

URBAN DESIGN AND SPATIAL PLANNING

**URBANISTYKA
I PLANOWANIE
PRZESTRZENNE**

KLARA CZYŃSKA

Dr hab. inż. arch., prof. ZUT

West Pomeranian University of Technology in Szczecin
Faculty of Architecture
e-mail: kczynska@zut.edu.pl
ORCID: orcid.org/0000-0003-3855-6736

PAWEŁ RUBINOWICZ

Dr hab. inż. arch., prof. ZUT

West Pomeranian University of Technology in Szczecin
Faculty of Architecture
e-mail: pawel@rubinowicz.com.pl
ORCID: orcid.org/0000-0003-0377-272X

WALDEMAR MARZĘCKI

Prof. dr hab. inż. arch.

West Pomeranian University of Technology in Szczecin
Faculty of Architecture
e-mail: marzecki@post.pl
ORCID: orcid.org/0000-0002-1192-9064

PROTECTION AND DEVELOPMENT OF THE CITYSCAPE AND HIGH-RISE BUILDINGS BASED ON THE *2020–2021 COMPOSITION STUDY OF SZCZECIN*

OCHRONA I KSZTAŁTOWANIE KRAJOBRAZU MIASTA A ZABUDOWA WYSOKA NA PRZYKŁADZIE *STUDIUM KOMPOZYCYJNEGO SZCZECINA 2020–2021*

ABSTRACT

This paper discusses the protection and development of the cityscape with the use of digital techniques to determine the location of tall buildings. It presents the methodology applied while developing the *2020–2021 Composition Study of Szczecin*. The study was commissioned by the City, and its results were included in the Study of Conditions and Directions for Spatial Development of Szczecin adopted in 2022. The aim was to define a framework for the development of high-rise buildings, while at the same time protect historical vistas preserved in the public consciousness. The paper discusses various methods of digital cityscape analysis based on the use of 3D city models, e.g., Visual Protection Surface (VPS) and Visual Impact Size (VIS), which allow to indicate the maximum height of new buildings that would enable to protect strategic views and to analyse the impact of new buildings on the city space. The process resulted in the formulation of precise guidelines and the drafting of a long-term and sustainable spatial policy for the cityscape of Szczecin. The research has a universal formula and may also be applied to other cities.

Keywords: high-rise buildings, Szczecin's cityscape protection, VPS method, VIS method, 3D city models, cultural heritage

STRESZCZENIE

Artykuł dotyczy ochrony i kształtowania krajobrazu miejskiego z wykorzystaniem technik cyfrowych w celu lokalizacji zabudowy wysokiej i wysokościowej. Prezentuje metodologię zastosowaną w *Studium kompozycyjnym Szczecina 2020–2021*. Opracowanie przygotowano na zlecenie Urzędu Miasta, a uzyskane wyniki uwzględniono w uchwalonym w 2022 roku Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Szczecin. Celem było określenie ram rozwoju zabudowy wysokościowej, przy jednoczesnej ochronie historycznie uformowanych i utrwalonych w społecznej świadomości widoków miasta. W artykule omówiono różne metody cyfrowej analizy krajobrazu oparte na wykorzystaniu modeli 3D miast, m.in.: Visual Protection Surface (VPS) oraz Visual Impact Size (VIS), które pozwalają na wskazanie maksymalnych wysokości nowej zabudowy z założeniem ochrony widoków strategicznych oraz analizę oddziaływania nowych

inwestycji. W rezultacie otrzymano precyzyjne wytyczne. Wyniki pozwoliły na sformułowanie długofalowej i zrównoważonej polityki przestrzennej w zakresie kształtowania krajobrazu Szczecina. Badania mają uniwersalną formułę i mogą być zastosowane również w innych miastach.

Słowa kluczowe: zabudowa wysokościowa, ochrona krajobrazu Szczecina, metoda VPS, metoda VIS, modele 3D miasta, dziedzictwo kulturowe

1. INTRODUCTION

Research goal

This paper focuses on the protection and development of the cityscape with the use of digital techniques. The balance between preservation and development defines one of the key directions of spatial policy, which is a part of sustainable urban development. Cityscape protection is based on the preservation of panoramas and vistas that are historically developed and fixed in social consciousness. Moreover, they are part of the cultural heritage. The development, on the other hand, responds to contemporary conditions, which may involve the introduction of new forms, including high-rise buildings. The use of digital techniques can help to improve planning. 3D models of cities are increasingly accurate and up-to-date. There is also a steady progress in their use for urban analysis.

The aim of this research is to present the application of 3D models and appropriate methods of digital analysis to promote urban development while protecting the cityscape. Based on the example of Szczecin, the study assesses the possibility of using results of the process in planning.

Methods

This paper discusses various methods of digital cityscape analysis based on the use of 3D city models, in particular Visual Protection Surface (VPS) and Visual Impact Size (VIS). On the one hand, the VPS enables to indicate maximum heights of new buildings while providing full protection of strategic views which should be preserved in an unchanged form. The VIS, on the other hand, allows to provide a precise and unambiguous assessment of the scope of impact by precisely identifying new development exposure areas from which a planned building can be seen (depending on its height). The VPS and VIS methods are presented in sections 3 and 4.

Scope of research

The authors used the VPS and VIS methods, as well as an IT workshop that enabled their application with use of available 3D city models, to develop the 2020–2021 Composition Study of Szczecin (Czyńska, Marzęcki and Rubinowicz, 2021). The

study was commissioned by the City of Szczecin. It is a continuation of a previous study by the same author as commissioned by the City of Szczecin (Czyńska, Marzęcki and Rubinowicz, 2005). Conclusions have been included in Study of Conditions and Directions for Spatial Development of Szczecin which was adopted in 2022. The policy document defines framework of spatial development of the city for many years.

Literature review

The VPS and VIS methods were also presented in this journal in 2017 together with a description of results from the 2TaLL research project (Czyńska, Rubinowicz and Zwoliński, 2017). The assumptions of the VPS were formulated in 2015 and first presented on the basis of research implemented for Dresden, Germany (Rubinowicz and Czyńska, 2015; Czyńska, Rubinowicz, 2015). At that time, the possibilities of developing tall buildings in the city were analysed in such a way as to keep the panorama from the side of the Elbe unchanged. Although the VIS method had been developed several years earlier, it was presented in its latest form in 2015 (Czyńska, 2015).

Some topics related to issues discussed in this paper can be found in a number of studies undertaken around the world in recent years. The most prominent those include high-rise development (Al-Kodmany, 2017; Ali and Al-Kodmany, 2012; Gonçalves, 2010; Czyńska, 2021). Studies related to the design of clusters comprising high-rise buildings were developed to optimise their visibility in the cityscape (Puspitasari and Kwon, 2020; Attoe 1981), as well as in relation to historical buildings (Al-Kodmany, 2012).

In the context of the topic addressed, protecting strategic views is a key issue. The identification of such views is the subject of studies developed for Lublin, Poland (Czyńska and Rubinowicz, 2019) and Ardales, Spain (Pardo García and Mérida Rodríguez, 2015), or studies of the wider natural landscape (Ozimek, 2019). In the literature, we can also find analyses of historical monument visibility designed to establish conservation zones, e.g., Bratislava, Slovakia (O’ahel’ et al., 2018), Fortaleza, Brazil (Lopes et al., 2019), and Christchurch, New Zealand (Bartie et al., 2010). For this purpose,

tools similar to the VIS method, presented further in the article (Czyńska, 2020), were developed to generate so-called viewshed visibility maps (Cervilla et al., 2017).

Setting limits on building heights within a city to protect key vistas from the negative impact of new development is a less popular topic as it requires more sophisticated geometric operations. For instance, different development scenarios were analysed for the city of Shiraz, Iran, in terms of the impact of new buildings on the iconic sequence of views (Mohseni, 2020). A significant drawback of the studies presented is often their fragmented nature and low accuracy as a consequence of the 3D city models used (Akdag et al., 2010; Guney et al., 2012). Based on other studies examining the visual impact in the city, the VPS method takes a more holistic approach and offers a broad overview of how the height of buildings can be determined in the city (Rubinowicz, 2019; Rubinowicz, 2020).

2. ASSUMPTIONS OF THE SZCZECIN COMPOSITION STUDY

Protection and development of the cityscape

The *Composition study of Szczecin — protection and development of the cityscape with the assessment of developing tall buildings* was developed in 2020–2021 by Czyńska, Marzęcki and Rubinowicz (2021). The study was commissioned by the City of Szczecin. It provided a basis to formulate guidelines included in the new Study of Conditions and Directions for Spatial Development.

The main assumption of the study was to define rules for further development that would respect existing values of Szczecin's cultural landscape. The assumptions of the *Study* were therefore based on two balanced pillars. On the one hand, it defined clear principles for the protection of spatial values of the city and, on the other hand, the study determined directions of building development, while indicating locations for tall buildings.

