity / Unreal + ARCore)	Oprogramowanie nie jest powszechnie udostępniane.	
Dystans funkcjonowania	Względnie mały – kilka metrów	Od kilku do kilkuset metrów. Wraz ze zwiększeniem dystansu pojawia się znaczny dryf modelu.	Nieograniczony	
Stabilność obrazu	Bardzo mała – marker musi być cały czas w polu widzenia, inaczej obraz znika	Średnia – płaszczyzna zanika przy szybkich ruchach, aczkolwiek pozycja modelu jest zapamiętywana po odwróceniu urządzenia	Zależna od jakości czujników IMU – potencjalnie bardzo duża	
Dokładność pozycjonowania	Bardzo duża	Dość duża w bliskiej odległości, zauważalnie maleje wraz z oddalaniem się od modelu	zależna od jakości czujników GPS / IMU (szacowana na 5m)	szacowana na kilka cm
Optymalne zastosowania	Prezentacja zeskalowanych modeli 3D / Projektowanie wnętrz	Projektowanie wnętrz /	Prezentacja koncepcji w skali urbanistycznej z dowolnego miejsca w mieście	
		Prezentacja architektury z zewnątrz z odległości maks. kilkudziesięciu metrów		

Table 1. comparison of 3D model generation methods in AR technology

	Marker-based AR generation	Surface detection-based AR generation	Geolocation-based AR generation	
			Representation with an error margin of 5 m	Precise representation (in cm)
Hardware	Common and inexpensive — standard mobile devices	Common- Android (v 7.0) or iOS (v.11) devices	Common and inexpensive - standard mobile devices	RTKGPS / GNSS recorder
				IMU recorder
				Laptop
				HMD
				camera (two are optimal)
Software	Freeware (e.g. Unity / Vuforia)	Freeware (e.g. Unity / Unreal + ARCore)	The software is not commonly available.	
Functioning distance	Relatively low—a few metres	From several to several hundred metres. Considerable model drift appears as distance increases	Unlimited	
Image stability	Very low—the marker must constantly be in the field of view, otherwise the image disappears	Average—the surface disappears when quick motions are performed, although model position is maintained after the device is reoriented	Dependent on IMU sensor quality—potentially very high	
Positioning precision	Very high	Quite high at close distances, drops considerably as distance from model increases	Dependent on GPS/IMU sensor quality (estimated at 5 metres)	Estimated at a few cm
Optimal application	Presentation of rescaled 3D models/interior design	Interior design	Presentation of conceptual proposals on the urban scale from any location in the city	
		Outside presentation of architecture, from a distance of several dozen metres at most		

podlega filtrowaniu, uproszczeniu, lub wręcz zafałszowaniu, tak jak może mieć to miejsce w przypadku konwencjonalnych metod prezentacji. Technologia na obecnym etapie rozwoju obarczona jest szeregiem ekonomicznych i technologicznych ograniczeń, aczkolwiek podobnie, jak w przypadku wszystkich nowych technologii, wydaje się zasadne uznać, iż bariery te będą powoli zanikały.

W opinii autorów, technologia AR w przyszłości, przy jej usprawnieniu i upowszechnieniu, może również wydawnie usprawnić i zdemokratyzować procesy partycypacyjne, poprzez umożliwienie wszystkim zainteresowanym stronom zestawianie powstających koncepcji architektonicznych z rzeczywistym kontekstem przestrzennym.

PRZYPISY

¹ Rzadziej *rzeczywistość poszerzona*

² Niektóre źródła wiążą go też z francuskim pisarzem i teoretykiem teatru A. Artaudem, patrz: Featherly K., Lanier, Jaron [w:] Jones S., Encyclopedia of New Media, wyd. University of Illinois, Chicago 2002, s. 280-282

³ Murray J. W., *Building Virtual Reality with Unity and Steam VR*, wyd. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA) 2017, s. 2

⁴ Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities*, wyd. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., Londyn (UK) / Hoboken (USA) 2018, s. XIX

⁵ Pojęcie *Head Mounted Display* nie ma ujednoliconego tłumaczenia na język polski. Stosowane są równolegle określenia *gogle VR*, *okulary VR*, *okulary do wirtualnej rzeczywistości*.

⁶ Murray J. W., *op.cit.*, s. 4

⁷ Naimark M., *Aspen the Verb: Musings on Heritage and Virtuality* [w:] *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Special Issue on Virtual Heritage*, wyd. MIT Press Journals, Vol. 15, No. 3, MIT 2006, ss. 330-331

⁸ Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *op.cit.*, s. XXIV

⁹ Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E., Ivkovic M., *Augmented reality technologies, systems and applications* [w:] *Multimedia Tools and Applications* Vol. 51, No 1, wyd. Springer, s.343

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality, dostęp: 25.11.2018r.

