

JACEK KONOPACKI*

THE TECHNOLOGY OF AUGMENTED REALITY – VIRTUAL RECONSTRUCTIONS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE DESIGN¹

WIRTUALNE REKONSTRUKCJE ZAŁOŻEŃ ARCHITEKTONICZNO-KRAJOBRAZOWYCH – TECHNOLOGIA ROZSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI

Abstract

The article discusses the use of augmented reality technology for visual reconstructions of architectural and landscape designs. The author presents the possibilities of using this technology in research on historic architectural or landscape complexes and presents how it may affect the public awareness of the rank of historic gardens. The article also contains a description of the main premises of the technology as well as the equipment used for ensuring intuitive perception of the reconstructions in the form of interactive visualisations. The potential of the technology has been illustrated with a few hitherto implemented experimental projects.

Keywords: augmented reality, reconstructions, landscape

Streszczenie

W artykule przedstawiono kwestię wykorzystania technologii rozszerzonej rzeczywistości w zagadnieniach związanych z wizualizowaniem rekonstrukcji obiektów architektoniczno-krajobrazowych. Omówiono możliwości wykorzystania tej technologii w badaniach zespołów historycznych i zaprezentowano, w jaki sposób może ona wywrzeć wpływ na społeczną świadomość rangi historycznych założeń ogrodowych. Opisano główne założenia technologii i rozwiązania sprzętowe, zapewniające intuicyjny odbiór rekonstrukcji w formie interaktywnych wizualizacji. Przedstawiono też potencjał technologii w oparciu o nieliczne jak dotąd przykłady eksperymentalnych wdrożeń.

Słowa kluczowe: rozszerzona rzeczywistość, rekonstrukcje, architektura, krajobraz

* MSc Jacek Konopacki, Institute of Landscape Architecture, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology.

¹ The research financed within the framework of the individual research project done by Jacek Konopacki MSc, NCN 2011/01/N/HS2/02295 *Application of digital spatial models in landscape design and conservation* (Badania finansowane w ramach indywidualnego projektu badawczego mgr. inż. Jacka Konopackiego, NCN 2011/01/N/HS2/02295 *Zastosowanie cyfrowych modeli przestrzennych w kształtowaniu i ochronie krajobrazu*).

1. INTRODUCTION

The question of using augmented reality technology in spatial projects, with a special emphasis on its use as a tool supporting the processes of public participation and its educational role, is one of the new aspects of European spatial policy². This technology, if used creatively, makes an invaluable cognitive and educational tool for exploring objects or complexes that no longer exist in reality. It may also present – in the form of intuitively perceived 3D images – objects or complexes which are still at the design stage or their alternative variants which have not been realised. The application of this technology, discussed in the article, as a method for visualising reconstructions of architectural or landscape objects or designs is based on the concept of using virtual 3D models for this purpose³. The examples presented of hitherto rather sparse experimental reconstructions of architectural and landscape designs illustrate the potential of this dynamically developing technology. It makes possible what has been so far unattainable, i.e. creation and virtual exploration of non-existing objects. An exceptionally valuable feature of this technology is that it uses popular portable devices, such as e.g. smartphones, for performing cognitive and educational tasks. The use of these devices and implementation of the method of dynamic three-dimensional visualisations which take place against the background of the real spatial context and vary depending on the adopted observation point offer vast opportunities for observing *in situ* the historic layers built up one upon another which is a distinguishing feature of old gardens.

2. THE AIM OF THE RESEARCH

The aim of the research is to demonstrate the potential and possible applications of augmented reality technology in reconstructions of architectural and landscape objects and designs. The author's research programme and experiments carried out within this framework were aimed at identifying the limitations of the implemented system and presenting solutions, suggested by the author, which would enable their elimination. Another objective, realised alongside the abovementioned, is to popularise the technology of augmented reality among specialists dealing with landscape design and conservation. The main objective of this research project is to articulate and substantiate the need for vigorous implementation of this technology for widespread use both as a tool supporting professional design, including renovation projects, and as a tool promoting development of public awareness.

3. THE PRESENT STATE OF RESEARCH

The beginnings of augmented reality technology can be traced back to the 1960s⁴, when first experiments with its application were carried out for the needs

² Integrated Project on Interaction and Presence in Urban Environments; www.ipcity.eu.

³ The use of visualisations of two-dimensional historic data, such as plans or photographs, has been intentionally disregarded in this article. The author presents experiments using three-dimensional spatial models for visualising non-existing objects. The choice to the 3D technology was based on the conviction that it has a significantly higher potential for perception and interaction on the part of the user, which translates into a higher cognitive value, than is the case of using two-dimensional images for the same purpose.

⁴ The main co-creator of the first AR system based on a head-mounted display device developed in 1966 was Ivan Sutherland of Harvard University.

of the army. However, its dynamic development for civil applications, observed since 2011, is directly related to technological advancement, which has resulted in the popularisation of mobile devices such as tablets and smartphones and earlier – portable computers. Present research projects dealing with augmented reality technology and the few actual implementations are only marginally related to the issues of garden reconstruction, however. There are only a small number of texts related to the technology, and these are all foreign-language scientific papers written by a very small circle of international specialists dealing with creating and developing augmented reality technology; none of them, however, is directly related to the issues presented in this article⁵. The following scientific centres are considered significant as regards the work, research and development connected with augmented reality for the needs of potential application in landscape design or conservation: HITLabNZ at the University of Canterbury in Christchurch, New Zealand; VTT Finland – a technical research centre, NAI – Netherlands Architecture Institute as well as several academic centres in the USA (MIT, Berkley) and a few other research projects, including some conducted by Chinese scientists. The conclusions as to the possibility and the need to implement the technology of augmented reality (**AR**) on a larger scale also as a tool for virtual reconstructions are based on some selected instances of its practical application and on interviews carried out by the author of this article with the creators of this dynamically evolving technology⁶.

4. THE RESEARCH DESCRIPTION

The diagram below presents the principles of the method of visualising objects in an augmented reality environment. It depicts the basic ways to visualise virtual objects and distinguishes four types of images. One of these is the mixed reality type, illustrating the general principle of visualisation in augmented reality.