The historical complex of the Wały Chrobrego (Chrobry Embankment) and other panoramic views of the city over the Oder River, including views towards Podzamcze, St. Jacob's Cathedral, and the New Town Hall, were singled out as the city's protected assets. Another important element was the protection of cityscape interiors within the Central Cemetery and Jasne Błonia Square.

Moreover, one of the most important assumptions for the development of the contemporary image of Szczecin was adopted to concentrate tall buildings in one central area of the city (unit A). It was also

assumed that it would be possible to merge the development of tall buildings with the composition of the city centre, i.e., at the terminal points of streets and as sub-landmarks on street corners. The aim was also to indicate buildings that do not fit into the urban composition and whose height needs to be reduced.

Organisation and methodology of the study

The composition study consisted of two parts described in separate volumes. The introductory part (Volume A) included characteristics of the city's spatial structure and its morphological conditions (ill. 1), as well as the identification of key components of the cityscape and places, their sequences, and exposition planes of the most important panoramas and internal views of the city (strategic views). The study distinguished long-distance views from the entrance routes to the city, where potential high-rise developments are fully exposed, and close views, which are the most recognisable and constitute the key value of the cityscape. In the remainder of the study, simulations were carried out using the VPS and VIS methods, which form the analytical core of the study. The purpose of these was to determine a maximum height of new development across the study area and to examine the cityscape impact for twelve potential development sites. The second part of the study (Volume B) presents additional simulations of selected panoramic and internal views and includes guidelines for the height of new buildings in the city.

3D city model

In order to implement analyses included in this study, a digital image of the city in the form of a 3D model was necessary. A number of parameters determine the suitability of a model for digital cityscape studies: accuracy (e.g., correct representation of height), completeness (range of spatial elements), timeliness and data structure and organisation. Potential resources include two formats that are the most practical: CityGML models and models built on a point cloud derived from airborne ALS, LiDAR surveys.

The first of the model types (CityGML) is a standard for recording the geometry of a city and relationships and hierarchy between model elements (Kolbe, 2009; Gröger and Plümer, 2012; Rubinowicz, 2017). It allows objects (e.g., buildings, tunnels, bridges) to be mapped and presented at different accuracy levels (LoD — Level of Detail). In Poland, this spatial data format has become increasingly popular and available (GUGiK, 2022). However, the model stock is still incomplete. It is possible to download models at the LoD2 accuracy scale, i.e.,

one that maps the shape of a building's outline, its height, and roof geometry, for Eastern Poland only. In the case of Szczecin, only a model in LoD1 accuracy is available. This, however, is not sufficient to examine the relationship between buildings in the cityscape (Dąbrowska-Budziło, 2002, p. 250). The CityGML models also lack adequate representation of tall greenery, which significantly affects the study of visibility.

The second type of models is based on LiDAR point clouds created via ALS surveys (Airborne Laser Scanning), or DTM and DSM¹ digital terrain and land cover models. They map an entire city's surface with equal accuracy. They include buildings, high vegetation, technical infrastructure, bridges, viaducts, and land development. The disadvantage is, however, the lack of data semantics and thus a low possibility to extract individual elements (e.g., separation of a tree from a building). DSM models are available at a very good resolution (point cloud on 50 cm mesh) for larger cities throughout Poland. It enables to recognize basic architectural relationships and advanced urban planning analyses (Tabik, Zapata and Romero, 2013; Karimipour, Mojtahedi and Dehkordi, 2015).

For the study of Szczecin, a DSM model of 150 km² was used. It was adjusted to eliminate technical errors and to complete the city development (demolitions, new buildings, etc.). Updates were made on the basis of architectural designs, planning materials, supplementary measurements, and aerial photographs. All visualizations and analyses were developed using software developed at the West Pomeranian University of Technology in Szczecin (Rubinowicz, 2017). The software allows editing, processing, and the application of the city model in the form of a point cloud in a cityscape study (ill. 1), including VPS and VIS analyses.

3. THE VISUAL PROTECTION SURFACE (VPS) METHOD

Assumptions of the VPS method

The purpose of the VPS method is to analyse the city's visual absorption capacity for new high-rise buildings, while providing full protection of a specific group of strategic views (Rubinowicz and Czyńska, 2015). The VPS can be used to answer important city planning questions: **where** and **how high** can we build so that new development does not disturb protected strategic views? The complexity of spatial

interactions between protected vistas and building height is practically impossible to predict intuitively. It requires the use of appropriate digital techniques.

Input data for VPS need to include information about protected strategic views, and coordinates of locations that represent viewpoints, sequences, and planes, often defined by tens or hundreds of points (Rubinowicz, 2019). The analysis is based on a 3D model. The output includes an irregular surface spread over the city model that determines the maximum building height, further referred to as the VPS surface. Any object that falls below is not visible in any of the strategic views included in the analysis. The VPS outcome is geometrically unambiguous, while its accuracy depends on a number of parameters that also affect the calculation time (Rubinowicz, 2020). The most legible and easy to interpret form of VPS results are maps in which height limits for new buildings are colour coded (ill. 2).

Application of the VPS in the study

Views of exceptional value, which include the most recognizable elements of Szczecin's cultural landscape and the most valuable spatial requirements were classified and covered by the VPS analysis. These include panoramas of Podzamcze and Wały Chrobrego seen from Łasztownia Island and the Castle Route, and views from interiors of the Central Cemetery and Jasne Błonia Square. All expositions consist of series of views or planes. Mapping has been based on a total of 517 control points, or coordinates of strategic views (Czyńska, Marzęcki and Rubinowicz, 2021, pp. 81–88). The resolution of the VPS grid was 6 m and the accuracy of the height calculation was 15 cm. Various simulations were provided to show the impact of conservation assumptions for different groups of vistas (partial results). The inclusion of subsequent views increases height restrictions on new buildings in the study area. Results are presented in figures (ill. 2, 3).

Interpretation of VPS maps

The final VPS surface is characterised by a high degree of complexity resulting from the overlap of building height restrictions calculated collectively for all view planes and strategic views (ill. 3). Values marked on the map do not provide a direct guideline for determining the height of buildings. They only define the upper limit, which does not interfere with protected views.

Areas of the lowest built-up development, determined by VPS analyses, provide a view foreground. They concentrate along the Odra valley and inside the examined landscape interiors examined. The

¹ DTM – Digital Terrain Model; DSM – Digital Surface Model.

buildings on the Oder embankment constitute the main content of protected panoramas and at the same time significantly influence the shape of the VPS area, an area which defines principles for the protection of the important background spatial development.

Results of VPS analyses are the basis to formulate guidelines for a planned high-rise development zone in Unit A in the city centre that covers two already completed high-rise buildings. Detailed analyses are described in the next subchapter. The VPS results for potential locations of tall buildings were also very important for the study and were analysed in detail. The VPS allowed to determine maximum heights of new buildings while protecting the cityscape. This provided a framework for defining detailed guidelines that take into account local urban conditions (analysed, i.a., using the VIS method).

The high-rise development zone

One of key assumptions of the study aimed at concentrating high-rise buildings in a single area of the city. The aim was to counteract the negative tendency to locate skyscrapers in Szczecin in dispersed locations, as currently planned by developers. Thus, the area of Unit A was singled out, which is intended for further development of this form of buildings. In this area two high-rise buildings already exist, i.e., the Pazim office building built in the 1990s, and Hanza Tower which was completed in 2021.

The area of the Unit A with its zoning is shown in the diagram below (ill. 4A). It includes control points with their heights resulting from limits calculated in the VPS analysis. The division into seven zones (I–VII) is colour coded. This highlights individual areas of potential development that are studied further in different panoramic views. The areas are presented with colour-coded lines. In the strategic views, all zones of Unit A remain below the current skyline (ill. 4C, D). This verifies the correctness of the VPS calculations. However, in other panoramic views that are not included in the VPS, these zones may be visible, for instance distant views from inbound routes (ill. 5).

These simulations enable to show the extent, scale, and height of new clusters high-rising buildings in a wider cityscape. Additionally, it allowed us to test the possibility of having the height of buildings reduced locally in relation to the VPS, or the possibility for new dominants to pierce the surface of the VPS in specific locations. The analyses focused on three exemplary locations of tall buildings, marked X1, X2, and X3 (ill. 4A) and height simulations within the range of 10–150 m (ill. 4C, D). This was the basis for final conclusions and guidelines

pertaining to the zone of tall buildings (Unit A). They include, among other things, a suggestion of additional, local lowering of buildings in relation to the VPS due to unfavourable ‘stretching’ of the said zone in specific panoramas (ill. 5). It was recommended to aim for maximum spatial and visual concentration of tall buildings.