¹¹ *ibidem*

¹² Anagnostou K., Vlamos P., *Square AR: Using Augmented Reality for urban planning* [w:] *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications* (mat. pokonferencyjne), wyd. IEEE, Ateny 2011, DOI: 10.1109/VS-GAMES.2011.24

¹³ RFID - *Radio-frequency identification*; technika identyfikacji przedmiotów wykorzystująca protokół Bluetooth. Przykłady aplikacji AR bazujących na znacznikach RFID opisują m. in *Rashida Z. ., Melià-Segui J., Pousb R., Peig E., Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities* [w:] *Future Generation Computer Systems*, Vol 76, Nov 2017, wyd. Elsevier, ss. 248-261

¹⁴ *Machado Carvalho P. N. , Mobile AR for large 3D Scenes using Markers – praca magisterska napisana na Universidade do Minho (Braga, Portugalia) pod opieką A. J. B. Ramires Fernandes, 2017* dostęp: <http://www4.di.uminho.pt/~arff/storage/pedroCarvalhoMIEI.pdf>

¹⁵ W oparciu o doświadczenia autorów.

¹⁶ Czujniki nawigacji inercyjnej

¹⁷ Huang W., Sun M., Li. S. A *3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system* [w:] *Expert Systems with Applications*, Vol. 55, 2016, s. 55

¹⁸ Cirulis A. Brigmanis K., *3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning*, [w:] *Procedia Computer Science*, Vol. 25, 2013, s. 75 (Autorzy nie podają w swoim tekście osiągniętej dokładności odwzorowania)

¹⁹ *Hedley N., 1.24 - Augmented Reality and GIS* [w:] *Comprehensive Geographic Information Systems*, pod. red. B. Huang, wyd. Elsevier 2018, ISBN: 9780128046609, ss. 355-368

²⁰ <http://www.crcsi.com.au/impact/using-augmented-reality-in-urban-design/> dostęp: 25.11.2018r.

²¹ <http://cyberbuild.hw.ac.uk/projects-urbanplanar.html>

BIBLIOGRAFIA

[1] Anagnostou K., Vlamos P., *Square AR: Using Augmented Reality for urban planning* [w:] *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications* (mat. pokonferencyjne), wyd. IEEE, Ateny 2011, DOI: 10.1109/VS-GAMES.2011.24

justified to assume that these barriers will slowly disappear.

In the opinion of the authors AR technology can also profoundly increase the effectiveness of and democratise participatory processes in the future when it becomes more effective and common, making it possible for all interested parties to compare architectural proposals with the actual spatial context.

ENDNOTES

¹ The term *rzeczywistość poszerzona* is also used, albeit rarely.

² some sources also associate it with the French writer and theatre theorist A. Artaude, see: Featherly K., Lanier, Jaron [in:] Jones S., Encyclopedia of New Media, publ. University of Illinois, Chicago 2002, p. 280-282

³ Murray J. W., *Building Virtual Reality with Unity and Steam VR*, publ. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA) 2017, p. 2

⁴ Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities*, publ. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., London (UK) / Hoboken (USA) 2018, p. XIX

⁵ The term *Head Mounted Display* does not have a unified translation into Polish. Terms such as *gogle VR*, *okulary VR*, *okulary do wirtualnej rzeczywistości* are used interchangeably.

⁶ Murray J. W., *op.cit.*, p. 4

⁷ Naimark M., *Aspen the Verb: Musings on Heritage and Virtuality* [in:] *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Special Issue on Virtual Heritage*, publ. MIT Press Journals, Vol. 15, No. 3, MIT 2006, p. 330-331

⁸ Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *op.cit.*, p. XXIV

⁹ Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E., Ivkovic M., *Augmented reality technologies, systems and applications* [in:] *Multimedia Tools and Applications* Vol. 51, No 1, publ. Springer, p.343

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality, retrieved on: 25.11.2018.

¹¹ *ibidem*

¹² Anagnostou K., Vlamos P., *Square AR: Using Augmented Reality for urban planning* [in:] *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications* (conference proceedings), publ. IEEE, Athens 2011, DOI: 10.1109/VS-GAMES.2011.24

¹³ RFID - *Radio-frequency identification*; an object identification technique employing the Bluetooth protocol. Examples of AR applications based on RFID markers were described by, among others, *Rashida Z. ., Melià-Segui J., Pousb R., Peig E., Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities* [in:] *Future Generation Computer Systems*, Vol 76, Nov 2017, publ. Elsevier, p. 248-261

¹⁴ *Machado Carvalho P. N. , Mobile AR for large 3D Scenes using Markers – master’s thesis written at Universidade do Minho (Braga, Portugal) under the supervision of A. J. B. Ramires Fernandes, 2017* available at: <http://www4.di.uminho.pt/~arff/storage/pedroCarvalhoMIEI.pdf>

¹⁵ Based on experiments performed by the authors

¹⁶ Inertial measurement units

¹⁷ Huang W., Sun M., Li. S. A *3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system* [in:] *Expert Systems with Applications*, Vol. 55, 2016, p. 55

¹⁸ Cirulis A. Brigmanis K., *3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning*, [in:] *Procedia Computer Science*, Vol. 25, 2013, p. 75 (The authors did not provide a precision value in the text)

¹⁹ *Hedley N., 1.24 - Augmented Reality and GIS* [w:] *Comprehensive Geographic Information Systems*, ed. B. Huang, publ. Elsevier 2018, ISBN: 9780128046609, p. 355-368

²⁰ <http://www.crcsi.com.au/impact/using-augmented-reality-in-urban-design/> retrieved on: 25.11.201.