As for the equipment, the system of augmented reality (**AR**)⁷ uses a mobile device, such as a smartphone or tablet, for the actual visualisations, but its operations are based on a camera, a computational unit, compass, gyroscope and a satellite signal, which is of particular importance when the technology is used for reconstructions of landscapes. The implementation of geo-locating systems of global range functioning alongside each other – Russian GLONASS and NAVSTAR GPS USA – as well as other systems at present operating only locally – Gallileo (Europe), Beidou (Asia, the Pacific) – has made it possible to locate virtual objects in space with increasing accuracy. In a schematic formulation, the AR system comprises superimposing an animated⁸

⁵ G. Schall, J. Schöning, V. Paelke, G. Gartner, *A survey on augmented maps and environments: Approaches, interactions and applications*, London 2011.

⁶ The research and the interviews were carried out at the turn of 2012 and 2013 in scientific centres and institutions which are world leaders in the implementation and development of augmented reality technology – VTT Finland: Charles Woodward, HITLab NZ: Gun Lee, NAI: Marlies den Hartogh. Conducted within the framework of project NCN 2011/01/N/HS2/02295 *Application of digital spatial models in landscape design and conservation*.

⁷ R.T. Azuma, *A Survey of Augmented Reality*, *Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4 (August 1997), 355-385; <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

⁸ The animation of the virtual object results from the user's motion in the real environment. The movement, registered by the sensors of the device, e.g. smartphone or tablet, and calculated on the basis of the satellite signal, prompts perspective adjustments of the object location displayed on the screen to the current position of the observer as if the object actually existed in reality.



- III. 1. The Reality-Virtuality continuum, according to Milgram. On the left – a completely real picture, in the middle – an image of mixed reality, on the right – a completely virtual environment. The central part of the diagram presents the image in which real and virtual elements are intertwined. A more precise classification distinguishes two types of imaging within mixed reality. In the case of augmented reality, the real picture (left) is complemented with virtual elements (right), and in the other approach the virtual image (right) is complemented with real elements (left). Author: J. Konopacki, based on Milgram, G. Shall, J. Schöning, V. Paelke, G. Gartner
- II. 1. The Reality-Virtuality continuum wg Milgram. Od lewej – obraz w pełni rzeczywisty, w części środkowej – obraz mieszanej rzeczywistości, po prawej – środowisko w pełni wirtualne. Centralna część schematu przedstawia odwzorowanie, w którym przenikają się elementy realne i wirtualne. Dokładniejsze przyporządkowanie uwzględnia dwa rodzaje odwzorowania w ramach mieszanej rzeczywistości. W przypadku rozszerzonej rzeczywistości obraz rzeczywisty (lewa) uzupełniany jest o elementy wirtualne (prawa), natomiast w drugim ujęciu obraz wirtualny (prawa) jest uzupełniany elementami realnymi (lewa). Autor: J. Konopacki na podstawie Milgram, G. Schall, J. Schöning, V. Paelke, G. Gartner

visualisation of virtual objects on a moving picture from the camera of the device. Due to the highly desirable potential of interaction on site, it works best with portable devices. There is also the possibility of using head-mounted displays⁹ or a Spatial Augmented Reality system¹⁰ for the same purpose, the latter of which projects virtual models onto other objects existing in the real environment. Since the AR technology displays the virtually reconstructed model on the screen of the device, it offers the capability of looking at it from any freely selected vantage point. The perspective in which it is presented depends solely on the location of the observer in relation to the actual real location assigned to the virtual object. Perception occurs as if naturally and intuitively by looking at the screen of the mobile device where the reconstructed image is displayed in depth against the background of its actual surroundings. The object may be viewed from an unlimited number of static points,

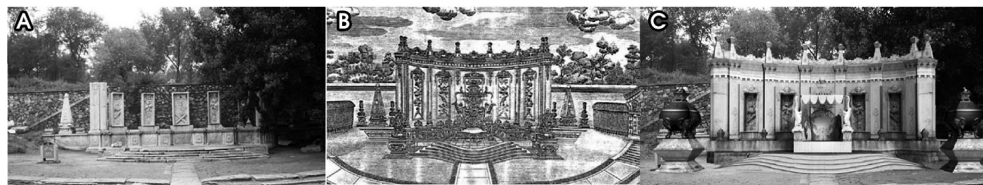
⁹ An example of head-mounted display use is the ARTHUR system: A Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning, Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, Germany, the Bartlett, University College London, Linie 4 Architekten, Germany. The author of the article has done some research on the use of AR head-mounted displays in the design process. Experiments were carried out in the Computer Lab of the CUT Landscape Architecture Institute, where two designers were working on the same model alongside each other with the use of the Vuzix wrap 920 AR displays. The experiments and conclusions formulated on the basis of the results thereof have been described in J. Konopacki's doctoral dissertation now in preparation entitled: *Application of digital spatial models in landscape design and conservation*, due to be published in 2014.

¹⁰ R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, H. Fuchs, *The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays*, July 19-24, 1998 Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, Siggraph 98, Orlando, Florida 1998.

or in motion, e.g. while the observer moves around or inside the virtual object. This offers the possibility of swift and effective perception of objects and compositions, while at the same time being an advanced tool also applicable at the design stage or in actual reconstruction projects¹¹.

Virtual reconstruction of architectural elements, Yuanmingyuan Gardens, China¹²

This project undertaken by a team of Chinese researchers from Sun-Yat Sen University consisted of an attempt to create a virtual reconstruction of some architectural elements of the Yuanmingyuan Gardens. The aim of the research conducted within the Digital Yuanmingyuan project was to create virtual reconstructions in AR technology of no longer existing architectural and landscaping objects, and thus offer the general public visiting the ruins of the Gardens the opportunity to see them in their original form. The garden complex, destroyed in 1860 by the joint armed forces of England and France, was considered to be the most splendid in China. Described as "the Garden of Gardens", it was an exceptional example of the Chinese art of horticulture and architecture. The renovation project undertaken at present does not include plans to reconstruct the formerly existing valuable works of architecture. These will be reconstructed in virtual reality instead.



III. 2. J. Konopacki on the basis of: Y. Liu, Y. Wang, Y. Li, J. Lei, L. Lin, *Key Issues for AR-Based Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Garden*, Presence, Vol. 15, No 3, June 2006, 336-340

II. 2. Opracowanie J. Konopacki na podstawie: Y. Liu, Y. Wang, Y. Li, J. Lei, L. Lin, *Key Issues for AR-Based Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Garden*, Presence, Vol. 15, No. 3, June 2006, 336-340

A portable AR system was constructed for the purposes of the project. Due to the deficiencies in the equipment offered by the technology of the time (2006), the system and software created did not go beyond the research stage. Nevertheless, in spite of the fact that it was not fully mobile, the system, based on a stationary computer and head-mounted displays, met the expectations of its creators in respect of the quality of visualisation and perception of objects by potential users. The scientists used an image recognition technology which precluded the use of the satellite location system. This technology, which created a hybrid system using data from *inter alia* accelerometers, was considered effective although it put a heavy burden upon the computational units. In the case in question, recognition of uncomplicated geometric forms against a relatively uniform background of vegetation brought satisfactory results in the aspect of the precise location of the reconstructed elements in the existing ruins.