4. VISUAL IMPACT SIZE (VIS) METHOD

Assumptions of the VIS method

The purpose of the VIS is to provide objective presentation of the extent and strength of visual impact made by a planned building². All locations in a city are examined, from which the analysed building can be seen depending on its height (Czyńska, 2015). The algorithm is based on a geometric analysis of a digital 3D city model. Such a computer simulation produces a map on which visibility is determined with an accuracy of about 10 cm. The VIS method enables to determine the visibility from the entire city space, or more precisely from all undeveloped areas (understood as areas between buildings, including among others: streets, squares, green areas inside blocks, etc.). The simulation may also include a visibility study involving all geometrically defined elements of the 3D model (e.g., roofs or from the river). The result is geometrically unambiguous, and possible errors may result from the specific nature of a 3D city model and its validity. Importantly, visibility from the observer’s eye level (1.7 m above the terrain) is investigated in all simulations.

The result of the VIS can be shown in various ways, e.g., as a 2D map, 3D surface, or finally tabular statements including analyses of visibility in public spaces in the city (Czyńska, 2020). Planning practice shows that 2D colour maps are the easiest to interpret (ill. 6). Each colour defines the visibility of the surveyed building from a specific height threshold. Usually, to make the result more legible, a limited

² In the VIS analysis, all locations in the city are examined from which the analysed building can be seen depending on its height (the geometric visibility of a pair of points is analysed). A building is usually represented with a single control point that determines the center of its location. The form (shape) of the building is not important. However, in the case of very wide buildings or a number of them, the analysis uses a larger number of control points to more accurately reflect the examined cubature. This has been described in publications on the example of the Hanza Tower (Czyńska, 2018) and building quarters in the area of the Young City of Gdańsk (Czyńska, 2019). Building parameters such as: color, facade texture, etc. are not taken into account in the VIS analysis.

colour palette is adopted to reflect, for example, eight height ceilings of a planned tall building. The gradation of colours, from strong red to dark blue fading in the background of the map, allows us to intuitively interpret the intensity of the impact the building has on the urban space analysed.

On the VIS map, sites that are potentially most relevant for further analysis can be easily distinguished (ill. 7). Colour reflects the impact of a tall building on the cityscape. In areas marked red, the building is visible almost completely. In areas marked blue, only a small part of the top can be seen. In planning practice (based on experience), the VIS maps are the first source of information for in-situ studies based on the documentation of key views selected for further analyses.

How the VIS was applied in the study

VIS analyses were performed for twelve detailed areas and three potential locations of tall buildings (Unit A: X1–X3). Within each detailed area, the location and number of control points for which the VIS analysis was performed was determined. They were selected while taking into account the geometry of the plot, the number of potential high-rise landmarks and urban composition (e.g., taking into account view termination points of surrounding streets).

In this study, a set of nine visibility thresholds was adopted (ill. 6). Maps can be interpreted as follows: red areas are within 0–40 m, i.e., the building (more precisely its control point) can be seen from the level of 1.2 m, 3.2 m or from 19.9 m up to the top of the building; dark orange areas mean that control points can be seen from 40 m up; light orange area designates a visibility above 50 m — and so on according to the explanatory note included (ill. 7).

Interpretation of VIS and simulation views

The areas of exposure were identified based on the VIS analysis and are usually subject to further examination during field studies. This enables the identification important viewpoints where a new buildings may threaten the integrity of important spatial objectives (e.g., old town areas or symmetrical layouts). This is also verified in a broader landscape context in VPS studies. The VIS analysis may also indicate areas of the most attractive exposure, which add new spatial values in the local urban context.

Undoubtedly, the unambiguous identification of viewpoints provides an opportunity for further detailed assessment of the impact of a planned facility on the cityscape. It also helps to develop simulations of specific views using height lines.

A number of simulations of distant and near panoramic views and narrow street perspectives were prepared in the study. Height rulers are placed at the control points used in the VIS analyses. Then they are visualized in a 3D model and accurately merged with photographs. The scale on each ruler allows the planned facility to be visualized with the accuracy of 5 m in height within the range of 10 to 150 m above sea level (ill. 8, 9).

The simulations developed constituted an important and sometimes decisive contribution in determining the final development guidelines. The authoritative presentation of a building in a given view allows us to select the appropriate height of new buildings so as not to obscure important components a the city's historical structure or weaken their role in space. For example, according to the study's findings, the height of buildings at Tobrucki Square should not exceed 20 m above sea level. Each additional metre reduces the visibility of the New Town Hall in the cityscape, which significantly weakens the value of the waterfront panoramas seen, for instance, from the boulevards on Kępa Parnicka Island (ill. 8, 9).

5. CONCLUSIONS

Significance of the study

Recent years have seen an intensive development of high-rise buildings in Europe and elsewhere in the world. However, this trend poses a threat to the cultural heritage of the cityscape. Therefore, maintaining a balance between landscape protection and its development should be a priority for spatial policy. The analytical tools described in this article, based on the use of digital 3D city models, aim to promote sustainable cityscape development. It allows to define a framework for further development of tall buildings in a city, while fully protecting important spatial layouts.

Objective analysis with the use of digital techniques

The desire to produce objective results is an important aspect of the research based on the use of digital techniques and 3D city models. They can be compared to imaging studies in medicine, which are indisputable. In the same vein, cityscape analysis methods should diagnose potential threats to the spatial development of cities. Accurate and up-to-date city models support the creation of innovative analytical techniques. The VPS and VIS methods described in this paper are part of this trend. They use available digital data and generate fully objective spatial analysis outcome.

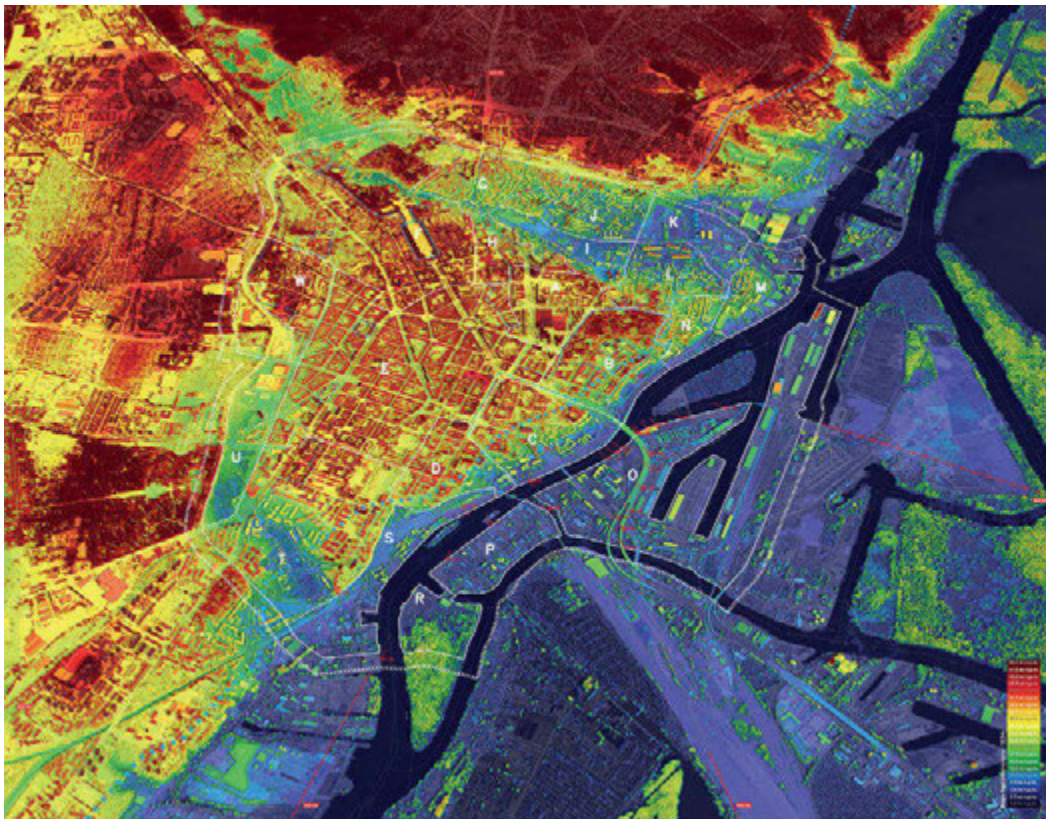
Application of the results in planning

The discussed methods of cityscape analysis have been applied in the *2020–2021 Composition Study of Szczecin*. The purpose of the study, commissioned by the City of Szczecin, was to indicate directions for spatial development while taking into account high-rise buildings and facilities and the preservation of existing values of the city's cultural landscape. Apart from the general analysis of cityscape morphology, the methodology of the study consists of the following:

- a) VPS analyses that define height limits for buildings in the city;
- b) simulations of panoramic views with a zone of tall buildings concentrated in the central part of the city;
- c) VIS analyses that verify cityscape impact of building facilities in several locations;

