



DOI: 10.21005/pif.2016.28.B-02

TOWARD THE EXPLORATION OF VIRTUAL REALITY FOR SUSTAINABLE SPATIAL DEVELOPMENT

IMPLEMENTACJA PSYCHOFIZYCZNYCH PODSTAW PERCEPCJI ARCHITEKTURY W WIZUALIZACJI MODELU 3D

Jan Janusz

mgr inż. arch.,

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Katedra Architektury

ABSTRACT

The paper presents the study of 3D model exploration using virtual reality and augmented reality in terms of both supporting the design process and presentation of architectural concept to potential customers. For the description of the potential benefits and difficulties the article include the description of the original implementation and the study of selected perception behaviors with the context of different 3D graphics presentation methods, including visualization, animation and real-time scenes.

Key words: 3D visualization, architectural presentation, augmented reality, virtual reality,

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia studium eksploatacji modelu 3D z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości oraz rzeczywistości rozszerzonej zarówno w ujęciu możliwości wspomagania procesu projektowego, jak również prezentacji koncepcji architektonicznej potencjalnym odbiorcom. W celu opisu potencjalnych korzyści oraz trudności opracowanie odwołuje się do przedstawienia autorskich implementacji oraz studium wybranych zasad percepcji, dokonując porównania odbioru różnych metod prezentacji grafiki 3D, w tym wizualizacji, animacji i scen czasu rzeczywistego.

Słowa kluczowe: prezentacja architektoniczna, rzeczywistość rozszerzona, wizualizacja 3D, wirtualna rzeczywistość,

1. INTRODUCTION

The paper focuses on the critical assessment of the quality of the architectural communication and the esthetic conception encoded via digital 3D model. The forms considered are visualization, walkthrough animation, real time scenes, virtual reality known as VR and augmented reality abbreviated as AR. The term means the methods of instance combining of real-world view, in example from a camera, with computer-generated imagery. It is necessary for the purpose of the elaboration to define in general the last three from the above-mentioned methods. The term real-time scene means the representation of a 3D model that allows for instant observation in the target quality, from any point and at any direction. This solution is available with specialized application, also free and open [16] and even directly via web browser basing on HTML 5 [2]. Those facts proves the dynamic development and significance of such implementations. Since as a general rule the other two methods base on the assumption of the free movement of the camera and on frame rendering of a prepared scene, they bring in some new possibilities. VR indicates projection of a view directly in front of the eyes of the user with the stereoscopic vision to create the illusion of being inside the presented space. On the other hand, AR combines in real-time elements of a digital model with the view from the camera which visually embeds a model in reality. Moreover, it is possible to combine both techniques in one application. The aim of the paper bases in the first place on the diagnosis of the impact of the adopted standards and communication techniques on the quality of the discourse and as a result the space shaped by the design process. Subsequently author attempts to define the guidelines supporting the reliable and effective presentation. The next step may be defined as the analysis of the natural mechanisms of perception based on the literature and case studies connected with different forms of architectural presentation. This part is intended to establish the assessment of potential perspectives and difficulties of the application of certain technologies and solutions. Finally, as a summary the study of the samples of original implementations based on virtual and augmented reality is presented. The methodology underlying each showcase example assumes the most actual perception of the architectural conception. Among the many available software environments, including Unity 3D or Unreal Engine, the application was based on less known engine coded by 3R studio. With embedded Vuforia platform it allows to use both virtual and augmented reality.

2. THE SIGNIFICANCE OF THE ARCHITECTURAL PRESENTATION METHODS DEVELOPMENT

The meaning of the specific *architecture language* as a way of imagining the vision of the designer is so significant that the architectural design, starting from early conceptual stages to executive stage can be summarized as preparing of a record of building information. The real situation of professional practice, its interdisciplinary and involvement of other participants in the decision-making process, even without training and experience in architecture, makes effective communication the primary determinant for the establishment of specific design solutions, especially in terms of architectural form. This phenomenon is particularly important in cases of social participation, so essential from the point of the social and cultural aspects[12]. This means that the specific language adopts a number of functions which most general description can start from the exploitation in an individual architect's workshop as a tool of creative expression and evaluation, through communication with other professionals, and finally the presentation of architectural vision to the wider audience. One of the primary examples of such a relationship is when the architect attempts to convince the recipient to his concept. These actions can be understand from the economic point of view, however this approach can lead to a number of abuses. Since the verbal communication clearly postulate honesty and reliability, in architectural visualization, the integrity and accuracy of simulation of the building appearance is not always a priority. The importance of using visualization as a simulation tool is de-

scribed in the paper of Konopacki [11] with particular emphasis on the recognition of important spatial and cultural contexts. A more detailed description of procedures aimed at deluding the perception in the architectural visualization was presented in 2015 [10]. The most common methods are listed below:

- Changing the proportions of the elements of the building,
- Omitting inconvenient context (in the example provided in the cited work the falsified architectural opening was the main value of the project)
- Illegible or disingenuous presentation of material solutions
- Abstract, exaggerated scenes lighting
- Distraction with the arrangement (cars, planes etc.)
- Unrealistic reflection - unsuited to the environment or material, exaggerated,

3. THE PERCEPTION OF VIRTUAL ARCHITECTURE

An interference in the public space caused by realization of the architectural or urban concept generates the impact that can last even for many generations. From this perspective, the virtual presentation is in the subordinate relation to this notable task just as a tool to optimize the design process. These considerations lead to the conclusion, which is the axis of this paper and designates the direction of the implementations:

The primary and most important purpose of a digital model of the building is its lifelike simulation that provides the most realistic perception of a concept.

The issue of striving for realism in the presentation of the digital model of the building cannot be reduced only to the methods intended to influence the recipient. Its highlight is significant, because it places the intentions of honesty as a starting point for further development, however the exploration of the new directions of three-dimensional graphics and their perception is a much wider task. The reflection on architectural visualization may serve as a prelude to this research. Basing on the assumption adopted in the paper, the image generated with rendering process tends to reflect reality comparable to a photography, so the impossibility of recognition a render and a photography can fulfill the role of the test. This requires the inclusion of the extremely complex nature of optical phenomena. In order to simulate these effects rendering engines require significant CPU or video card power, so even using the best PC is still not possible to generate the real time view calculating the accurate light propagation. However, high quality, almost realistic render can be compare just to a photo. It means that some elements of architectural object perception will not be reflected both due to impossibility of presenting the time-related phenomena on static frame, as well as by the limitations of the psychology of perception, understood as memory and image processing by the human mind. [3]