¹¹ X. Wang, N. Gu, D. Marchant, Y. Gong, M. Jeong Kim, *Perceptions of Augmented Reality in the Design Sector*, Proceedings of 7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October 22-23, 2007.

¹² Y. Liu, Y. Wang, Y. Li, J. Lei, L. Lin, *Key Issues for AR-Based Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Garden*, Presence, Vol. 15, No 3, June 2006, 336-340.

The visitors to the gardens who were asked to test the suggested method of object visualisation expressed particular appreciation of its educational and visual values.

Virtual reconstruction of Ypres Salient Palace, Belgium¹³

Virtual reconstruction of the Beukenhorst Palace was conducted within the framework of the Ypres Salient research project. In order to achieve the aim of making the virtual reconstruction available for the broadest possible group of potential users, the research team used the generally accessible and free tools offered by the Layar service¹⁴. This choice enabled them to create the MARS application (Mobile Augmented Reality System), thus considerably simplifying the whole undertaking with respect to the information technology used. The team precisely reconstructed the form of the non-existent palace on the basis of historic data. The equivalent of the real object – thus created – was georeferenced and transformed into a file in the native format of the three-dimensional Layar environment. The representation of the model was supplemented with some text providing additional information on the object. The data prepared in this way were subsequently uploaded into the server. The Layar service uses the data made available to it if there is a request for them reported from a client application installed in a user's device. The communication between the servers and the device takes place in real time through the Internet. The model is sent to the device, where it is visualised. In order to place the virtual object correctly in the real location assigned to it, the system uses the data taken from the sensors of the device and the signal from the satellite positioning system.

Several limitations resulting from the software framework used were identified during the experiment.

- The first shortcoming is the manner of model visualisation, which is superimposed in the foreground. The absence of any screening by real objects situated in front of the reconstructed model makes it considerably more difficult to perceive it correctly in its real context.
- Another deficiency of the system is the method of reconstructing the object location, calculated on the basis of a GPS signal, which leads to considerable inaccuracies in positioning the object in relation to the expected place which had been originally assigned to it.

Nevertheless, the research revealed great potential in the solution. It was agreed that visualisations using the technology of augmented reality may considerably influence the interest of the public in learning more about historic heritage, which may indirectly affect the possibilities of their conservation and reconstruction.

¹³ R. Joye, S. De Muelenaere, S. Heyde, J. Verbeken, H. Libbrecht, *On the Applicability of Digital Visualization and Analysis Methods in Context of Historic Landscape Research*, Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010, Berlin 2010, 331-340.

¹⁴ <http://layar.com/what-is-layar/> (access: 10.09.2013).

The MLBE V4 research experiment, perception of the AR technology on the basis of the author's original application, CUT Faculty of Architecture¹⁵

An experiment was carried out as part of the research into the possible application of augmented reality technology in landscape architecture, which was to examine the perception of visualisations of this type. For this purpose, the author of the article – within the framework of his international cooperation with HitLab NZ University of Canterbury – developed a pioneer mobile application which was designed to meet the expectations of professionals in landscape planning and management. The objective was from the outset to create an application eliminating the deficiencies of currently existing AR systems designated for the visualisation of virtual objects in their planned locations. The co-creator of the application operating in the Android system and at the same time the person responsible for the software part of the project is Prof. Gun Lee – an experienced AR technology creator. A virtual model of the building of the Małopolskie Sustainable Construction Living Laboratory (*Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego – MLBE*) was used for the purposes of visualisation since at that time it had not yet been built¹⁶.

The characteristic features of the solution, which are of particular importance for the quality of the virtual object perceived in its real location and spatial context, are the following:

- Four available ways of visualising the virtual object in its proposed real context.
 1. The traditional method, the object is visualised as an overlay in the foreground.
 2. Visualisation of the object together with virtual equivalents of real objects. This type of visualisation allows simulations of the designed object partly screened by real objects in its surroundings. Virtualised accompanying objects are represented in the form of opaque simplified spatial forms.
 3. Visualisation of the object with virtual semi-transparent equivalents of real objects. This method is a modification of the one described above in the aspect of the accompanying object display. Such semi-transparent spatial forms facilitate precise calibration of the model for viewers with poorer spatial imagination.
 4. Visualisation of the object in the form that represents its true impact, if in fact constructed at the site. Methods 2 and 3 – described above – allowed partial screening of the designed object by virtual equivalents of the objects actually existing in the real surroundings. In the case of the fourth method, these objects are not visible on the screen of the mobile device. Acting like a mask, they allow viewing the designed form partly screened by simulations of the actual accompanying objects. This innovative method allows an exceptionally intuitive perception of the designed object by simulating precisely the real impact of the object in the existing spatial context.
- Two methods of user location, of key importance for the precision of nesting the virtual object in its real context.

¹⁵ A research experiment carried out within the framework of the research done by J. Konopacki, Institute of Landscape Architecture, Faculty of Architecture, Krakow University of Technology; the planned publication of the doctoral dissertation entitled *Application of digital spatial models in landscape design and conservation* – now in preparation – in 2014.

¹⁶ The MLBE is going to be located in the campus of Krakow University of Technology in Warszawska Street. The project is due to be completed in 2014.

1. The classic method using the satellite signal, offering satisfactory results as regards the precision of object location.
2. Apparent (simulated) location. The author's original method of apparent location offering the possibility of very precise setting of virtual objects in their real surroundings. The application simulates the precise geographic coordinates of the previously registered location. When placed at the pre-programmed point, its real coordinates are loaded from the previously inserted data disregarding the satellite signal. The accuracy of this method oscillates within the range of a dozen or so centimetres, which is sufficient for objects on the scale of urban development.

The research into the usefulness of this system of object visualisation in the AR technology was carried out in two rounds: in May and in June 2013. It included a group of 80 people: representatives of academic circles (CUT Faculty of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Faculty of Physics), students doing courses of architecture or architecture-related, representatives of architectural studios and potential stakeholders, i.e. passers-by. The stakeholders had three mobile devices at their disposal. By using them they were able to become familiar with the technology and to see the virtual equivalent of the structure, which had not yet been constructed, in its proposed real location. The users' observations were recorded during the experiment and so was the way in which they interacted with the devices and the virtual model. Each of the participants had to answer questions asked by the research team.