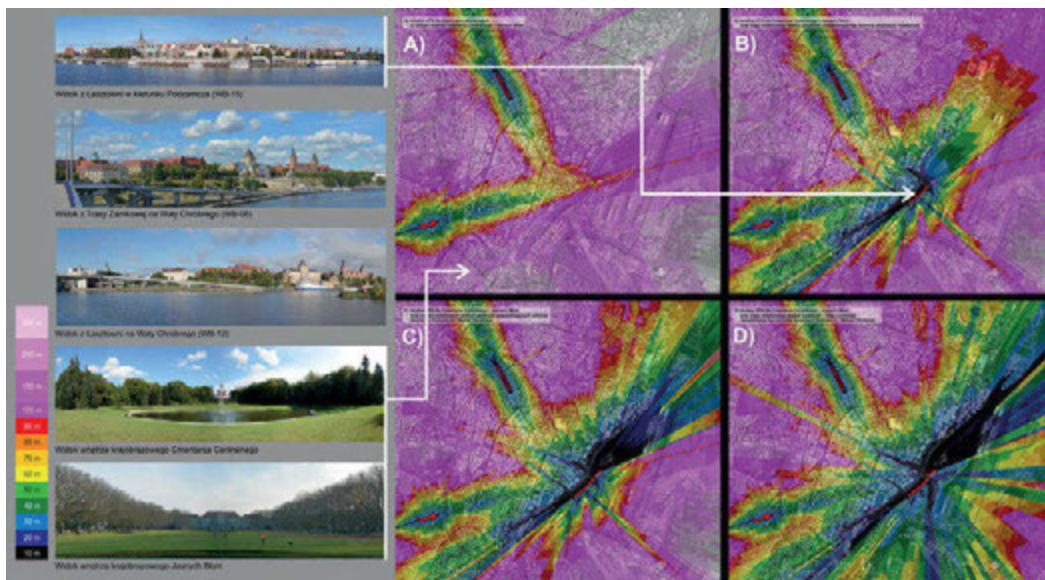
- d) simulations of selected exposures with the use of height lines.

This study has redefined the direction of the long-term city development policy, included in the new Study of Conditions and Directions for Spatial Development of Szczecin (2022). The results of VPS analyses proved to be crucial. While working on the 2020–2021 Composition Study, it was an important goal was to define the scope of protection of vistas and panoramas. The scope was approved with the City and enabled to implement the VPS method. This helped to create maps of maximum building height and, consequently, to implement the proposal of high-rise buildings (Unit A) included in the study. It also provided a basis to reject the possibility of erecting tall buildings in dispersed locations in the city, proposed by developers, that could violate the cityscape protection scheme (included in the VPS).



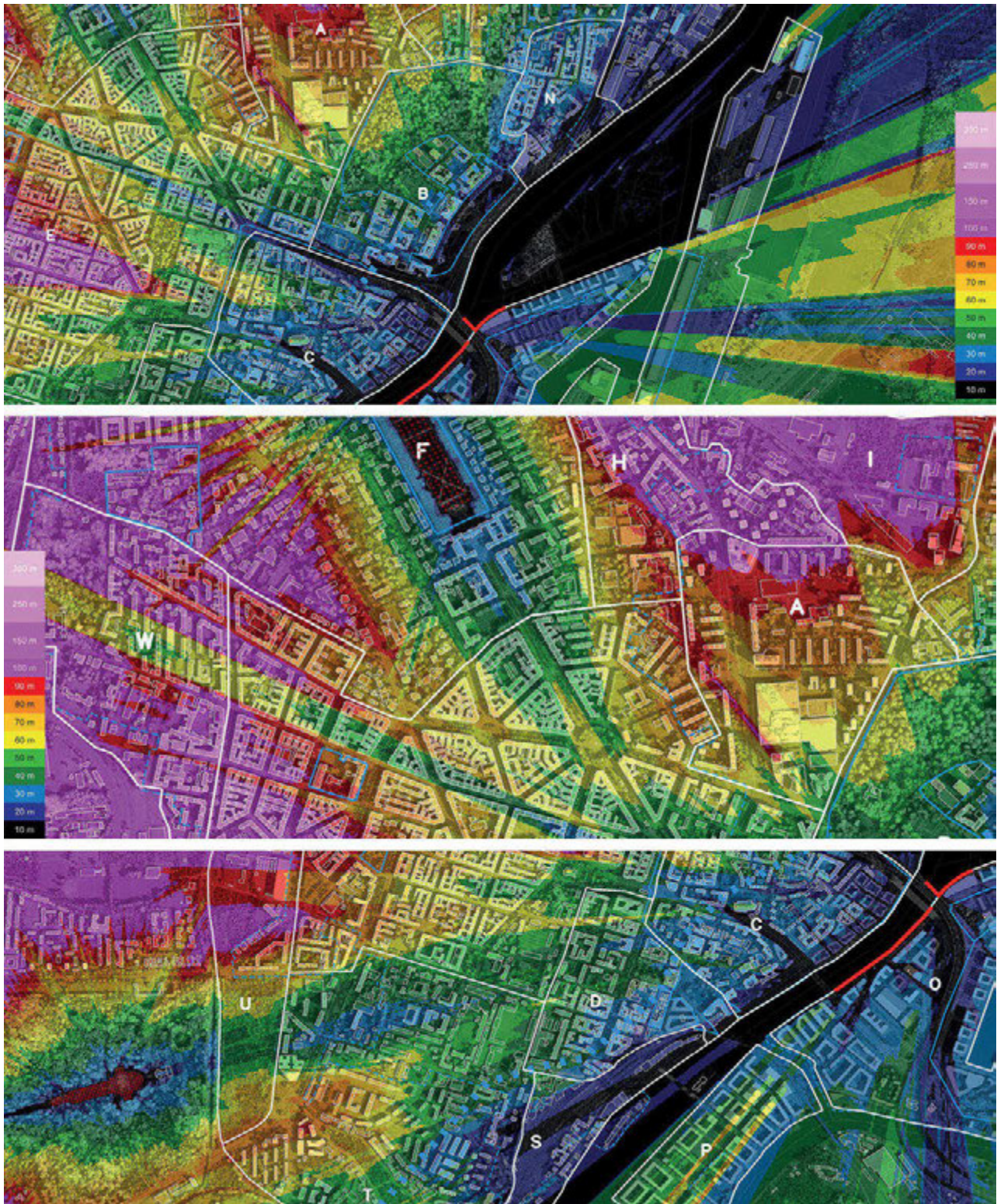
III. 1. Analysis of land topography and building height in Szczecin based on the DSM model created from LiDAR, ALS scanning data. A model that covered an area of 150 km² was used for landscape analyses. By the authors.

II. 1. Analiza topografii terenu i wysokości zabudowy Szczecina opracowana na bazie modelu DSM stworzonego na podstawie danych ze skaningu lotniczego LiDAR, ALS. Model o powierzchni 150 km² został wykorzystany dla potrzeb analiz krajobrazowych. Opracowanie własne.