3.1. PERCEPTION AS A TIME-RELATED PROCESS

The Interpretation of the first part of the problem connected with time-related nature of observation in architectural presentation may be considered at two levels. First of all, a key feature of certain technical lighting and materials solutions is just their volatility and dynamics. The simplest example is the visual impression of glossiness. When it is captured on an image, it seems to be only a discoloration on the surface of the object, however in reality it is a complex process depending among others on observation angle and both the intensity and directions of the light sources. Its complete sensation and consequently evaluation of a visual effect requires dynamic observation. This is particularly evident with substances with a high glossiness, classified as diamond, metal or semi-metal. A more subtle example would be the following illustration of the Jewish Museum in Berlin by Daniel Libeskind (fig.1). Naturally, the picture shows the propagation of light on the material and even to some extent capture the glare, but cannot fully reveal the im-

pression of eyesight adaptation caused by the change of the light intensity changing along with approaching to the intense light source. It is precisely the impression which determines the emotional experience. This case indicates a discrepancy between perceiving the plain image and the architectural space. Moreover, this phenomenon is only one element related to the dynamic perception. Another approach is associated with the process of dwelling in the building. The experience of space can be described as a sequence of closely related events. Such an approach allows for the inclusion of the important issue of the context in architecture in a much wider sense than just a visual relationship that appears in a single photo frame. In fact, this phenomenon is described in the architecture and urban planning studies, among others by the experience level curve elaborated by Kazimierz Wejchert [17]. One of many examples of this interpretation is the paper written by Mordwa [13] describing the study of Piotrkowska Street in Lodz. The application of the mentioned curve is based on the principle of the space continuity, which can be understood as its overall decoding along with the gradual shaping of recipient's feelings in a certain way. This means that the primary reference and the measure of the building assessment is not a single look, but rather a journey through space with gradual experiencing. However, this tool is characterized by a high degree of abstraction therefore it is dedicated more to professionals, who can only interpret it, because it is not a simulation, but only the description instrument. Unfortunately, static visualization cannot refer to this form of perception, since the dynamic methods allows for it. The simplest form, walkthrough animation, allows it only at limited level, because it imposes a certain direction and way of observation.

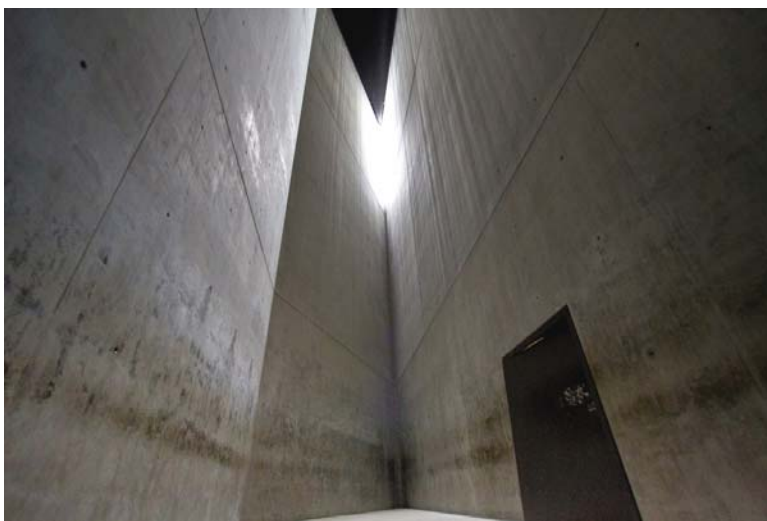


Fig. 1. Interior of the Jewish Museum in Berlin by Daniel Libeskind, source: https://farm4.staticflickr.com/3770/9461168070_cc0d888912_b.jpg

Ryc. 1. Fragment wnętrza Muzeum Żydowskie w Berlinie autorstwa Daniela Libeskinda, źródło: https://farm4.staticflickr.com/3770/9461168070_cc0d888912_b.jpg

3.2. PERCEPTION AS A RELATION WITH A SPACE

Another topic relates to the issue of time in the opinion-forming process. Reed [15] describes the perception as a phenomenon stretched over time. Moreover, experience are not received directly, but gradually form the imagination. It however is very much conditioned by the social environment, including the opinions, expectations, stereotypes, or the current fashion. More reliable assessment is only possible after long reflection and analysis of the stimulus. When this sentence is translated to the architectural language, it means that the image of the building presented as selected shots or even animation of the camera provides a small pool of information. The cognitive process based on such a amount of data cannot be objectively interpreted. Depending on the circumstances, expectations or social pressure generated for example by unfavorable comment, the image can be initially rejected without careful evaluation or otherwise, by typing in some kind of

temporary canon it can be mindlessly accepted. The key to understanding this problem is considering the architecture not only as an image, but above all as a place for certain functions and relationships. This approach is fundamental to a proper understanding and interpretation of the project (fig. 2) [4]. Obviously, the complete simulation of the building exploitation seems to be difficult or even impossible. However, it is worth to search for methods that allows for a better stimulation of one's imagination through more private relationship with its model. Projecting an image directly in front of the observer's eyes in virtual reality creates the chance for that, because it cuts off the mind from the external stimuli and transfers the user to the virtual space of the architectural concept. Moreover, using GPS navigation markers, 3D scanners or other techniques, the application can locate the three-dimensional model in the defined space, which allows for more realistic reception and the actual reflection with a deeper evaluation of both: building relation with spatial context and its actual functioning.



Fig. 2. The image shows the use of the urban space of the historic market. This is the place of retaining, inducing a slow walk or a moment of rest. It is an example of free, reflective reception of architecture. Siena, Tuscany, Rome, Source: Original picture.

Ryc. 2. Zdjęcie pokazuje sposób użytkowania przestrzeni wnętrza urbanistycznego zabytkowego rynku. Jest to przestrzeń zatrzymująca użytkowników, skłaniająca do powolnego spaceru lub chwili odpoczynku. Stanowi to przykład wolnego, refleksyjnego odbioru architektury; Siena, Toskania, Włochy, źródło: zdjęcie autorskie.



Fig. 3. An attempt to capture the monumental architecture on the picture. Pantheon in Rome. Source: original picture.

Ryc. 3. Próba uchwycenia monumentalnej architektury na zdjęciu. Panteon w Rzymie, źródło: zdjęcie autorskie.

3.3. PERCEPTION AS A PERSON IMMERSSED IN SPACE

The subsequent topic outlines from the foregoing considerations is related to the very nature of human perception. In the most general and most superficial terms, it amounts to

an obvious difference between the perception of the building as an image on a flat medium such as a sheet of paper or a monitor, and seeing it in the surrounding space. However, the analysis and interpretation of this difference is not so obvious. The search for patterns of seeing is the subject of rigorous research, among other, based on the analysis of eye movement [6]. In this area, the work of Dupont Antrop and Van Eetvelde [7] demonstrated that along with broader image canvas (panoramic observation better reflects the natural vision) visual fixations are much shorter and more frequent. It also confirms that the information presented in such a way is easier to remember and recognize, and also proves that its influence fuller understanding and assimilation. A similar interpretation is contained in the paper of Guérard, Tremblay and Saint-Aubin [8]. The study shows direct, positive relationship between frequent fixations and cognitive processes, including remembering. Even these studies indicate a significant difference in the perception of traditional media and presentation based on virtual reality using 3D glasses, however analysis of understanding and memorizing processes alone do not elaborate completely this issue. Less strict and more artistic and social point of view, leads to pay more attention to the key problem of human scale in the architecture and urban planning. Monumental buildings of ancient Rome amazes and experiencing them literally takes the breath away. It is safe to say that everyone who saw them understand it, however it is impossible to describe the feeling to a person who has not experienced it. At the same time, an attempt to catch this monumentalism on a photography requires enormous talent and rich workshop [9] and nevertheless, the impact cannot be compared with the real impression of the architecture (fig. 3.). So how it could be interpreted? First of all, the sense of scale is significantly impaired for the building shown on a plain image. This involves the risk of an incorrect assessment of the project and later in the realization often results in the maladjustment to the human scale. The above example shows one, although very important aspect of perceiving of the size of the object comprising the monumentalism. However, it does not end the described issue. This "miniature" representation of the building can also lead to a reduction of the role of detail and basing overall assessment of the building only on a distant, landscape perspective [1]. Generally, the evaluation of architecture is reduced from each scale of receiving to the most superficial which can be summarized as a postcard. This term is so accurate that it intuitively shows the building not as designed for complex function, a specialized to human needs tool and at the same time consciously shaped space with a specific identity, but only as a snapshot subordinate to pleasant, fragmental aesthetic impression.