Answering closed questions, respondents evaluated the usefulness of the AR technology on a scale from 1 to 5, where 1 was a negative evaluation, 3 – neutral, and 5 – the most positive. For the needs of this article, only the results of certain selected questions referring to the specific subject of reconstruction discussed here have been presented below:

– *Is the partial screening of the object by the existing buildings helpful in perceiving the real context of the proposed structure?*

The users of the application evaluated this function as highly useful. The average evaluation was 4.52, where 60% was grade 4, and the remaining 40% grade 5.

– *Are the predefined locations from which the object may be viewed useful?*

The experiment participants evaluated the opportunity to view the object from a predefined location for the purpose of obtaining a precise setting of the virtual object in the real context as useful. The average grade was 4.24, where 20% was the neutral grade 3, 45% – grade 4, and 35% of the respondents evaluated this function as very useful and gave it 5.

– *How do you evaluate the usefulness of this technology as a tool supporting the procedures of public consultations in spatial issues?*

The respondents evaluated the tool as highly useful for application in the procedures of public consultations. The average grade was 4.76, where 10% evaluated it as neutral (3), 5% as positive (4) and the remaining 85% as highly useful (5).

– *How do you evaluate the usefulness of this technology – virtual reconstructions – as an educational and cognitive tool for learning more about cultural heritage?*

The respondents evaluated the technology as highly useful as a tool supporting the cognitive process and education in the field of cultural heritage. The average grade was 4.58, where 15% evaluated it as neutral (3), 15% as positive (4) and the remaining 70% as highly useful (5).

The experiment shows that the technology of augmented reality may be an effective tool supporting the work of landscape architects, both for examination of perception and landscape analysis and for the actual design process. Applying the suggested solutions in three-dimensional visualisation of non-existing virtual objects in their actual proposed spatial context is a highly desirable form of presenting design concepts. It has been appreciated both by professionals dealing with examination, design, management and planning of landscapes and by the general public, who are potential stakeholders in undertakings affecting the appearance of the surrounding space.

5. CONCLUSIONS

The examined implementations and the experiments conducted indicate the high potential of this technology. As demonstrated by the MLBE V4 experiment, present limitations may be eliminated and the technology may become an excellent source of spatial information presented in an intelligible way, and this is appreciated by potential users. At the same time it is an effective professional support tool for a landscape architect in landscape design and analysis. The potential of the technology, if used appropriately, may contribute to better verification of proposed designs and to taking better decisions as regards landscape design.

The increasing popularity of mobile devices and the interactive form of learning about cultural heritage with the use of the presented technology may considerably influence the level of education of the public and their spiritual development related to the perception of historic monuments. Visualisations of this type may contribute to a significant increase in the level of spatial education and the development of civil society appreciating their cultural heritage in the form of historic objects and architectural and landscape designs more than previously. It is particularly important in the case of objects of horticulture art, which have as a rule been repeatedly transformed in the course of their history to suit new styles or to follow seasonal fashions. Being able to show visitors, with the use of the augmented reality technology, several, sometimes more than a dozen, stages of development of a given garden, or e.g. seasonal changes in the parterres, would undoubtedly positively affect the awareness of the public as regards those monuments, and it would reassert their rank.

REFERENCES

- AZUMA R.T., *A Survey of Augmented Reality, Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4, August 1997, 355-385; <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.
- JOYE R., DE MUELENAERE S., HEYDE S., VERBEKEN J., LIBBRECHT H., *On the Applicability of Digital Visualization and Analysis Methods in Context of Historic Landscape Research*, Peer-Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture, Berlin 2010, 331-340.
- LIU Y., WANG Y., LI Y., LEI J., LIN L., *Key Issues for AR-Based Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Garden*, Presence, Vol. 15, No 3, June 2006, 336-340.
- RASKAR R., WELCH G., CUTTS M., LAKE A., STESIN L., FUCHS H., *The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays*, July 19-24, 1998 Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, Siggraph 98, Orlando, Florida 1998.
- SCHALL G., SCHÖNING J., PAELKE V., GARTNER G., *A survey on augmented maps and environments: approaches, interactions and applications*, London 2011.
- WANG X., GU N., MARCHANT D., GONG Y., JEONG KIM M., *Perceptions Of Augmented Reality In The Design Sector*, Proceedings of 7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October 22-23, 2007.

1. WSTĘP

Tematyka zastosowania technologii rozszerzonej rzeczywistości (ang. Augmented Reality – AR) w przedsięwzięciach przestrzennych, ze szczególnym naciskiem na jej wykorzystanie jako narzędzia wspomagającego procesy partycypacji społecznej oraz roli edukacyjnej, jest jednym z nowych aspektów europejskiej polityki przestrzennej¹⁷. Ta kreatywnie wykorzystana technologia stanowi nieocenione narzędzie poznawczo-edukacyjne w odniesieniu do nieistniejących już w rzeczywistości obiektów czy założeń. Może jednocześnie przekazywać przez intuicyjnie odbierany obraz trójwymiarowy obiekty lub założenia, będące jeszcze w fazie projektu, lub przedstawiać warianty niezrealizowane. Rozpatrywane w artykule zastosowanie jej jako metody mającej na celu wizualizowanie rekonstrukcji obiektów architektoniczno-krajobrazowych czy też założeń ogrodowych, opiera się na zastosowaniu w tym celu wirtualnych modeli 3D¹⁸. Przedstawione przykłady nielicznych jak dotąd eksperymentalnych rekonstrukcji założeń architektoniczno-krajobrazowych ilustrują potencjał tej dynamicznie rozwijającej się technologii. Pozwala ona na niedostępne dotąd możliwości tworzenia i wirtualnego eksplorowania nieistniejących obiektów. Wyjątkowo wartościową cechą opisywanych rozwiązań jest implementacja w celu realizacji zadań poznawczo-edukacyjnych popularnych urządzeń przenośnych typu smartfon. Dzięki ich zastosowaniu oraz wdrożonej metodzie dynamicznej wizualizacji trójwymiarowej, odbywającej się na tle rzeczywistego kontekstu przestrzennego i zależnej od przyjętego punktu obserwacji, istnieją szerokie możliwości naturalnego odczytywania *in situ* nawarstwień historycznych, które są cechą szczególną założeń ogrodowych.