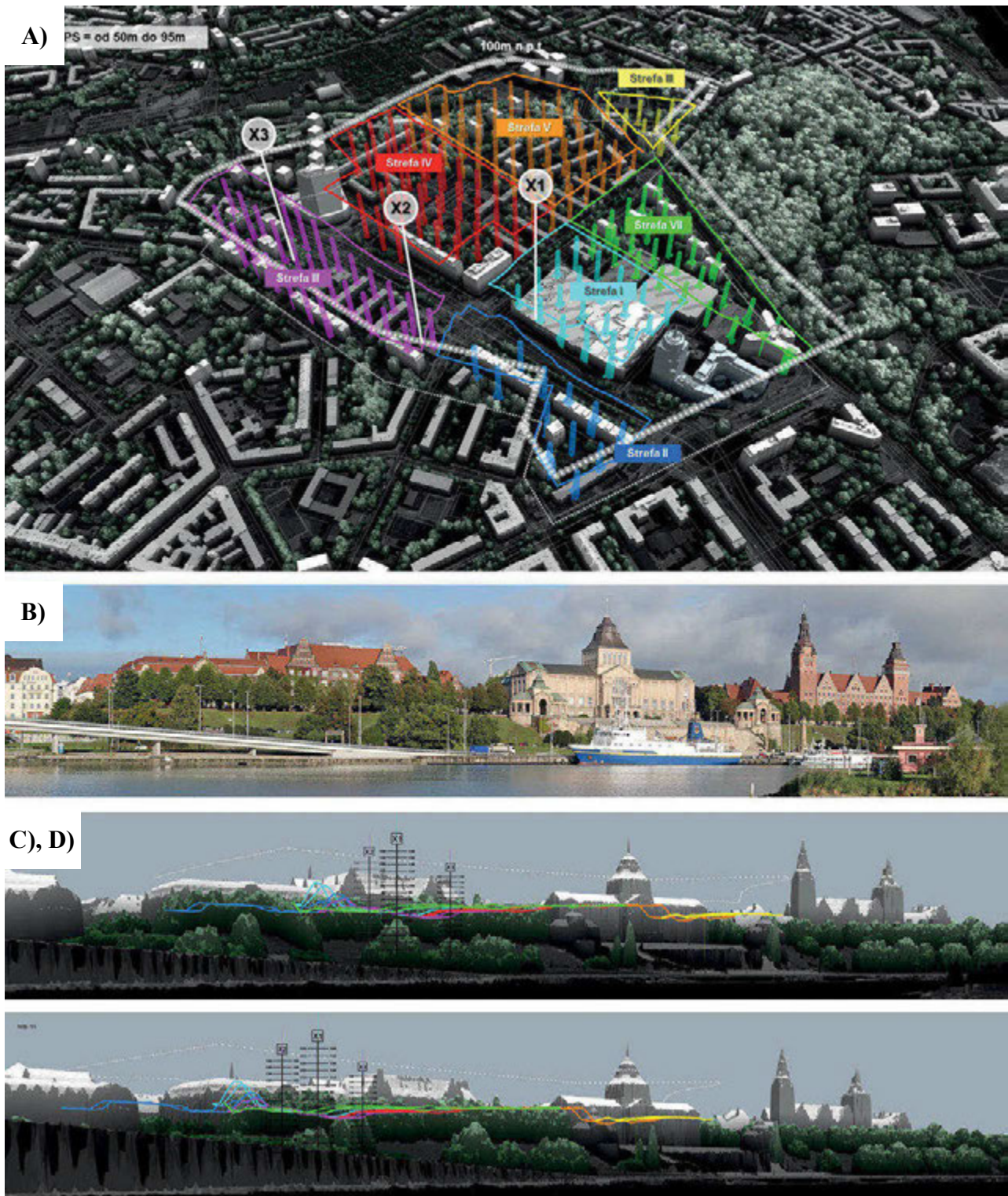
III. 2. Partial VPS simulation results and the protection of vistas: A) from landscape interiors of the Central Cemetery and Jasne Błonia Square; B) supplemented with the protection of a sequence of views from Łasztownia Island opposite the Podzamcze area; C) supplemented with the protection of a sequence of views from Łasztownia Island near the Maritime Museum of Science; and D) supplemented with the protection of Wały Chrobrego vistas from the Castle Route. By the authors.

II. 2. Nawarstwianie wyników częściowych symulacji VPS dla ochrony ekspozycji: A) z wnętrza krajobrazowych cmentarza Centralnego i Jasnych Błoni; B) uzupełnione o ochronę ciągu widoków z Łasztowni naprzeciw Podzamcza; C) uzupełnione o ochronę ciągu widoków z Łasztowni przy Morskim Muzeum Nauki; D) uzupełnione o ochronę ekspozycji Wałów Chrobrego z odcinka Trasy Zamkowej. Opracowanie własne.



III. 3. Final VPS map which includes expositions from viewing planes of the Central Cemetery and Jasne Błonia Square, as well as view lines along Łasztownia Island and the Castle Route, while taking into account the protection of expositions of Podzamecze and Wały Chrobrego — enlarged map sections. By the authors.

II. 3. Wynikowa mapa VPS, która obejmuje ekspozycje z płaszczyzn widokowych cmentarza Centralnego i Jasnych Błoni oraz ciągi widokowe wzdłuż Łasztowni i Trasy Zamkowej uwzględniające ochronę ekspozycji Podzamecza i Wałów Chrobrego — powiększenia fragmentów mapy. Opracowanie własne.



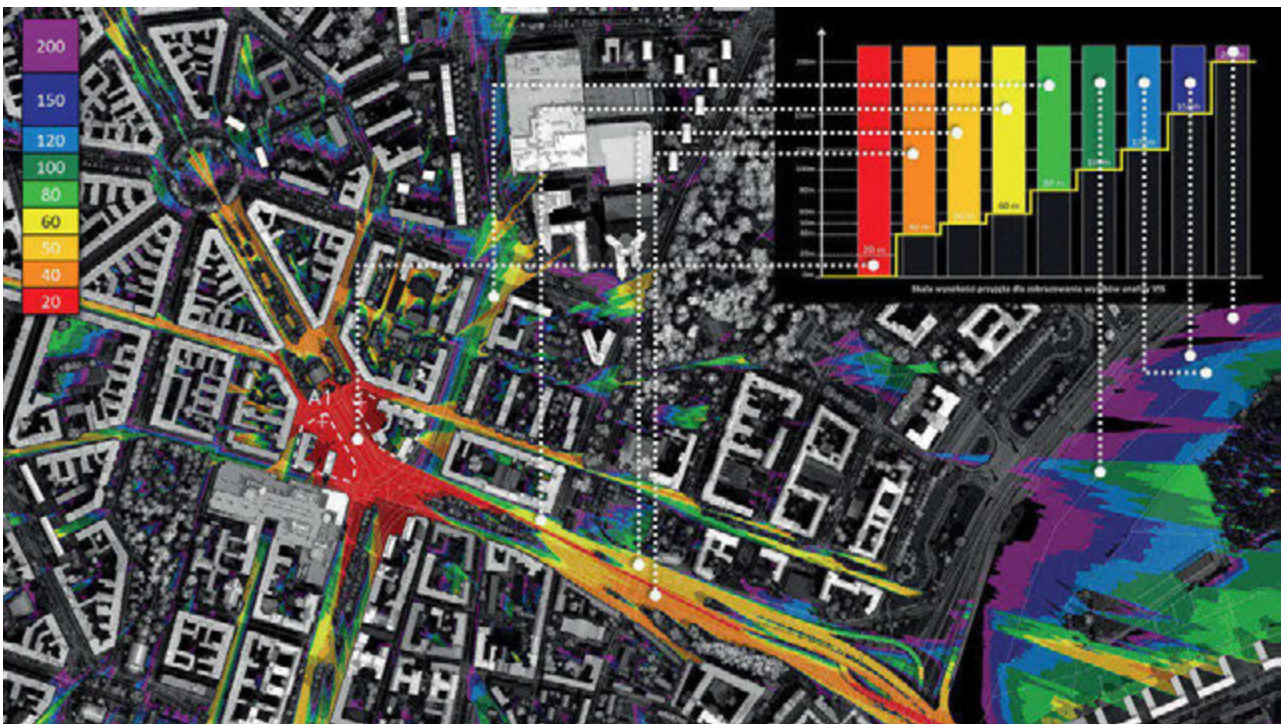
Ill. 4. High-rise development zone: A) division of unit A into zones and location of exemplary high-rising landmarks X1–X3; B) protected panorama of Wały Chrobrego; C), D) simulations of strategic views from Łasztownia Island. Colour-coded lines indicate maximum building heights determined by the VPS analysis. In points X1–X3, height rulers are used. By the authors.

Il. 4. Strefa zabudowy wysokiej i wysokościowej: A) schemat podziału jednostki A na strefy i lokalizacja przykładowych dominant wysokościowych X1–X3; B) przykład panoramy Wałów Chrobrego objętej ochroną; C), D) symulacje widoków strategicznych z Łasztowni. Kolorowe linie określają maksymalne wysokości zabudowy ustalone w analizie VPS. W punktach X1–X3 zastosowano linijki wysokości. Opracowanie własne.



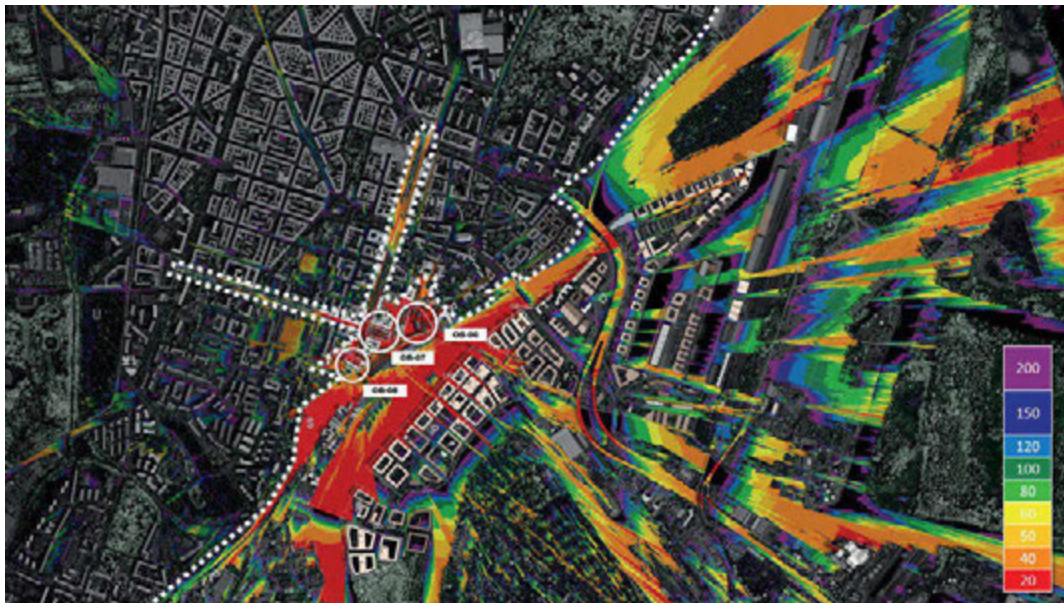
III. 5. Study of exposure of high-rise buildings in unit A in distant views from inbound routes — view from the Podjuchy junction on motorway A6. By the authors.