4. THE LIMITATION AND IMPLEMENTATION CASE STUDIES

Described above, selected aspects of the presentation of a 3D model shows the areas in which the implementation of virtual reality significantly outweighs the visualization and animation. What's more, the application of augmented reality also enhances the effect of the actual context. It causes the obvious question, why the prevalence of these methods is so low, in most cases and the standard architect's workshop does not include them. Obviously, since the technologies has been available for the short time, their propagation in the industry can be expected over the future, however the currently available resources are fully sufficient for effective application in both the presentation and the design process. Due to their potential, it is worth to point out the weaknesses of such solutions and to find a way for the liquidation of the problems. First of all, in many cases, the implementation of VR was very expensive according to the hardware costs[5]. It greatly limited its availability. On the other hand, the real-time scenes associated with augmented and virtual reality requires considerable optimization of the 3D model, because the hardware is processing model on each frame and a considerable quality requires about 24 frames per second. Adequate preparation of such a scene requires both specific skills and expanded effort. This is particularly important when the stereoscopic projection tool (in most cases 3D glasses) are not connected to an external hardware. The presented method allows for radical cost optimization, however it is connected with a further reduction of computing

power. The implementations below are intended to illustrate the possibilities and limitations of the adopted solution. The widespread availability of the means to achieve the effect of virtual and augmented reality is associated with the idea of using a mobile device with Android or iOS and two lenses with a focal length of about 45 mm. The mounting system can be made from google cardboard instructions (fig. 4.) [14] or bought as a professional set (fig. 5.). As a result of much lower computing power of mobile devices as compared to desktop units, it was necessary to optimize a scene by simplification of the geometry and reduction of textures sizes. The implementation was carried out in cooperation with the 3R Studio company with their original 3D engine. The effects simulating the real optical phenomena were presented with a texture baking, in particular reflections, diffuse lighting and indirect lighting. It allowed to encode the information in the form of bitmaps. Appropriately, the lighting has been saved as a light map assigns a specific surface brightness and the reflections was stored as spherical maps connected with object position. The performance of the method was tested on a sample scene depicting a forest (fig. 6.).

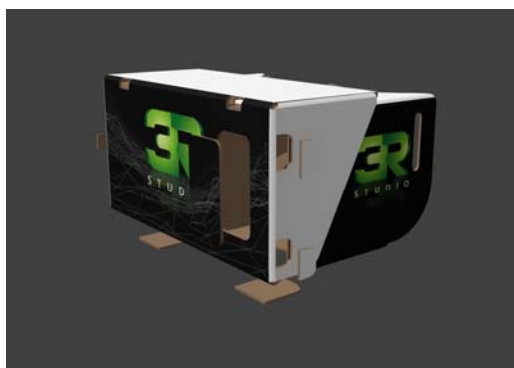


Fig. 4. A 3D Model of google cartbord. Source: Original render

Ryc. 4. Model google cartbord. Źródło: Model autorski



Fig. 5. Profesional VR set. Source: original picture

Ryc. 5. Profesjonalny Zestaw do VR Źródło: zdjęcie autorskie

The choice of the subject based on the consideration of animal and plant as hardest to present in digital space and simultaneously requiring the biggest computing power. On average mobile, (Sony Xperia M4 Aqua E2306 processor Qualcomm Snapdragon 615 8939, 8x1,50 GHz) the scene works completely fluent, but it was necessary to limit the quality that made the effect far from realism (fig. 7.). The second scene shows the project of a villa in a night-light (fig. 8). A small amount of flora combined with simple geometry of modernist building requires very few simplification. It resulted in a much higher resolution of a lightmap per unit area and less time for the model preparation. Further tests were conducted on the original model of Shopping, Arts and Business Center "Stary Browar" by ADS Studio (fig. 9, 10). The aim was to determine the current limit of hardware for 3D apps dedicated to mobile devices. The choice of this object was associated with the huge scale of the project and the characteristic, rich detail placed both inside and outside the building. The effect can be seen in the screen-record from the smartfon [18]. Fluent performance shows that even the most complex architectural objects are possible to present in VR. In every case, the key elements described in the previous chapters have been included, ranging from simulation of eyesight adaptation depending on the lighting, through dynamic specular and reflection, and finally the proper scale through realistic focal length. Spatial orientation with the possibility of rotation and movement was obtained through image recognition by the camera. This mechanism can be seen in the film presenting other examples of implementation in cooperation with the 3R Studio [19].

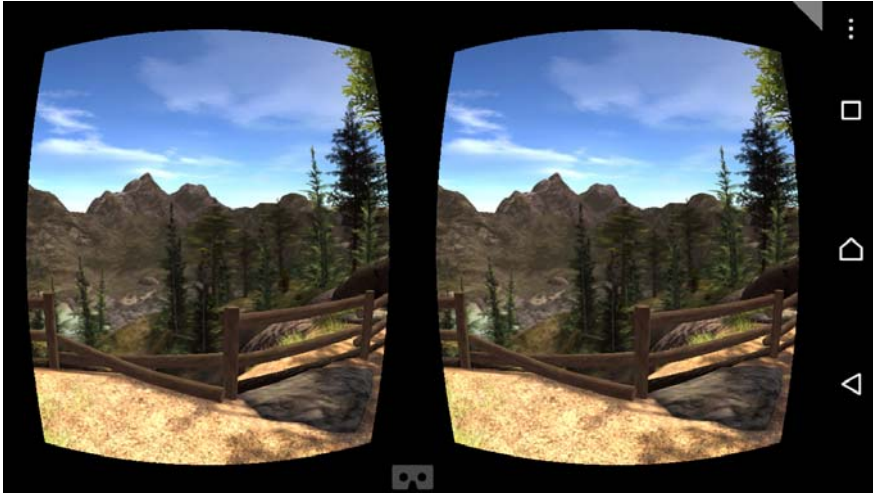


Fig. 6. Sample of implementation: the scene of the forest, screenshot of stereoscopic projection. Source: Original implementation, cooperation with 3R Studio.

Ryc. 6. Przykładowa implementacja: scena lasu, zrzut ekranu stereoskopowej projekcji. Źródło: Autorska implementacja we współpracy z 3R Studio.

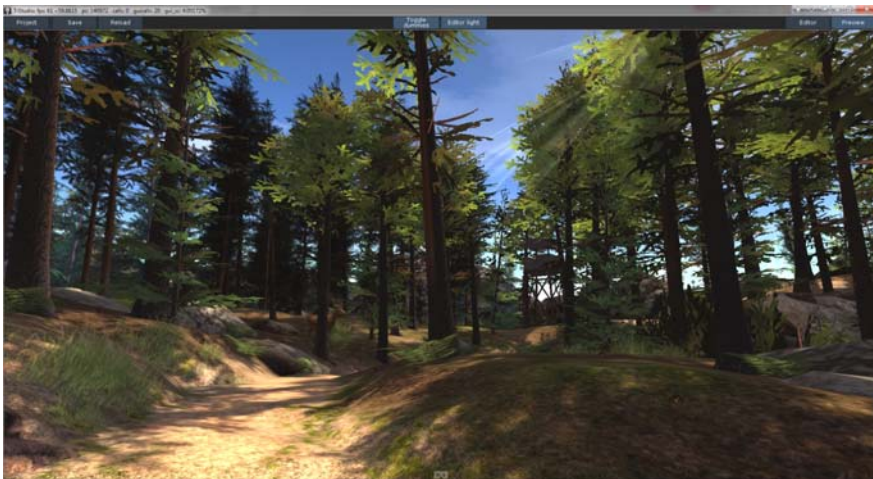


Fig. 7. Sample of implementation: the scene of the forest, screenshot, Source: Original implementation, cooperation with 3R Studio.