2. CEL BADAŃ

Celem badań jest wskazanie potencjału i metod zastosowania technologii rozszerzonej rzeczywistości w rekonstrukcjach obiektów i założeń architektoniczno-krajobrazowych. Podjęte działania badawcze i wykonane eksperymenty autorskie mają za zadanie wskazanie ograniczeń wynikających z zastosowanych rozwiązań oraz przedstawienie proponowanych przez autora metod pozwalających na ich wyeliminowanie. Równoległym celem jest popularyzacja technologii rozszerzonej rzeczywistości w gronie specjalistów zajmujących się kształtowaniem i ochroną krajobrazu. Wyartykułowanie potrzeby jej dynamicznego wdrażania do szerokiego użytku, zarówno w warstwie profesjonalnego wspomaganie projektowania, również w zakresie rewaloryzacji, jak i narzędzia wspomagającego rozwój świadomości społecznej – to główne cele realizowanego projektu badawczego.

¹⁷ Integrated Project on Interaction and Presence in Urban Environments; www.ipcity.eu.

¹⁸ Rozważania dotyczące zastosowania wizualizacji dwuwymiarowych danych historycznych w postaci planów czy fotografii zostały celowo pominięte w powyższym artykule. Autor przedstawia eksperymenty, wykorzystujące trójwymiarowe modele przestrzenne w celu zwizualizowania nieistniejących obiektów. Wybór został dokonany ze względu na znacznie większy potencjał percepcji, interakcji, wywołanej u użytkownika, co przekłada się na wyższą wartość poznawczą, aniżeli w przypadku zastosowania w tym celu obrazów dwuwymiarowych.

3. STAŃ BADAŃ

Technologia rozszerzonej rzeczywistości ma swoje początki w latach 60. XX wieku¹⁹, kiedy to rozpoczęto doświadczenia nad jej zastosowaniem do celów wojskowych. Jednakże jej dynamiczny rozwój do celów cywilnych, obserwowany od 2011 roku, jest bezpośrednio związany z postępowaniem technologicznym, który przyczynił się do spopularyzowania urządzeń mobilnych typu tablet i smartfon, a wcześniej komputerów przenośnych. Obecne nieliczne wdrożenia²⁰ technologii rozszerzonej rzeczywistości i badania nad nią w bardzo niewielkim stopniu dotyczą zagadnień związanych z rekonstrukcją założów ogrodowych. Istniejące w niewielkiej liczbie opracowania tekstowe poświęcone temu zagadnieniu są dziełem bardzo wąskiej grupy międzynarodowych specjalistów, zajmujących się tworzeniem i rozwijaniem tej technologii, jednak nie dotyczą bezpośrednio badanej tematyki. Za znaczące ośrodki naukowe w zakresie badań i rozwoju techniki rozszerzonej rzeczywistości, na potrzeby związane z potencjalnym zastosowaniem w zakresie kształtowania czy też ochrony krajobrazu, należy uznać: HitlabNz, uniwersytet Canterbury Christchurch Nowa Zelandia, VTT Finland ośrodek badawczo rozwojowy, NAI Niderland Institute of Architecture oraz ośrodki akademickie z USA (MIT, Berkley). Wnioski dotyczące możliwości oraz potrzeby wdrożenia technologii rozszerzonej rzeczywistości na szeroką skalę, również jako narzędzia wirtualnych rekonstrukcji, opierają się na wybranych przykładach praktycznego jej zastosowania oraz przeprowadzonych przez autora artykułu wywiadach z twórcami tej dynamicznie ewoluującej technologii²¹.

4. OPIS BADAŃ

W celu wprowadzenia w zasady funkcjonowania metod wizualizowania obiektów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości przedstawiono poniższy schemat graficzny. Opisuje on podstawowe sposoby wizualizacji obiektów wirtualnych, różniąc cztery typy obrazowania. Wśród nich znajduje się mieszana rzeczywistość, obrazująca ogólną zasadę wizualizowania w technologii rozszerzonej rzeczywistości.

System rozszerzonej rzeczywistości²², wykorzystując do wizualizowania urządzenie mobilne typu smartfon/tablet, opiera się sprzętowo na kamerze, jednostce obliczeniowej, kompasie, żyroskopie oraz sygnale satelitarnym, który jest szczególnie istotny w przypadku wykorzystania go w zagadnieniach związanych z rekonstrukcjami w krajobrazie. Dzięki wdrożeniu funkcjonujących równolegle systemów geolokalizacyjnych o pokryciu globalnym – rosyjskiego GLONASS, NAVSTAR GPS USA oraz aktualnie dostępnych wyłącznie lokalnie systemów Gallileo (Europa), Beidou (Azja, Pacyfik)

¹⁹ Głównym współtwórcą pierwszego systemu AR, opierającego się o wyświetlacz nagłowny, był w 1966 r. Ivan Sutherland z Harvard University.

²⁰ G. Schall, J. Schöning, V. Paelke, G. Gartner, *A survey on augmented maps and environments: Approaches, interactions and applications*, London 2011.

²¹ Badania oraz wywiady indywidualne odbyły się na przełomie 2012/2013 r. w ośrodkach naukowych i instytucjach, będących światowymi liderami we wdrażaniu i rozwoju technologii rozszerzonej rzeczywistości: Vtt Finland: Charles Woodward, HitLab NZ: Gun Lee, NAI: Marlies den Hartogh. Odbyły się one w ramach projektu NCN 2011/01/N/HS2/02295 *Zastosowanie cyfrowych modeli przestrzennych w kształtowaniu i ochronie krajobrazu*.