II. 5. Badanie ekspozycji zabudowy wysokiej i wysokościowej w jednostce A w odległych widokach z tras wjazdowych do miasta — widok z węzła Podjuchy przy autostradzie A6. Opracowanie własne.



III. 6. VIS analysis of buildings at Lotników Square; it indicates the interpretation of colours on the map. They denote visibility of the studied building (group of buildings) from a given space in the city from a specific height level upwards. By the authors.

II. 6. Analiza VIS dla obiektów przy placu Lotników, ze wskazaniem zasady interpretacji kolorów na mapie. Oznaczają one widoczność badanego budynku (grupy budynków) z danej przestrzeni w mieście od konkretnego progu wysokości wzwyż. Opracowanie własne.



III. 7. A frame of the VIS analysis for a group of buildings at Tobrucki Square, at the end of Narutowicza Street and at the termination point of 3 Maja Street. By the authors.

II. 7. Kadr analizy VIS dla grupy obiektów przy placu Tobruckim, na zakończeniu ulicy Narutowicza oraz zamknięciu ulicy 3 Maja. Opracowanie własne.



III. 8. Simulation of new buildings at Tobrucki Square, and Zawiszy and 3 Maja streets. VIS analysis height lines were placed at control points to show the scale of the development and its relation to historical components of the cityscape. By the authors.

II. 8. Symulacja nowej zabudowy przy placu Tobruckim, placu Zawiszy i ulicy 3 Maja. W miejscach punktów kontrolnych analizy VIS umieszczono linijki wysokości obrazujące skalę zabudowy oraz relację do historycznych elementów krajobrazu miasta. Opracowanie własne.



III. 9. Simulation of development at Tobrucki Square (right) and Zawiszy Square (left). The height rulers allow to select the appropriate height of planned buildings not to obscure important elements of the historical city structure or weaken their status in space. By the authors.

II. 9. Symulacja zabudowy przy placu Tobruckim (linijka po prawej) i placu Zawiszy (linijka po lewej). Linijki wysokości pozwalają na dobranie odpowiedniej wysokości nowej zabudowy w taki sposób, by nie przesłaniać ważnych elementów struktury historycznej miasta ani nie osłabiać ich rangi w przestrzeni. Opracowanie własne.

1. WPROWADZENIE

Cel badań

Tematem badawczym podjętym w artykule są ochrona i kształtowanie krajobrazu miejskiego z wykorzystaniem technik cyfrowych. Troska o zachowanie równowagi między ochroną i kształtowaniem krajobrazu definiuje jeden z kluczowych kierunków polityki przestrzennej, wpisujących się w formułę zrównoważonego rozwoju miasta. Proces ochrony opiera się na zachowaniu historycznie uformowanych i utrwalonych w społecznej świadomości panoram oraz widoków wewnętrznych miasta, stanowiących element dziedzictwa kulturowego. Natomiast proces kształtowania dotyczy współczesnych uwarunkowań rozwoju, które mogą wiązać się z wprowadzaniem nowych form zabudowy, w tym obiektów wysokich i wysokościowych¹. Wykorzystanie technik cyfrowych może służyć lepszemu planowaniu. Modele 3D miast są coraz bardziej dokładne i aktualne. Widoczny jest też stały progres w wykorzystaniu tych zasobów w analizach urbanistycznych.

Celem artykułu jest przedstawienie zastosowania modeli 3D oraz odpowiednich metod analiz cyfrowych dla potrzeb rozwoju miasta w aspekcie ochrony i kształtowania krajobrazu, a także ocena możliwości wykorzystania wyników w procesie planistycznym na przykładzie Szczecina.

Metody

W artykule omówiono różne metody cyfrowej analizy krajobrazu oparte na wykorzystaniu modeli 3D miast, a w szczególności Visual Protection Surface (VPS) oraz Visual Impact Size (VIS). VPS pozwala na wskazanie maksymalnych wysokości nowej zabudowy z założeniem pełnej ochrony widoków strategicznych, czyli takich, które powinny być zachowane w niezminionej postaci. VIS umożliwia natomiast precyzyjną i jednoznaczną ocenę zakresu oddziaływania nowych inwestycji poprzez dokładne rozpoznanie miejsc ekspozycji, z których planowany obiekt będzie widoczny (zależnie od jego wysokości). Metody VPS i VIS są przedstawione w rozdziałach 3 i 4.

¹ Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (2002) w polskim prawodawstwie funkcjonują: obiekty wysokie (powyżej 25 m, do 55 m n.p.t.) oraz obiekty wysokościowe (powyżej 55 m n.p.t.). W polskojęzycznej wersji niniejszego artykułu, by nie budzić wątpliwości, wymieniane są oba typy obiektów wysokich. W wersji anglojęzycznej natomiast stosuje się równolegle sformułowania: *high-rise buildings* i *tall buildings*.

Zakres badań

Metody VPS i VIS oraz informatyczny warsztat umożliwiający ich aplikację z użyciem dostępnych modeli miast 3D zostały zastosowane przez autorów na potrzeby *Studium kompozycyjnego Szczecina 2020–2021* (Czyńska, Marzęcki i Rubinowicz, 2021). Opracowanie to wykonano na zlecenie Urzędu Miasta Szczecin. Stanowi kontynuację wcześniejszych badań prowadzonych przez zespół autorów na zlecenie miasta Szczecina (Czyńska, Marzęcki i Rubinowicz, 2005). Wnioski z najnowszych badań zostały uwzględnione w uchwalonym w 2022 roku Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Szczecin, które definiuje ramy polityki przestrzennej miasta na wiele lat.

Przegląd literatury

Metody VPS i VIS zostały zaprezentowane m.in. na łamach tego czasopisma w 2017 roku wraz z opisem wyników projektu badawczego o akronimie 2TaLL (Czyńska, Rubinowicz i Zwoliński, 2017). Założenia VPS zostały sformułowane w 2015 roku i przedstawione po raz pierwszy na podstawie badań przeprowadzonych dla Drezna (Rubinowicz i Czyńska, 2015; Czyńska i Rubinowicz, 2015). Analizowane były wówczas możliwości rozwoju zabudowy wysokiej na obszarze miasta w taki sposób, by zachować panoramę od strony Łąby w niezminionej formie. Metoda VIS została opublikowana w obecnym kształcie w 2015 roku (Czyńska, 2015).

W ostatnich latach na całym świecie podejmowano badania dotyczące tematów związanych z zagadnieniami omawianymi w tym artykule. Wskazać można np. te dotyczące zabudowy wysokiej (Al-Kodmany, 2017; Ali i Al-Kodmany, 2012; Gonçalves, 2010; Czyńska, 2021). Interesujące są także badania związane z projektowaniem klastrow wieżowców w celu optymalizacji ich widoczności w krajobrazie (Puspitasari i Kwon, 2020; Attoe 1981), jak również w relacji do zabudowy historycznej (Al-Kodmany, 2012).

Kluczowym zagadnieniem dla podjętego tu tematu jest ochrona widoków strategicznych. Identyfikacja tych ekspozycji jest przedmiotem analiz wykonanych dla takich miast jak Lublin (Czyńska i Rubinowicz, 2019) czy Ardales w Hiszpanii (Pardo García i Mérida Rodríguez, 2015) oraz, w szerszym zakresie, analiz krajobrazu naturalnego (Ozimek, 2019). W literaturze warto wskazać także analizy widoczności zabytków w celu ustalania stref ochronnych: w Bratysławie (O’ahel’ i in., 2018), w brazylijskiej Fortalizie (Lopes i in., 2019), w nowozelandzkim Christchurch (Bartie i in., 2010). Stosowane są w tym celu narzędzia podobne do prezentowanej dalej metody VIS (Czyńska, 2020), które

opierają się na generowaniu tzw. map widoczności *viewshed* (Cervilla i in., 2017).