Ryc. 7. Przykładowa implementacja: scena lasu, zrzut ekranu bez stereoskopowej projekcji. Źródło: Autorska implementacja we współpracy z 3R Studio.



Fig. 8. Sample of implementation: the night scene of villa, screenshot, Source: Original implementation, cooperation with 3R Studio.

Ryc. 8. Przykładowa implementacja: nocna scena willi, zrzut ekranu bez stereoskopowej projekcji. Źródło: Autorska implementacja we współpracy z 3R Studio.

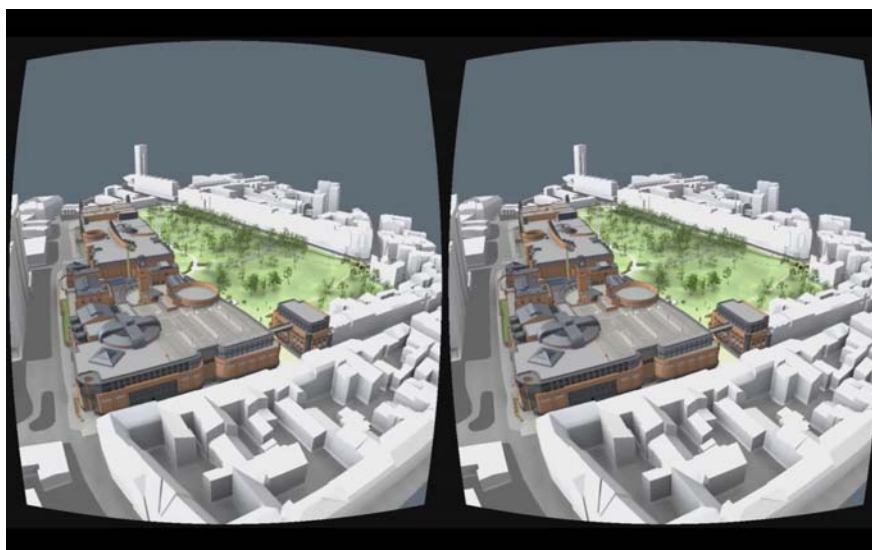


Fig. 9. Sample of the scene of "Stary Browar" mall, screenshot of stereoscopic projection. Source: Original implementation, cooperation with 3R Studio.

Ryc. 9. Przykładowa implementacja: scena centrum handlowego „Stary Browar”, zrzut ekranu stereoskopowej projekcji. Źródło: Autorska implementacja we współpracy z 3R Studio.

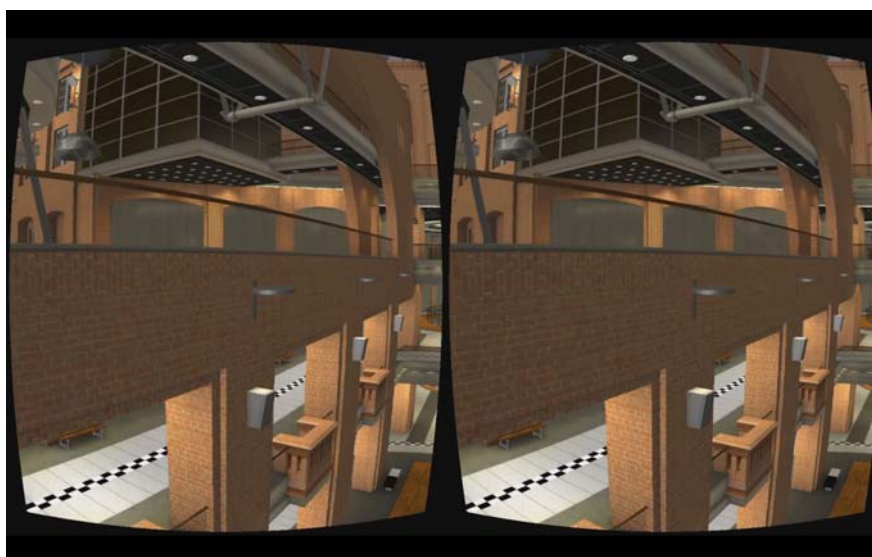


Fig. 10. Sample of implementation: the scene of "Stary Browar" mall, screenshot of stereoscopic projection. Source: Original implementation, cooperation with 3R Studio.

Ryc. 10. Przykładowa implementacja: scena centrum handlowego „Stary Browar”, zrzut ekranu stereoskopowej projekcji. Źródło: Autorska implementacja we współpracy z 3R Studio.

5. SUMMARY

The aim of this paper was to show the benefits of the practical implementation of VR and AR compared to the static visualization both in the form of showcases and the study of the perception of architectural presentation. Although the current graphical capabilities of presented method based on mobile devices are limited, the impression of perceiving the architectural concept using stereovision is enriched with elements absolutely unavailable with a standard picture. Moreover, the exploitation of this technology is a field of research and development, due to the rapid growth of the hardware power and the expected improvement in graphics capabilities. At the same time, the limitation of successful application are the increased work and the need for the acquisition of advanced skills in 3D graphics. However, such efforts can bring measurable benefits from the perspective of financial and social importance of the building investment, especially as a method of social participation, which can be better readable and accessible to potential recipients. In addition, it can arouse more interest and involve more participants. Also the development of mobile devices can significantly reduce the effort required for preparation and optimiza-

tion of a model for 3D engines. It draws quite promising prospects for the described method.

IMPLEMENTACJA PSYCHOFIZYCZNYCH PODSTAW PERCEPCJI ARCHITEKTURY W WIZUALIZACJI MODELU 3D.