²² R.T. Azuma, *A Survey of Augmented Reality*, *Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4 (August 1997), 355-385; <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

– możliwe jest coraz dokładniejsze lokalizowanie wirtualnych obiektów w przestrzeni. System AR w ujęciu schematycznym funkcjonuje na zasadzie nakładania na ruchomy obraz, pochodzący z kamery urządzenia, animowanej²³ wizualizacji obiektów wirtualnych. Ze względu na wysoce pożądane możliwości interakcji w terenie najlepiej sprawdza się w przypadku urządzeń mobilnych. Istnieje również możliwość zastosowania w tym celu wyświetlaczy nagłownych²⁴ lub systemu Spatial Augmented Reality²⁵, który dokonuje projekcji wirtualnych modeli na innych obiektach istniejących w rzeczywistej przestrzeni. Technologia AR, wyświetlając wirtualny model rekonstrukcji na ekranie urządzenia, oferuje możliwość obserwowania go z dowolnego punktu widzenia. Ujęcie, w jakim jest prezentowany, zależy wyłącznie od położenia obserwatora względem przyporządkowanej wirtualnemu obiektowi rzeczywistej lokalizacji. Percepcja następuje w sposób niejako naturalny i intuicyjny przez wyświetlanie na ekranie, należącym do urządzenia mobilnego, przestrzennego obrazu wirtualnej rekonstrukcji na tle jej rzeczywistego otoczenia. Obserwacja obiektu może być realizowana z nieograniczonej ilości punktów statycznych lub w ujęciu dynamicznym, np. podczas poruszania się w wokół bądź wewnątrz wirtualnego obiektu. Oferuje możliwość szybkiej i efektywnej percepcji obiektów i założeń kompozycyjnych²⁶, stając się jednocześnie zaawansowane narzędzie, mające zastosowanie również w fazie projektowej czy też w przypadku realizacji rzeczywistych rekonstrukcji.

Wirtualna rekonstrukcja elementów architektonicznych, Yuanmingyuan Garden, Chiny²⁷

Działania podjęte przez zespół chińskich badaczy z uniwersytetu Sun-Yat Sen, polegały na próbie wirtualnej rekonstrukcji fragmentów obiektów małej architektury ogrodów Yuanmingyuan. Celem badań w ramach projektu The Digital Yuanmingyuan było udostępnienie szerokiemu gronu zwiedzających możliwości poznania przez wirtualne rekonstrukcje, wykonane w technologii AR, niestniejących obiektów architektoniczno-krajobrazowych. Zniszczony w 1860 roku przez angielsko-francuskie siły zbrojne, uznawany był za najwspanialszy w Chinach i określany jako „Ogród nad ogrodami”, stanowiąc wyjątkowy przykład chińskiej sztuki ogrodowej

²³ Animacja bryty wirtualnego obiektu następuje w wyniku poruszania się użytkownika w rzeczywistej przestrzeni. Ruch rejestrowany przez czujniki urządzenia typu smartfon/tablet oraz obliczany na podstawie sygnału satelitarnego powoduje perspektywiczne dopasowanie wyświetlanego na ekranie układu obiektu do aktualnej pozycji obserwującego, tak jakby ten obiekt istniał niejako w rzeczywistości.

²⁴ Przykładem zastosowania wyświetlaczy nagłownych może być system ARTHUR: A Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning, Fraunhofer Institute for Applied Information Technology, Germany, the Bartlett, University College London, Linie 4 Architekten, Germany. Autor niniejszego artykułu prowadził badania z zastosowaniem wyświetlaczy nagłownych AR w procesie projektowym. Przeprowadzono eksperymenty w pracowni komputerowej Instytutu Architektury Krajobrazu PK z użyciem dwóch równolegle pracujących na tym samym modelu projektantów, z zastosowaniem wyświetlaczy Vuzix wrap 920 AR. Eksperymenty oraz wnioski z przeprowadzonych doświadczeń zostały opisane w przygotowywanej pracy doktorskiej J. Konopackiego: *Zastosowanie cyfrowych modeli przestrzennych w kształtowaniu i ochronie krajobrazu*.

²⁵ R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, H. Fuchs, *The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays*, July 19-24, 1998 Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, Siggraph 98, Orlando, Florida 1998.

²⁶ X. Wang, N. Gu, D. Marchant, Y. Gong, M. Jeong Kim, *Perceptions of Augmented Reality in the Design Sector*, Proceedings of 7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October 22-23, 2007.

²⁷ Y. Liu, Y. Wang, Y. Li, J. Lei, L. Lin, *Key Issues for AR-Based Digital Reconstruction of Yuanmingyuan Garden*, Presence, Vol. 15, No. 3, June 2006, 336-340.

i architektury. Obecnie podjęte działania renowacyjne i konserwatorskie nie zakładają odbudowy dawnych cennych dzieł architektonicznych. Rolę tę mają spełniać wirtualne rekonstrukcje.

W celu realizacji założonego celu skonstruowano przenośny system AR. Ze względu na dostępne wówczas (2006) zasoby sprzętowe, wynikające z aktualnego poziomu rozwoju technologii, powstały system i rozwiązania programistyczne pozostały w fazie badawczej. Mimo to system, oparty na komputerze stacjonarnym oraz wyświetlaczach nagłownych, pomimo braku pełnej mobilności, spełnił oczekiwania twórców w kwestii jakości wizualizowania i percepcji obiektów przez potencjalnych użytkowników. Zastosowane rozwiązanie, oparte o technologie rozpoznawania obrazu, wykluczyło tym samym system lokalizacji satelitarnej. Technika ta, tworząc hybrydowy system z wykorzystaniem danych z czujników (m.in. akcelerometrów), została uznana za efektywną, choć mocno obciążającą jednostki obliczeniowe. W badanym przypadku rozpoznawanie nieskomplikowanych form geometrycznych na stosunkowo jednorodnym tle w postaci roślinności przyniosło zadowalające wyniki w postaci precyzyjnego lokalizowania elementów rekonstruowanych na ruinach.

Zwiedzający ogrody, poddani badaniom percepcji proponowanej metody wizualizowania obiektów, wyrażali się wyjątkowo pozytywnie o jej walorach edukacyjnych i wizualnych.

Wirtualna rekonstrukcja pałacu Ypres Salient, Belgia²⁸

Wirtualna rekonstrukcja Pałacu Beukenhorst została zrealizowana w ramach projektu badawczego Ypres Salient. W celu realizacji zadania, jakim było udostępnienie wirtualnej rekonstrukcji jak najszerszemu gronu potencjalnych użytkowników, skorzystano z ogólnodostępnych nieodpłatnych narzędzi serwisu Layar²⁹. Wybór ten umożliwił stworzenie aplikacji MARS (Mobile Augmented Reality System), znacznie upraszczając przedsięwzięcie pod względem informatycznym. Podjęte działania kolejno polegały na precyzyjnym odtworzeniu na podstawie danych historycznych bryły nieistniejącego pałacu. Tak utworzony odpowiednik rzeczywistego obiektu został zgeoreferowany i przetworzony do natywnego formatu pliku trójwymiarowego środowiska Layar. Prezentacja modelu została uzupełniona o warstwę tekstową, która pełni rolę informacji uzupełniających. Przygotowane dane zostały następnie umieszczone na serwerze. Serwis Layar korzysta z udostępnionych mu danych w przypadku zgłoszenia zapotrzebowania na nie z aplikacji klienckiej, zainstalowanej na urządzeniu użytkownika. Komunikacja między serwerami i urządzeniem odbywa się w czasie rzeczywistym za pośrednictwem sieci internetowej. Model zostaje przesłany do urządzenia, w którym następuje jego wizualizacja. W celu poprawnego zlokalizowania wirtualnego obiektu w rzeczywistej przypisanej mu lokalizacji, system korzysta z danych odczytywanych z czujników urządzenia oraz sygnału satelitarnego systemu pozycjonującego.