²¹ <http://cyberbuild.hw.ac.uk/projects-urbanplanar.html>

BIBLIOGRAPHY

[1] Anagnostou K., Vlamos P., *Square AR: Using Augmented Reality for urban planning* [in:] *2011 Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications* (mat. pokonferencyjne), publ. IEEE, Athens 2011, DOI: 10.1109/VS-GAMES.2011.24

[2] Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities*, publ. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., London (UK) / Hoboken (USA) 2018

[2] Arnaldi B., Guitton P., Moreau G., *Virtual Reality and Augmented Reality. Myths and Realities*, wyd. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., Londyn (UK) / Hoboken (USA) 2018

[3] Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E., Ivkovic M., *Augmented reality technologies, systems and applications* [w:] *Multimedia Tools and Applications* Vol. 51, No 1, wyd. Springer, ss.341-377

[4] Cirulis A. Brigmanis K., *3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning*, [w:] *Procedia Computer Science*, Vol. 25, 2013, ss. 71-79

[5] Featherly K., *Lanier, Jaron* [w:] Jones S., *Encyclopedia of New Media*, wyd. University of Illinois, Chicago 2002, s. 280-282

[6] *Hedley N., 1.24 - Augmented Reality and GIS* [w:] *Comprehensive Geographic Information Systems*, pod. red. B. Huang, wyd. Elsevier 2018, ISBN: 9780128046609, ss. 355-368

[7] Huang W., Sun M., Li. S. A *3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system* [w:] *Expert Systems with Applications*, Vol. 55, 2016, ss.48-58

[8] *Machado Carvalho P. N. , Mobile AR for large 3D Scenes using Markers – praca magisterska napisana na Universidade do Minho (Braga, Portugalia) pod opieką A. J. B. Ramires Fernandes, 2017* dostęp: <http://www4.di.uminho.pt/~arff/storage/pedroCarvalhoMIEI.pdf>

[9] Murray J. W., *Building Virtual Reality with Unity and Steam VR*, wyd. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA) 2017

[10] Naimark M., *Aspen the Verb: Musings on Heritage and Virtuality* [w:] *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Special Issue on Virtual Heritage*, wyd. MIT Press Journals, Vol. 15, No. 3, MIT 2006

[11] *Rashida Z. ., Melià-Segui J., Pousb R., Peig E., Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities* [w:] *Future Generation Computer Systems*, Vol 76, Nov 2017, wyd. Elsevier, ss. 248-261

[3] Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E., Ivkovic M., *Augmented reality technologies, systems and applications* [in:] *Multimedia Tools and Applications* Vol. 51, No. 1, publ. Springer, p.341-377

[4] Cirulis A. Brigmanis K., *3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning*, [in:] *Procedia Computer Science*, Vol. 25, 2013, p. 71-79

[5] Featherly K., *Lanier, Jaron* [in:] Jones S., *Encyclopedia of New Media*, publ. University of Illinois, Chicago 2002, p. 280-282

[6] *Hedley N., 1.24 - Augmented Reality and GIS* [in:] *Comprehensive Geographic Information Systems*, ed. B. Huang, publ. Elsevier 2018, ISBN: 9780128046609, p. 355-368

[7] Huang W., Sun M., Li. S. A *3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system* [in:] *Expert Systems with Applications*, Vol. 55, 2016, p.48-58

[8] *Machado Carvalho P. N. , Mobile AR for large 3D Scenes using Markers – master’s thesis written at Universidade do Minho (Braga, Portugal) under the supervision of A. J. B. Ramires Fernandes, 2017* available at: <http://www4.di.uminho.pt/~arff/storage/pedroCarvalhoMIEI.pdf>

[9] Murray J. W., *Building Virtual Reality with Unity and Steam VR*, publ. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA) 2017

[10] Naimark M., *Aspen the Verb: Musings on Heritage and Virtuality* [in:] *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Special Issue on Virtual Heritage*, publ. MIT Press Journals, Vol. 15, No. 3, MIT 2006

[11] *Rashida Z. ., Melià-Segui J., Pousb R., Peig E., Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities* [in:] *Future Generation Computer Systems*, Vol 76, Nov 2017, publ. Elsevier, p. 248-261