1. WPROWADZENIE

Poniższa praca stawia za cel krytyczną ocenę jakości komunikacji architektonicznej i formy jej zapisu. Ogranicza się przy tym do sfery estetycznej przedstawianej za pomocą metod cyfrowych związanych z prezentacją modelu trójwymiarowego. Rozpatrywane w artykule formy to wizualizacja architektoniczna, animacja wirtualnego spaceru po budynku, scena czasu rzeczywistego, wirtualna rzeczywistość w skrócie określana jako VR od angielskiego zwrotu Virtual Reality i rzeczywistość rozszerzona. Ostatnia z wymienionych określana jest ugruntowanym zwrotem Augmented Reality, w skrócie AR. Pojęcie to oznacza metody natychmiastowego łączenia obrazu rzeczywistego, na przykład z kamery, z grafiką generowaną komputerowo. Z przytoczonych powyżej pojęć na potrzeby pracy konieczna jest ogólna definicja ostatnich trzech metod. Otóż pod pojęciem sceny czasu rzeczywistego (real time scene) kryje się forma reprezentacji modelu, która pozwala na obserwowanie go w docelowej, wysokiej jakości z dowolnego punktu i ujęcia. Takie rozwiązanie jest niezwykle powszechne i łatwo dostępne w grafice. Implementowane jest za pomocą wielu metod, począwszy od aplikacji, także darmowych [16] po możliwości bezpośrednio dostępu w przeglądarce dzięki HTML 5 [2]. Wskazuje to na duże znaczenie i dynamiczny rozwój tego typu zastosowań. Co do zasady dwie ostatnie metody niejako bazują na tym założeniu swobodnego przemieszczania się kamery po przygotowanej scenie, lecz wprowadzają do niego nową wartość. VR oznacza implementacje projekcji bezpośrednio przed oczami użytkownika, co przy wykorzystaniu widzenia stereoskopowego stwarza iluzję przebywania w przedstawianej przestrzeni. AR natomiast łączy w czasie rzeczywistym elementy cyfrowego modelu z obrazem z kamery, co niejako wizualnie osadza model w rzeczywistości. Możliwe jest także połączenie obu technik w jednej aplikacji. Określenie celu pracy sprowadza się w pierwszej kolejności do diagnozy wpływu przyjętych standardów i form komunikacji na jakość dyskursu i w efekcie przestrzeń kształtowaną przez proces projektowy oraz w dalszym kroku próby zdefiniowania założeń opisujących działania rzetelne i efektywne. Kolejny krok określony może być jako oparta na literaturze i studium przypadków analiza zasad postrzegania różnych form prezentacji architektonicznej. Wynika z niej ocena potencjalnych kierunków rozwoju i możliwych do osiągnięcia efektów, jakie może przynieść wykorzystanie wybranych rozwiązań i technik. Ostatecznie podsumowanie pracy stanowi studium użycia technologii wirtualnej oraz rozszerzonej rzeczywistości przedstawionych na przykładach autorskich implementacji. Przygotowane są one według metodologii przyjmującej za podstawowe założenie dążenie do możliwie najbardziej rzeczywistego odbioru koncepcji architektonicznej. Wśród licznych dostępnych środowisk programowych w tym chociażby Unity 3D lub Unreal Engine, aplikacja oparta została o mniej znany silnik 3R studio, który dzięki powiązaniu z platformą Vuforia pozwala na użycie oprócz rzeczywistości wirtualnej także rozszerzonej.

2. ZNACZENIE ROZWOJU METOD PREZENTACJI KONCEPCJI ARCHITEKTONICZNEJ

Znaczenie specyficznego *języka architektury* jako sposobu zapisu wizji projektanta jest o tyle istotne, że projekt architektoniczny, począwszy od wczesnych etapów koncepcyjnych aż po fazę realizacyjną ujęty może być jako zapis informacji o budynku. Realia praktyki zawodowej, interdyscyplinarność oraz zaangażowanie w proces decyzyjny większej liczby osób, także bez wykształcenia i doświadczenia w architekturze sprawia, że efektywna komunikacja warunkuje przyjęcie określonych rozwiązań projektowych, szczególnie w kwestii formy architektonicznej. Zjawisko to jest niezwykle istotne w przypadku zagadnienia partycypacji społecznej tak istotnej z punktu widzenia społecznego i kulturowego funkcjonowania architektury [12]. Oznacza to, że ów język przyjmuje szereg funkcji. Ich najogólniejszy opis rozpocząć można od wykorzystania w indywidualnym warsztacie pracy architekta jako narzędzie twórczej ekspresji oraz ewaluacji elementarnych założeń, poprzez komunikację z innymi profesjonalistami, aż po prezentację wizji architektonicznej osobom spoza branży. Jednym z podstawowych przykładów takiej zależności jest sytuacji, gdy architekt chce przekonać odbiorcę do swojej koncepcji. Działanie takie z ekonomicznego punktu widzenia jest zrozumiałe, jednak prowadzić może do szeregu nadużyć, gdyż o ile w komunikacji werbalnej szczerłość i rzetelność opisu jest postulatem czytelnym, o tyle już w wizualizacji architektonicznej uczciwość i dokładność odwzorowywania wyglądu budynku nie zawsze jest priorytetem. Znaczenie wykorzystania wizualizacji jako narzędzia symulacji opisywana jest w pracy Konopackiego [11], ze szczególnym uwzględnieniem ujęcia tak istotnych kontekstów; przestrzennego i kulturowego. Szerszy opis zabiegów zmieniających percepcję obiektów w wizualizacji architektonicznej został przedstawiony w pracy z 2015r. [10]. Wśród najistotniejszych metod wymienić można:

- zmianę proporcji poszczególnych elementów budynku,
- pomijanie niewygodnego kontekstu (w przykładzie zawartym w cytowanej pracy zafałszowane otwarcie widokowe jako główny walor projektu),
- nieczytelne lub nieszczerze przedstawienie rozwiązań materiałowych,
- abstrakcyjne, przerysowane oświetlenie sceny,
- odwracanie uwagi przy pomocy nadmiernej aranżacji (samochodów, samolotów, ludzi),
- nierealistyczne odbicia – niedostosowane do otoczenia lub materiału, przerysowane.

3. PERCEPCJA WIRTUALNEJ ARCHITEKTURY

Ingerencja w przestrzeni spowodowana realizacją koncepcji architektonicznej lub urbanistycznej generuje skutek, o publicznym oddziaływaniu, które trwać może nawet przez wiele pokoleń. Z tej perspektywy wirtualna prezentacja znajduje się w pozycji podległej względem tego doniosłego zadania jako narzędzie służące optymalizacji procesu projektowego. Powyższe rozważania skłaniają do konkluzji, która stanowi oś poniższej pracy i przewodni kierunek implementacji:

Podstawowym i najważniejszym celem cyfrowego modelu budynku jest jego wierna symulacja, która zapewnia możliwie najbardziej realistyczny odbiór koncepcji.

Problematyka dążenia do realizmu w prezentacji cyfrowego modelu budynku nie sprowadza się jednak wyłącznie do metod zamierzonego wpływania na odbiorcę. Ich podkreślenie jest o tyle istotne, gdyż stawia intencje uczciwości jako punkt wyjścia do dalszego rozwoju, jednakże badanie nowych możliwości grafiki trójwymiarowej oraz ich percepcji jest znacznie szerszym zadaniem. Jako preludium do tych poszukiwań posłużyć może refleksja na temat wizualizacji architektonicznej. Z perspektywy przyjętych w artykule założeń, stateczny obraz powstały w wyniku renderowania dąży do jakości odzwierciedlenia rzeczywistości porównywalnej z fotografią, przy czym niemożliwość rozróżnienia renderu od fotografii realizacji architektonicznej przyjąć można za test wypełnienia tego postulatu. Wymaga to odzwierciedlenia niezwykle złożonych ze swojej natury zjawisk

optycznych. W celu symulacji tych efektów silniki renderujące wykorzystują znaczną moc obliczeniową procesora lub karty graficznej, co sprawia, że nawet przy wykorzystaniu najlepszych komputerów osobistych wciąż nie jest to możliwe w czasie rzeczywistym. Jednak nawet render wykonany w wysokiej jakości, w sposób możliwie realistyczny równać się może najwyżej ze zdjęciem. Oznacza to, że część elementów percepcji obiektu architektonicznego nie zostanie odzwierciedlona zarówno z powodu niemożliwości prezentacji zjawisk zachodzących w czasie, jak również ograniczeń wynikających z samej psychologii percepcji, zapamiętywania i przetwarzania obrazu przez ludzki umysł [3].