W trakcie eksperymentu zwrócono uwagę na pewne ograniczenia wynikające z wykorzystanej platformy programistycznej.

²⁸ R. Joye, S. De Muelenaere, S. Heyde, J. Verbeken, H. Libbrecht, *On The Applicability of Digital Visualization and Analysis Methods in Context of Historic Landscape Research*, Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010, Berlin 2010, 331-340.

²⁹ <http://layar.com/what-is-layar/> (dostęp: 10.09.2013).

1. Pierwszą z wad jest sposób wizualizowania modelu, który odbywa się przez nanieśnięcie go na pierwszy plan. Brak przystoięć przez rzeczywiste obiekty, znajdujące się przed elementem rekonstruowanym, znacząco utrudnia jego prawidłowy odbiór w rzeczywistym kontekście.
2. Kolejną z wad systemu jest metoda lokalizowania rekonstruowanego obiektu, obliczana na podstawie sygnału GPS, która prowadzi do powstawania znacznych niedokładności w umieszczaniu obiektu w odniesieniu do pozycji, jaka została mu pierwotnie przypisana.

Mimo to podczas badań wskazano na olbrzymi potencjał zastosowanego rozwiązania. Postawiono tezę, iż wizualizacje tego typu rekonstrukcji z wykorzystaniem technologii rozszerzonej rzeczywistości mogą znacząco wpłynąć na społeczne zainteresowanie poznawaniem historycznych dóbr kultury, co pośrednio może wpłynąć na decyzje dotyczące ich konserwacji i rekonstrukcji.

Eksperyment badawczy MLBE V4, percepcja technologii AR na podstawie autorskiej aplikacji, Wydział Architektury PK³⁰

W ramach badań nad zastosowaniem technologii rozszerzonej rzeczywistości na potrzeby architektury krajobrazu przeprowadzono eksperyment, który zbadał percepcję tego typu wizualizacji. W tym celu autor artykułu stworzył w ramach międzynarodowej współpracy z HitLab NZ University of Canterbury pionierską aplikację mobilną, która w całości została podporządkowana oczekiwaniom profesjonalistów z zakresu planowania i zarządzania krajobrazem. Powstała aplikacja założenia jest stworzona w celu wyeliminowania wad istniejących aktualnie systemów AR, przeznaczonych do wizualizowania wirtualnych obiektów w ich planowanej lokalizacji. Współtwórcą aplikacji, działającej pod kontrolą systemu Android, a zarazem osobą odpowiedzialną za część programistyczną jest profesor Gun Lee, doświadczony twórca technologii AR. Do celów wizualizacji wykorzystano wirtualny model nieistniejącego wówczas obiektu Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego³¹.

Wśród cech charakterystycznych stworzonego rozwiązania, mających szczególnie wpływ na jakość percepcji wirtualnego obiektu w jego rzeczywistej lokalizacji i kontekście przestrzennym, należy wymienić:

- cztery sposoby wizualizowania wirtualnego obiektu w rzeczywistym kontekście projektowym:
 1. metoda tradycyjna, obiekt jest wizualizowany jako nakładka na pierwszym planie;
 2. wizualizowanie obiektu wraz z wirtualnymi odpowiednikami obiektów rzeczywistych. Tego rodzaju wizualizacja pozwala na symulowanie przystoięć obiektu projektowanego przez rzeczywiste obiekty towarzyszące. Zwirtualizowane obiekty towarzyszące są przedstawione w formie nieprzejrzystych uproszczonych brył;
 3. wizualizowanie obiektu wraz z wirtualnymi półprzejrzystymi odpowiednikami obiektów rzeczywistych. Metoda ta, pochodna od uprzednio opisanej, stanowi jej modyfikację w warstwie wyświetlania obiektów towarzyszących. Tego typu półprzezroczyste bryły ułatwiają precyzyjną kalibrację modelu osobom o mniej rozwiniętej wyobraźni przestrzennej;

³⁰ Eksperyment badawczy w ramach badań prowadzonych przez J. Konopackiego (Instytut Architektury Krajobrazu, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska). Planowana publikacja przygotowywanej pracy doktorskiej: *Zastosowanie cyfrowych modeli przestrzennych w kształtowaniu i ochronie krajobrazu* (2014).

³¹ MLBE zostanie zlokalizowane na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej przy ulicy Warszawskiej. Zakończenie inwestycji planowane jest na 2014 r.

4. wizualizowanie obiektu w formie, która odpowiada jego rzeczywistemu oddziaływaniu w wypadku realizacji. W metodzie drugiej i trzeciej dokonywano przyśtonień projektowanej bryły przez wirtualne odpowiedniki istniejących obiektów w rzeczywistym otoczeniu. W przypadku wyboru czwartej metody wizualizowania obiekty te nie są widoczne na ekranie urządzenia mobilnego. Działając na zasadzie maski, pozwalają na obserwowanie projektowanej bryły, symulując przesłonięcia przez rzeczywiste obiekty towarzyszące. Ta innowacyjna metoda pozwala na wyjątkowo intuicyjny odbiór inwestycji, symulując w precyzyjny sposób rzeczywiste oddziaływanie obiektu w zastanym kontekście przestrzennym;
- dwie metody lokalizacji użytkownika, mające kluczowy wpływ na zagnieżdżanie wirtualnego obiektu w rzeczywistym kontekście:
 1. klasyczna metoda wykorzystująca sygnał satelitarne, oferująca dostateczne rezultaty pod względem precyzji lokalizacji obiektów;
 2. lokalizacja pozorna – symulowana. Autorska metoda lokalizowania pozornego, która daje możliwość bardzo precyzyjnego osadzenia obiektów wirtualnych w rzeczywistym otoczeniu. Aplikacja symuluje dokładne koordynaty geograficzne uprzednio zapisanej lokalizacji. Znajdując się w zaprogramowanym punkcie, jego rzeczywiste koordynaty są pobierane z uprzednio wprowadzonych danych z pominięciem sygnału satelitarnego. Uzyskana dzięki tej metodzie dokładność kształtuje się w granicach kilkunastu centymetrów, co przy obiektach w skali zabudowy miejskiej jest całkowicie satysfakcjonujące.