Ustalanie limitów wysokości zabudowy na obszarze miasta w celu ochrony kluczowych ekspozycji widokowych przed negatywnym wpływem nowych inwestycji jest tematem mniej popularnym, gdyż wymaga bardziej zaawansowanych operacji geometrycznych. Dla miasta Sziraz w Iranie analizowane były różne scenariusze rozwoju zabudowy, badane pod kątem ich wpływu na ikoniczną sekwencję widoków (Mohseni, Lotfi i Sholeh, 2020). Istotną wadą istniejących badań jest często ich fragmentaryczność i mała dokładność, będące konsekwencją zastosowanego modelu 3D miasta (Akdag, Cagdas i Guney, 2010; Guney i in., 2012). Na tle innych badań dotyczących analiz oddziaływania wizualnego w mieście opisana dalej metoda VPS jest bardziej holistyczna i służy szerokiemu spojrzeniu na problem kształtowania wysokości zabudowy w mieście (Rubinowicz, 2019; Rubinowicz, 2020).

2. ZAŁOŻENIA STUDIUM KOMPOZYCYJNEGO SZCZECINA

Ochrona i kształtowanie krajobrazu miasta

Opracowanie pod nazwą Studium kompozycyjne Szczecina. Ochrona i kształtowanie krajobrazu miasta z oceną możliwości lokalizacji zabudowy wysokiej i wysokościowej zostało wykonane w latach 2020–2021 przez autorów artykułu (Czyńska, Marzęcki i Rubinowicz, 2021). Zleceniodawcą był Urząd Miasta Szczecin. Stanowiło ono podstawę dla sformułowania wytycznych krajobrazowych ujętych w nowym Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Szczecin (2022).

Głównym założeniem omawianego opracowania było określenie takich zasad dalszego rozwoju przestrzennego miasta, by uszanowane zostały dotychczasowe wartości krajobrazu kulturowego Szczecina. Założenia Studium opierają się zatem na dwóch równoważących się filarach. Z jednej strony, dążono do określenia czytelnych zasad ochrony cennych walorów przestrzennych, z drugiej, opracowanie miało na celu zdefiniowanie kierunków kształtowania zabudowy miejskiej, w tym wskazania miejsc lokalizacji obiektów wysokich i wysokościowych.

Wśród chronionych walorów miasta wyróżniono historyczny zespół Wałów Chrobrego oraz inne ekspozycje panoramiczne miasta znad Odry, w tym widoki w kierunku Podzamcza, katedry św. Jakuba, Nowego Ratusza. Ważnym elementem była również ochrona wnętrza krajobrazowych cmentarza Centralnego i Jasnych Błoni.

Z kolei do najważniejszych założeń kształtowania współczesnego wizerunku Szczecina przyjętych w Studium należało dążenie do koncentracji zabudowy wysokiej i wysokościowej na jednym centralnie położonym obszarze miasta (w ramach tzw. jednostki A). Założono także możliwość lokalizacji wyższej zabudowy zgodnie z układem kompozycyjnym śródmieścia, tj. na zamknięciach widokowych ulic i jako podkreślenia narożników w formie subdominant. Celem było także wskazanie obiektów, które nie pasują do kompozycji urbanistycznej — w przypadku ich wyburzenia należałoby założyć obniżenie wysokości nowej zabudowy.

Organizacja i metodologia studium

Studium kompozycyjne Szczecina składa się z dwóch części ujętych w oddzielnych tomach. Część wprowadzająca (tom A) zawiera charakterystykę struktury przestrzennej miasta i jego uwarunkowań morfologicznych (il. 1), a także identyfikację kluczowych elementów krajobrazu oraz miejsc, ciągów i płaszczyzn ekspozycji najważniejszych panoram i widoków wewnętrznych (widoków strategicznych). Wyodrębniono widoki dalekie z tras wjazdowych do miasta, w których potencjalna zabudowa wysoka i wysokościowa będzie w pełni eksponowana, oraz widoki bliskie, najbardziej rozpoznawalne i stanowiące kluczową wartość krajobrazu. W dalszej części opracowania przeprowadzono symulacje z wykorzystaniem metod VPS oraz VIS, które stanowią jego główny trzon analityczny. Miały one na celu określenie górnego limitu wysokości nowej zabudowy w całym analizowanym obszarze oraz zbadanie oddziaływania krajobrazowego dla wskazanych 12 potencjalnych terenów inwestycyjnych. W drugiej części *Studium* (tom B) przedstawiono uzupełniające symulacje wybranych widoków panoramicznych i wewnętrznych Szczecina oraz zaprezentowano wytyczne kształtowania wysokości zabudowy w mieście.

Model 3D miasta

Do przeprowadzenia analiz ujętych w omawianym opracowaniu niezbędny był cyfrowy obraz miasta w postaci modelu 3D. O przydatności modelu do cyfrowych badań krajobrazu decyduje szereg parametrów: dokładność (np. prawidłowe zobrazowanie wysokości), kompletność (zakres elementów przestrzeni), aktualność, a także struktura i organizacja danych. Spośród możliwych do wykorzystania zasobów najbardziej praktyczne zastosowanie mają dwa formaty: modele CityGML oraz modele zbudowane na bazie chmury punktów pochodzących z naltów ALS, LiDAR.

Pierwszy ze wspomnianych typów modeli, CityGML, jest standardem umożliwiającym zapis geometrii miasta oraz wzajemnych relacji i zależności hierarchicznych między elementami modelu (Kolbe, 2009; Gröger i Plümer, 2012; Rubinowicz, 2017). Umożliwia on odwzorowanie obiektów (np. budynków, tunelów, mostów) i obrazowanie ich w różnych skalach dokładności (LoD — Level of Detail). W Polsce ten format danych przestrzennych staje się coraz bardziej popularny i dostępny (GUGiK, 2022). Zasięg modeli jest jednak wciąż niepełny. Jedynie dla wschodniej Polski można pobrać modele w skali dokładności LoD2, czyli takiej, która odwzorowuje kształt obrysu budynku, jego wysokość oraz geometrię dachu. W przypadku Szczecina dostępny jest tylko model w dokładności LoD1, która nie jest jednak wystarczająca do badania relacji między budynkami w krajobrazie (Dąbrowska-Budziło, 2002, s. 250). W modelach CityGML brak jest również odpowiedniego odwzorowania zieleni wysokiej, która w istotny sposób wpływa na badanie widoczności.

Drugi typ modeli zbudowany jest na bazie chmur punktów LiDAR powstałych w procesie nalołów ALS — są to numeryczne modele terenu (DTM) i pokrycia terenu (DSM)². Odzworowują one całą powierzchnię miasta z jednakową dokładnością. Uwzględniają więc zabudowę, zieleni wysoką, infrastrukturę techniczną, mosty, wiadukty, zagospodarowanie terenu. Wadą jest jednak brak semantyki danych i, co za tym idzie, prostej możliwości wyodrębnienia poszczególnych elementów (np. oddzielenia drzewa od budynku). Modele DSM są dostępne dla większych miast w całej Polsce w bardzo dobrej rozdzielczości (chmura punktów na siatce o oczku 50 cm). Umożliwia ona rozpoznanie podstawowych relacji architektonicznych oraz prowadzenie zaawansowanych analiz urbanistycznych (Tabik, Zapata i Romero, 2013; Karimipour, Mojtahedi i Dehkordi, 2015).

Do realizacji prezentowanego *Studium kompozycyjnego Szczecina* wykorzystano model DSM o powierzchni 150 km². Został on poddany korekcie zmierzającej do eliminacji błędów technicznych oraz uzupełnienia zabudowy miasta (wyburzenia, nowe obiekty itp.). Aktualizacji dokonano na podstawie: projektów architektonicznych, materiałów planistycznych, uzupełniających pomiarów oraz zdjęć lotniczych. Wszystkie wizualizacje i analizy zostały opracowane z zastosowaniem oprogramowania opra-

cowanego na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie (Rubinowicz, 2017). Umożliwia ono edycję, przetwarzanie i aplikację modelu miasta w formie chmury punktów do analiz krajobrazowych (il. 1), w tym analiz VPS i VIS.

3. METODA VISUAL PROTECTION SURFACE (VPS)

Założenia metody VPS

Celem metody VPS jest analiza chłonności wizualnej miasta na nowe inwestycje wysokie i wysokościowe przy założeniu pełnej ochrony określonej grupy widoków strategicznych (Rubinowicz i Czyńska, 2015). VPS może służyć odpowiedzi na istotne dla planowania miast pytania: **gdzie i jak wysoko** możemy budować, by nowa zabudowa nie zaburzała chronionych widoków strategicznych. Złożoność interakcji przestrzennych między założeniami ochrony widoków a strukturą wysokości zabudowy miasta jest praktycznie niemożliwa do intuicyjnego przewidzenia. Wymaga zastosowania odpowiednich technik cyfrowych.