3.1. POSTRZEGANIE JAKO PROCES W CZASIE.

Interpretacja pierwszej części problemu związanego z osadzonym w czasie charakterem obserwacji obiektów architektonicznych postrzegana może być na dwóch poziomach. Przede wszystkim kluczową cechą niektórych rozwiązań technicznych, oświetleniowych i materiałowych jest właśnie ich zmienność. Najprostszym przykładem jest wrażenie optyczne połysku, które uchwycone na zdjęciu staje się tylko odbarwieniem na powierzchni obiektu. W rzeczywistości jednak jest ono złożonym procesem zależnym między innymi od kąta obserwacji oraz natężenia i kierunku światła. Jego pełne odczucie i związana z nią ocena efektu wizualnego wymaga obserwacji dynamicznej. Szczególnie widoczne jest to w przypadku substancji o wysokim połysku klasyfikowanym jako diamentowy, metaliczny lub półmetaliczny. Bardziej subtelnym przykładem może być poniższa ilustracja przedstawiająca Muzeum Żydowskie w Berlinie autorstwa Daniela Libeskinda (ryc. 1). Oczywiście przedstawione zdjęcie pokazuje zjawisko rozchodzenia się światła po materiale oraz w pewnym stopniu pozwala odczuć efekt olśnienia, lecz nie może w pełni ukazać wrażenia jakie wywiera na odbiorcy zmiana natężenia bodźca wpływającego na adaptację wzroku, którego obserwator doznaje zbliżając się do intensywnego źródła światła. To właśnie ono warunkuje niezwykle doznanie emocjonalne. Przypadek ten wskazuje na dysonans pomiędzy odczytem płaskiego obrazu, a przestrzeni architektonicznej. Co więcej, zjawisko to stanowi tylko jeden element problematyki związanej z dynamicznym postrzeganiem. Kolejne ujęcie związane jest z samym procesem obcowania z budynkiem. Doświadczenie przestrzeni opisać można jako pewną sekwencję zdarzeń, ściśle ze sobą powiązanych. Takie spojrzenie pozwala na ujęcie istotnego zagadnienia kontekstu w architekturze znacznie szerzej niż tylko w aspekcie wizualnej relacji pojawiającej się na jednym ujęciu fotograficznym. Z resztą zjawisko to jest w badaniach z zakresu architektury i urbanistyki opisywane między innymi poprzez krzywą wrażeń autorstwa Kazimierza Wejcherta [17]. Jednym z wielu przykładów takiej interpretacji jest praca Mordwy [13] opisująca studium ulicy Piotrkowskiej w Łodzi. Użycie wspomnianej krzywej oparte jest o zasadę ciągłości przestrzeni, co rozumiane może być jako jej całościowy odczyt kształtujący odczucia odbiorcy w określony sposób. Oznacza to, że podstawowym odnośnikiem i miarą oceny budynku nie jest pojedyncze spojrzenie, a raczej podróż przez przestrzeń i stopniowe jej doznawanie. Jednakże, narzędzie to charakteryzuje się dużym stopniem abstrakcji, przez co skierowane jest bardziej do profesjonalistów, którzy potrafią je zinterpretować, bowiem nie służy ono symulacji, a wyłącznie opisowi. Niestety, statyczna wizualizacja nie może odnieść się do tej formy postrzegania w przeciwieństwie do prezentacji dynamicznych, przy czym jej najprostszą formą, animacja przelotu, pozwala na to tylko w ograniczonym stopniu, gdyż narzuca określony kierunek i sposób obserwacji.

3.2. POSTRZEGANIE JAKO RELACJA Z PRZESTRZENIĄ

Kolejny wątek odnosi się do zagadnienia czasu w procesie kształtowania opinii. Reed [15] opisuje percepcję jako rozłożony w czasie fenomen, w którym doznania nie są odbierane w sposób bezpośredni, lecz stopniowo kształtują wyobrażenie rozumianą jako mentalną projekcję. Ta natomiast w bardzo dużym stopniu warunkowana jest przez środowisko społeczne, w tym opinie, oczekiwania, stereotypy, czy bieżącą modę. Dopiero przy

dłuższej refleksji i analizie bodźca możliwa jest bardziej rzetelna ocena. Jeśli przenieść te słowa na pole architektury, oznacza to, że obraz budynku przedstawiony w formie wybranych ujęć lub nawet animacji kamery dostarcza małą pulę informacji. Proces poznawczy oparty na takiej ilości danych może okazać się bardzo powierzchowny i nieobiektywny. W zależności od uwarunkowań, oczekiwań lub presji społecznej generowanej na przykład poprzez nieprzychylny komentarz, mogą one zostać wstępnie odrzucone, bez wnikliwej oceny. Możliwa jest także odwrotna sytuacja, kiedy wpisując się w pewien kanon mogą być bezrefleksyjnie zaakceptowane. Kluczowy w zrozumieniu tego problemu jest fakt, że architektura nie jest tylko obrazem, lecz przede wszystkim miejscem, które się użytkuje i wchodzi z nim w określone relacje, które są fundamentalne dla właściwego zrozumienia i interpretacji projektu (ryc. 2) [4]. Oczywiście pełna symulacja korzystania z budynku wydaje się być trudna lub nawet niemożliwa. Warto jednak szukać metod, które pozwolą pobudzić wyobraźnię poprzez bardziej prywatną relację z modelem miejsca. Rzutowanie obrazu bezpośrednio przed oczami obserwatora wykorzystywane w wirtualnej rzeczywistości stwarza taką szansę, gdyż niejako odcina umysł od zewnętrznych bodźców i przenosi użytkownika z miejsca, w którym się znajduje, w wirtualną przestrzeń koncepcji architektonicznej. Co więcej implementacja rozszerzonej rzeczywistości wiąże kontekst odbioru z określonym miejscem. Przy wykorzystaniu nawigacji GPS, znaczników, skanerów 3D lub innych technik, aplikacja może umiejscowić trójwymiarowy model w wyznaczonej przestrzeni. Pozwala to na bardziej rzeczywisty odbiór i faktyczną refleksję oraz głębszą ocenę osadzenia budynku w przestrzeni i jego faktycznego funkcjonowania.