Badania nad przydatnością stworzonego systemu wizualizowania obiektów w technologii AR przeprowadzono w dwóch turach, w maju i czerwcu 2013 roku. Objęły one grupę 80 osób, będących przedstawicielami środowiska akademickiego (Wydział Architektury, Wydział Inżynierii Lądowej oraz Wydział Fizyki Politechniki Krakowskiej), studentów kierunków architektonicznych, przedstawicieli pracowni architektonicznych oraz potencjalnych interesariuszy w postaci przechodniów. Interesariusze mieli do dyspozycji trzy urządzenia mobilne. Ich użycie dawało możliwość zaznajomienia się z technologią i obejrzenia wirtualnego odpowiednika niepowstałej jeszcze inwestycji w jej realnej projektowanej lokalizacji. Podczas badań odnotowywano spostrzeżenia użytkowników, sposób interakcji z urządzeniem i wirtualnym modelem. Każdy z uczestników eksperymentu odpowiadał na pytania ankietowe, zadawane przez zespół prowadzący badania.

Ankietowani, odpowiadając na pytania zamknięte, oceniali przydatność technologii AR w przyjętej skali od 1 do 5, gdzie: 1 – ocena negatywna, 3 – ocena neutralna, 5 – ocena bardzo dobra. Na potrzeby artykułu przedstawiono wyniki zebrane na podstawie wybranych pytań, mających swe odniesienie w omawianej specyficznej tematyce rekonstrukcji.

- Czy zastąpienie nowego wirtualnego obiektu przez istniejące budynki jest pomocne w odczytaniu rzeczywistego kontekstu inwestycji?

Użytkownicy aplikacji ocenili tę funkcję jako wysoce przydatną. Średnia uzyskanych ocen wyniosła 4,52, gdzie 60% stanowiła ocena (4), pozostałe 40% ocena (5).

- Czy predefiniowane lokalizacje, z których można oglądać obiekt, są przydatne?

Uczestnicy eksperymentu ocenili możliwość obserwowania obiektu w predefiniowanej lokalizacji w celu uzyskania precyzyjnego posadowienia wirtualnego obiektu w rzeczywistym kontekście jako przydatną. Średnia uzyskanych ocen to 4,24, gdzie 20% stanowiła ocena neutralna (3), pozostałe 45% ocena (4), a 35% respondentów oceniło tę funkcję jako bardzo przydatną (5).

- Jak ocenia Pani/Pan przydatność technologii jako narzędzia wspomagającego procedury konsultacji społecznych w zagadnieniach przestrzennych?

Respondenci ocenili narzędzie jako wysoce przydatne w przypadku zastosowania go w procedurach konsultacji społecznych. Średnia uzyskanych ocen to 4,76, gdzie 10% oceniło ją neutralnie (3), 5% pozytywnie (4), a pozostałe 85% jako wysoce przydatną (5).

- *Jak ocenia Pani/Pan przydatność technologii jako narzędzia edukacyjnego – poznawczego – zasób dziedzictwa kulturowego – wirtualne rekonstrukcje?*

Badani ocenili przydatność technologii w kwestii zastosowania jej jako narzędzia wspomagania procesów poznawczych i edukacji w zakresie dziedzictwa kulturowego jako wysoce przydatne. Średnia uzyskanych ocen to 4,58, gdzie 15% oceniło ją neutralnie (3), 15% pozytywnie (4), a pozostałe 70% jako wysoce przydatną (5).

Przeprowadzony eksperyment dowodzi, iż technologia rozszerzonej rzeczywistości może stanowić efektywne narzędzie warsztatu pracy architekta krajobrazu zarówno w zakresie badań percepcji, analiz krajobrazu, jak i projektowania. Zastosowanie proponowanych rozwiązań trójwymiarowego wizualizowania nieistniejących wirtualnych obiektów w ich rzeczywistym projektowanym kontekście przestrzennym jest oczekiwaną formą przekazu koncepcji projektowych. Zostało docenione zarówno przez grono fachowców, związanych zawodowo z badaniem, projektowaniem, zarządzaniem i planowaniem krajobrazu, jak też przez społeczeństwo, będące potencjalnym interesariuszem przedsięwzięć, mającym wpływ na kształt otaczającej ich przestrzeni.

5. PODSUMOWANIE

Zbadane wdrożenia i przeprowadzone eksperymenty dowodzą wysokiego potencjału omawianej technologii. Jak dowodzi eksperyment MLBE V4, istniejące ograniczenia można wyeliminować, dzięki czemu technologia może stanowić doskonałe źródło informacji przestrzennej, prezentowanej w oczekiwanej przez odbiorców przystępnej formie. Jednocześnie może być efektywnym profesjonalnym narzędziem wspomagającym architekta krajobrazu w zakresie projektowania i analiz krajobrazu. Odpowiednio wykorzystany potencjał technologii może przyczynić się do weryfikowania projektów i podejmowania lepszych decyzji w zakresie kształtowania krajobrazu.

Rosnąca popularność urządzeń mobilnych oraz interaktywna forma poznawania zasobu dziedzictwa kulturowego przy użyciu opisywanej technologii, może znacząco wpłynąć na poziom edukacji społeczeństwa i rozwój sfery duchowej związanej z postrzeganiem zabytków. Oddziaływanie tego typu wizualizacji może przyczynić się do znaczącego podniesienia poziomu edukacji przestrzennej oraz budowy społeczeństwa obywatelskiego, doceniającego w wyższym niż dotychczas stopniu dobra kulturowe w postaci historycznych obiektów i zespołów architektoniczno-krajobrazowych. Jest to wyjątkowo ważne dla obiektów sztuki ogrodowej, które w swym historycznym rozwoju zwykle były przekształcane, ulegały przekształceniom stylowym i sezonowym modom. Pokazanie zwiedzającym w technologii rozszerzonej rzeczywistości czasem nawet kilkunastu faz rozwoju zespołu ogrodowego czy na przykład sezonowych zmian parterów bez wątpienia wpłynęłoby na świadomość społeczną dotyczącą tych zabytków i wzmocniłoby ich rangę.