3.3. POSTRZEGANIE JAKO CZŁOWIEK W PRZESTRZENI

Jako naturalna konsekwencja powyższych rozważań zarysowuje się kolejny wątek związany z samą naturą percepcji człowieka. W najogólniejszym i najbardziej powierzchownym ujęciu sprowadza się on do oczywistej różnicy pomiędzy postrzeganiem budynku jako obrazu na płaskim nośniku takim jak kartka papieru lub monitor, a widzeniem go w otaczającej przestrzeni. Jednakże analiza i interpretacja tej różnicy nie jest już taka oczywista. Poszukiwanie wzorców widzenia przestrzeni jest tematem ścisłych badań, między innymi w oparciu o analizę ruchu gałek ocznych [6]. W tym obszarze praca Duponta, Antropa i Van Eetvelde [7] wykazała, że wraz z poszerzeniem nośnika obrazu (format panoramiczny bardziej odzwierciedla rzeczywistą obserwację w przyrodzie) fiksacje wzroku stają się znacznie krótsze i częstsze. Stwierdza także, że informacja przedstawiona w taki sposób jest łatwiejsza do zapamiętania oraz rozpoznania, a ponadto dowodzi, że wpływa to na jej pełniejsze zrozumienie i przyswojenie. Podobna interpretacja zawarta jest w pracy, której autorzy to Guérard, Tremblay i Saint-Aubin [8]. W opracowaniu tym wywodzony jest bezpośredni, pozytywny związek pomiędzy częstymi fikscjami wzroku, a procesami kognitywnymi, w tym zapamiętywaniem. Już nawet powyższe studia wskazują na istotną różnicę w postrzeganiu tradycyjnych nośników i prezentacji opartych o wirtualną rzeczywistość przy wykorzystaniu okularów 3D, jednakże sama analiza procesów zapamiętywania i rozumienia nie wyczerpuje w pełni poruszonego wątku. Mniej ścisły, a bardziej artystyczny i społeczny punkt widzenia karze zwrócić uwagę na kluczowy w architekturze problem odczytu skali człowieka. Monumentalne budowle starożytnego Rzymu budzą zachwyt, a oglądanie ich dosłownie zapiera dech w piersiach. Rozumie to chyba każda osoba, która miała okazję z nimi obcować, jednakże nie można w pełni opisać tego wrażenia osobie, która go nie doświadczyła. Równocześnie próba oddania monumentalizmu w fotografii wymaga olbrzymiego talentu i bogatego warsztatu [9], a pomimo tego ta siła oddziaływania nie może równać się z rzeczywistym wrażeniem architektury (ryc. 3.). Jak można zatem interpretować powyższe zjawisko? Przede wszystkim odczucie skali w przypadku obrazu budynku ulega znacznemu zaburzeniu. Wiąże się to z ryzykiem błędnej oceny projektu, co później w realizacji często owocuje zjawiskiem niedostosowania do skali człowieka. Przytoczony przykład ukazuje jeden, choć bardzo istotny, aspekt odczucia wielkości obiektu, który składa się na wrażenie monumentalizmu. Nie kończy to jednak wspomnianej problematyki. Takie „miniaturowe”

postrzeżenie budynku prowadzić może również do umniejszenia roli detalu i formułowania oceny bryły wyłącznie w odległym, krajobrazowym ujęciu [1] lub szerzej, do spłylenia oceny architektury ze wszystkich skali odbioru do najbardziej ogólnej, *pocztówkowej*. Miano to jest o tyle trafne, że intuicyjnie przedstawia relację, w której budynek nie pełni złożonej funkcji jako wyspecjalizowane narzędzie do spełniania ludzkich potrzeb i równocześnie świadomie ukształtowane miejsce z określoną tożsamością, lecz wyłącznie jako migawka podporządkowana, choć przyjemnemu, to tylko wycinkowemu wrażeniu estetycznemu.

4. OGRANICZENIA I PRZYKŁADY IMPLEMENTACJI

Opisane powyżej, wybrane aspekty związane z problematyką prezentacji modelu 3D wskazują na płaszczyzny, w których implementacja wirtualnej rzeczywistości znacząco przeważa nad wizualizacją i animacją, przy czym wprowadzenie dodatkowo rozszerzonej rzeczywistości wzbogaca efekt o rzeczywisty kontekst. Rodzi to w naturalny sposób pytanie, dlaczego są to wciąż metody tak mało popularne. W większości przypadków ich znajomość wykracza poza standardowy warsztat architekta. Oczywiście ze względu na fakt, że są to technologie stosunkowo młode, spodziewać się można z czasem ich szerszej propagacji w branży, jednak aktualnie dostępne środki w pełni wystarczają do skutecznej aplikacji zarówno w prezentacji jak i procesie projektowym. Ze względu na ich potencjał, warto wypunktować słabe strony takich rozwiązań oraz poszukać sposobu, który pozwala na likwidację problemu. W pierwszej kolejności w wielu przykładach zastosowania VR, szczególnie w przeszłości, koszty sprzętu były bardzo wysokie, co znacznie ograniczało jego dostępność [5]. Z drugiej strony wykorzystanie scen czasu rzeczywistego, powiązanych z rozszerzoną i wirtualną rzeczywistością wymaga znacznej optymalizacji modelu, gdyż urządzenie przetwarza model co każdą klatkę. Dla uzyskania dobrej jakości wymagana jest liczba około 24 klatek na sekundę. Odpowiednie przygotowania takiej sceny wymaga określonych umiejętności oraz wiąże się z nakładem pracy. Jest to szczególnie istotne, gdy narzędzie projekcji stereoskopowej, to znaczy w większości przypadków okulary 3D nie są podłączone do zewnętrznej jednostki obliczeniowej. Przedstawiona poniżej metodą pozwala na radykalną optymalizację kosztów, powiązana jest jednak z dalszym zmniejszeniem mocy obliczeniowej. Prezentowane implementacje mają za zadanie ilustrację możliwości i ograniczenia wynikające z przyjętego rozwiązania. Uniwersalna dostępność środków pozwalających na uzyskanie efektu wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości związana jest z ideą wykorzystania urządzenia mobilnego z systemem android lub iOS oraz dwóch soczewek o ogniskowej około 45 mm wraz z systemem mocującym, który można wykonać z kartonu według instrukcji google cartbord (ryc. 4.) [14]. Alternatywnie można kupić profesjonalny zestaw (ryc. 5.). W związku ze znacznie niższą mocą obliczeniową urządzeń mobilnych w porównaniu do jednostek stacjonarnych, w przedstawionych przykładach konieczna była optymalizacja sceny pod względem uproszczenia geometrii i zmniejszenia rozdzielczości tekstur. Implementacja realizowana była w ramach współpracy z firmą 3R Studio, którą udostępniła autorski silnik 3D. Efekty symulujące rzeczywiste zjawiska optyczne, w szczególności odbicia, oświetlenie rozproszone i oświetlenie pośrednie przedstawione zostały przy pomocy wypalania tekstur (texture baking), co pozwoliło na zapisanie tych informacji w formie bitmap. Odpowiednio oświetlenie zapisane zostało jako mapa oświetlenia przypisująca powierzchni określoną jasność, natomiast odbicia w formie map sferycznych przypisanych położeniu. Wydajność metody przetestowana została na przykładowej scenie przedstawiającej las (ryc. 6.). Wybór takiej tematyki wynika z przyjęcia flory i fauny za obiekty najtrudniejsze do odwzorowania i równocześnie wymagające największej mocy obliczeniowej. Na przeciętnym smartfonie Sony Xperia M4 Aqua E2306 z procesorem Qualcomm Snapdragon 615 8939, 8x1,50 GHz scena działała w pełni płynnie, jednakże konieczne było ograniczenie jakości, które sprawiło, że efekt daleki jest od realizmu (ryc. 7.). Druga scena przedstawia projekt willi w nocnym oświetleniu (ryc. 8.). Niewielka ilość roślin w połączeniu z prostą geometrią modernistycznej bryły sprawiły, że taka scena nie wymagała zbyt dużych

uproszczeń, co zaowocowało znacznie wyższą rozdzielczością mapy oświetlenia na jednostkę powierzchni oraz stosunkowo mniejszym czasem przygotowania modelu. Dalsze testy prowadzone pod kątem określenia aktualnej granicy sprzętowej dla aplikacji dedykowanych na urządzenia mobilne prowadzone były na autorskim modelu Centrum Biznesu i Sztuki Stary Browar w Poznaniu autorstwa biura ADS (ryc. 9, 10). Wybór tego obiektu związany był z olbrzymią skalą założenia oraz charakterystycznym, bogatym detalem znajdującym się w środku i na zewnątrz budynku. Efekt można zobaczyć na nagraniu, które jest zrzutem ekranu z telefonu [18]. Pełna płynność działania pozwala stwierdzić, że nawet bardzo skomplikowane obiekty architektury są możliwe do przedstawienia w VR. We wszystkich przypadkach zastosowane zostały kluczowe elementy opisywane w poprzednich rozdziałach począwszy od symulacji adaptacji wzroku w zależności od oświetlenia, poprzez dynamiczne odbicia, a kończąc na zachowaniu skali poprzez rzeczywistą ogniskową. Orientacja przestrzenna związana z możliwością obrotu i przemieszczania się uzyskana została poprzez rozpoznawanie obrazu przez kamerę urządzenia. Mechanizm ten zobaczyć można na filmie prezentującym inne przykłady implementacji w ramach współpracy z 3R Studio [19].

5. PODSUMOWANIE

Celem powyższej pracy było ukazanie korzyści płynących z implementacji metod VR i AR w stosunku do wizualizacji architektonicznej zarówno w formie przykładów, jak i studium percepcji prezentacji architektonicznej. Chociaż aktualnie możliwości graficzne przedstawionej metody implementacji z wykorzystaniem urządzeń mobilnych są ograniczone, to wrażenie odbioru koncepcji architektonicznej przy wykorzystaniu widzenia stereoskopowego jest bogatsze o elementy absolutnie niedostępne w formie zwykłego obrazu. Co więcej, eksploatacja tej technologii stanowi pole do badań i rozwoju, w związku z dynamicznym wzrostem mocy dostępnego sprzętu i oczekiwaną poprawą możliwości graficznych. Równocześnie zwiększony nakład pracy i konieczność nabycia zaawansowanych umiejętności z zakresu grafiki trójwymiarowej stanowią pewną przeszkodę dla sukcesu wdrożeń, jednakże z perspektywy finansowej i społecznej wagi inwestycji budowlanej taki wysiłek może przynieść wymierną korzyść, szczególnie jako metoda partycypacji społecznej, która może być bardziej czytelna i przystępna dla potencjalnego odbiorcy. Dodatkowo może ona wzbudzić większe zainteresowanie i zaangażować więcej osób. Także w zakresie przygotowania i optymalizacji modelu pod mobilne silniki 3D rozwój podzespołów w tych urządzeniach może znacząco zmniejszyć konieczny nakład pracy, co stawia przed metodą dość obiecujące perspektywy.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Barełkowski, R.: 2008, Detal i deprawacja, *Przestrzeń i Forma 10 / 2008*, 148-151.
- [2] Behr, J., Jung, Y., Keil, J., Drevensek, T., Zoellner, M., Eschler, P. and Fellner, D.: 2010, A scalable architecture for the HTML5/X3D integration model X3DOM, *Web3D '10 Proceedings of the 15th International Conference on Web 3D Technology*, New York, ISBN: 978-1-4503-0209-8, 185-194.
- [3] Bickhard M., H. and Richie, D., M.: 1983, On the Nature of Representation A Case Study of James Gibson's Theory of Perception, *Praeger Publishers*, NY, ISBN 0-03-069526, 68-78.
- [4] Borucińska-Bieńkowska, H.: 2008, Człowiek jako twórca i odbiorca środowiska mieszkaniowego, *Teka Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr. – OL PAN, 2008B*, 40-42.
- [5] Cruz-Neira, C., Sandi, D., J. and DeFanti, T., A.: 1993, Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE, *SIGGRAPH '93 Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, ISBN: 0-89791-601-8, 135-142.
- [6] De Lucio, J.V., Mohamadian, M., Ruiz, J.P., Banayas, J. and Bernaldez, F.G.: 1996, *Landscape and Urban Planning 34*, 138-142.

- [7] Dupont, L., Antrop, M. and Van Eetvelde, V.: 2014, Eye tracking analysis in landscape perception research: Influence of photograph properties and landscape characteristics, *Landscape Research*, vol. 39 (4), 419-430.
- [8] Guérard, K., Tremblay, S. and Saint-Aubin, J.: 2009, The processing of spatial information in short-term memory: Insights from eye tracking the path length effect, *Acta Psychologica* 132, 139–143.
- [9] Harris, M.: 2002, Professional Architectural Photography, *Focal Press, issue 3, Oxford*, ISBN 0-240-51672-9, 44-60.
- [10] Janusz, J.: Obraz i iluzja – kryteria rzetelności w grafice architektoniczne, *Architectural Volumes* 3/4, wydawnictwo exemplum, Poznań, s. 67-89.
- [11] Konopacki, J.: 2008, Wizualizacja jako narzędzie komunikacji i zarządzania krajobrazem, *Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG*, Sosnowiec, 608-612
- [12] Marchewka-Bartkowiak, K.:2014, Nowe zarządzanie publiczne, Infos, nr 18(178), Biuro Analiz Sejmowych, 1-4
- [13] Mordwa, S.: 2009, Krzywa wrażeń dla ulicy piotrkowskiej w Łodzi, *Acta Universitatis Lodzian-sis Folia Geographica Socio-Economica* 10, 91-95
- [14] Powell, W., Powell, V., Brown, P., Cook, M. and Uddin, J.: The influence of navigation interaction technique on perception and behaviour in mobile virtual reality, *11th International Conference on Disability, Virtual Reality and Assistive Technologies*, The University of Reading, ISBN 978-0-7049-1546-6, 7-9.
- [15] Reed, E.: 1988, James Gibson and the psychology of Perception, Yale University Press, ISBN 03-000-4289-2, 6-9.
- [16] Wang, S., Mao, Z., Zeng, C., Gong, H., Li, S. and Chen, B.:2010, A new method of virtual reality based on Unity3D, *18th International Conference on Geoinformatics*, Beijing, ISBN: 978-1-4244-7303-8,1-5.
- [17] Wejchert, K.: 2008, Elementy kompozycji urbanistycznej, Arkady, Warszawa, ISBN 83-213-3151-3, 168-173;
- [18] Nagranie autorskie, <https://www.youtube.com/watch?v=L0g5UqYzwSl>, dostęp: 10.07.2016.
- [19] Nagranie autorskie, <https://www.youtube.com/watch?v=g9rWOf6lYXQ>, dostęp: 10.07.2016.

O AUTORZE

Architekt, programista, nauczyciel akademicki. Czynny zawodowo w projektowaniu architektonicznym i zastosowaniach IT oraz tworzeniu aplikacji edukacyjnych i badawczych na rzecz wdrożeń w architekturze i planowaniu przestrzennym. Specjalizuje się w komputerowym wspomaganie projektowania i tworzeniu aplikacji analitycznych z zakresu architektury i urbanistyki. Główny autor silnika informatycznego kilku programów badawczych rozwijanych w UTP.

ABOUT THE AUTHOR

Architect, programmer, academic tutor. Professionally active in the field of architectural design and IT implementations, as well as the development of applications for the fields of education and academic research that can be implemented in architectural design and urban planning. He specialises in computer aided design and the development of analytical applications for the fields of architecture and urban design. He is the principal author of a software engine which forms the core of a number of research applications developed at the UTP.

Kontakt | Contact: jan.janusz@utp.edu.pl