Dane wejściowe dla VPS obejmują zbiór chronionych widoków strategicznych. Są to współrzędne miejsc, które stanowią odwzorowanie punktów, ciągów i płaszczyzn widokowych, określone niejednokrotnie za pomocą dziesiątek lub setek punktów (Rubinowicz, 2019). Podstawą dla przeprowadzenia analizy jest model 3D. Rezultatem jest nieregularna powierzchnia rozpostarta nad miastem, która wyznacza maksymalne wysokości zabudowy, określane dalej jako powierzchnia VPS. Każdy obiekt, który znajdzie się poniżej tej powierzchni, nie będzie widoczny w żadnym z ujętych w analizie widoków strategicznych. Wynik VPS jest jednoznaczny pod względem geometrycznym, natomiast jego dokładność zależy od szeregu parametrów, które mają także wpływ na czas obliczeń (Rubinowicz, 2020). Najbardziej czytelną i łatwą do interpretacji formą odwzorowania wyniku VPS są mapy, na których za pomocą odpowiedniego kodu kolorystycznego określone są limity wysokości nowej zabudowy (il. 2).

Sposób aplikacji VPS w *Studium kompozycyjnym Szczecina*

Do ochrony metodą VPS zakwalifikowano widoki o wyjątkowych walorach, prezentujących najsilniej rozpoznawalne elementy krajobrazu kulturowego Szczecina oraz najcenniejsze założenia przestrzenne. Są to: panoramy na Podzamcze oraz Wały Chrobrego z Łasztowni i Trasy Zamkowej, a także widoki z wnętrza krajobrazowych cmentarza Centralnego

² Polskojęzycznym odpowiednikiem sformułowania „DTM” jest „NMT” (Numeryczny Model Terenu). Odpowiednikiem „DSM” jest „NMPT” (Numeryczny Model Pokrycia Terenu).

i Jasnych Błoni. Wszystkie ekspozycje stanowią ciągi lub płaszczyzny widokowe. Do ich odwzorowania zastosowano łącznie 517 punktów kontrolnych, traktowanych jako współrzędne widoków strategicznych (Czyńska, Marzęcki i Rubinowicz, 2021, s. 81–88). Rozdzielczość siatki VPS wynosiła 6 m, a dokładność obliczania wysokości 15 cm. Symulacje przeprowadzono wariantowo, by zobrazować, w jaki sposób nawarstwiają się założenia ochrony dla poszczególnych grup ekspozycji widokowych (wyniki cząstkowe). Uwzględnienie kolejnych grup widoków powoduje zwiększenie zakresu ograniczeń wysokości nowej zabudowy na badanym obszarze miasta. Rezultaty są przedstawione na załączonych ilustracjach (il. 2, 3).

Interpretacja map VPS

Finalna powierzchnia VPS charakteryzuje się dużą złożonością, wynikającą z nakładania się ograniczeń wysokości zabudowy obliczonych łącznie dla wszystkich płaszczyzn i ciągów widokowych uznanych za widoki strategiczne miasta (il. 3). Wartości na mapie nie stanowią bezpośredniej wytycznej kształtowania wysokości zabudowy. Określają jedynie jej górny limit, który nie zakłóci chronionych ekspozycji.

Obszary najniższej zabudowy wynikającej z analiz VPS są związane z przedpołem widokowym. Koncentrują się wzdłuż doliny Odry i wewnątrz rozpatrywanych wewnątrz krajobrazowych. Zabudowa na skarpie nadodrzańskiej stanowi główną treść chronionych panoram i jednocześnie w istotny sposób wpływa na kształt powierzchni VPS, która określa zasady ochrony tła ważnych założeń przestrzennych.

Wyniki analiz VPS były podstawą dla sformułowania wytycznych względem planowanej strefy zabudowy wysokiej w jednostce A w centrum miasta, gdzie znajdują się dwa zrealizowane już obiekty wysokościowe. Szczegółowe analizy w tym zakresie są opisane w kolejnym rozdziale. Bardzo istotne przy realizacji *Studium* były także wyniki VPS dla potencjalnych lokalizacji obiektów wysokich lub wysokościowych, które zostały poddane szczegółowej analizie. VPS pozwolił na ustalenie maksymalnych wysokości wynikających z ochrony krajobrazu miasta. Stanowiło to ramy dla określenia szczegółowych wytycznych uwzględniających także lokalne uwarunkowania urbanistyczne (które były analizowane m.in. z użyciem metody VIS).

Strefa zabudowy wysokiej i wysokościowej
Jednym z kluczowych założeń *Studium kompozycyjnego Szczecina* było dążenie do koncentracji zabudowy wysokiej i wysokościowej na jednym obszarze miasta. Celem było przeciwdziałanie negatywnej tendencji lokowania wieżowców w Szczecinie

w sposób rozproszony, który wynikałby ze spełniania aktualnych dążeń inwestorów. Wyodrębniono więc obszar jednostki A, która jest przeznaczona do dalszego rozwoju tej formy zabudowy. Na tym terenie istnieją już dwa obiekty wysokościowe: budynek Pazim zrealizowany w latach 90. (wysokość 92 m n.p.t.) oraz Hanza Tower ukończony w 2021 roku (wysokość 104 m n.p.t.).

Obszar jednostki A wraz z podziałem na strefy ilustruje schemat (il. 4A), na którym przedstawiono punkty kontrolne o wysokości wynikającej z limitów obliczonych w analizie VPS. Podział na siedem stref (I–VII) jest podkreślony kolorystycznie. Pozwala to na rozpoznanie poszczególnych fragmentów potencjalnej zabudowy, badanej dalej w różnych widokach panoramicznych. Strefy są tam prezentowane za pomocą linii zgodnych z ustalonym kodem kolorystycznym. W widokach strategicznych wszystkie strefy jednostki A utrzymują się poniżej obecnej linii sylwetowej (il. 4C, D). Weryfikuje to poprawność obliczeń VPS. Jednakże w innych widokach panoramicznych, które nie zostały ujęte w VPS, strefy te mogą być widoczne. Dotyczy to m.in. odległych widoków z tras wjazdowych (il. 5).

Symulacje te umożliwiły zobrazowanie zakresu, skali i wysokości nowego zgrupowania zabudowy wysokiej i wysokościowej w szerszym krajobrazie miasta. Pozwoliło to dodatkowo na sprawdzenie możliwości lokalnego obniżenia zabudowy względem VPS lub też możliwości miejscowego przebiccia powierzchni VPS przez nowe dominanty. W analizach wybrano trzy przykładowe miejsca lokalizacji budynków wysokościowych, oznaczone na schemacie jako X1, X2, X3 (il. 4A), a na symulacjach linijkami wysokości w zakresie 10–150 m (il. 4C, D).

Na tej podstawie opracowane zostały końcowe wnioski i wytyczne dotyczące kształtowania strefy zabudowy wysokiej (w jednostce A). Zawierają one m.in. sugestię dodatkowego lokalnego obniżenia zabudowy w stosunku do analiz VPS z uwagi na niekorzystne „rozciąganie się” wspomnianej strefy w panoramach (il. 5). Zalecono dążenie do maksymalnej koncentracji przestrzennej i wizualnej obiektów wysokich.

4. METODA VISUAL IMPACT SIZE (VIS)

Założenia metody VIS

Celem VIS jest obiektywne zobrazowanie zasięgu i siły oddziaływania wizualnego planowanego budynku³. Rozpoznawane są wszystkie miejsca

³ W badaniu VIS dla każdego punktu w mieście wyznaczony jest pułap wysokości, od którego badany obiekt będzie

w mieście, z których analizowany obiekt będzie widoczny zależnie od jego wysokości (Czyńska, 2015). Algorytm bazuje na geometrycznej analizie cyfrowego modelu 3D miasta. Efektem komputerowej symulacji jest mapa, na której widoczność jest określana z dokładnością do ok. 10 cm. Metoda VIS umożliwia wyznaczenie widoczności obiektu z całej przestrzeni miasta, ściślej: ze wszystkich terenów niezabudowanych (rozumianych jako obszary pomiędzy budynkami, w tym m.in. z ulic, placów, terenów zielonych, wewnątrz kwartałów). Symulacja może obejmować badanie widoczności także ze wszystkich zdefiniowanych geometrycznie elementów modelu 3D (np. dachów lub z obszaru rzeki). Rezultat jest jednoznaczny pod względem geometrycznym, a ewentualne błędy mogą wynikać ze specyfiki modelu 3D miasta i jego aktualności. Co istotne, w symulacjach badana jest widoczność z poziomu oka obserwatora (1,7 m n.p.t.).

Wynik VIS może być obrazowany w różny sposób: jako mapa 2D, powierzchnia 3D, czy wreszcie zestawienia tabelaryczne obejmujące np. analizy stopnia widoczności obiektu w przestrzeniach publicznych miasta zależnie od jego wysokości (Czyńska, 2020). Z praktyki planistycznej wynika, że najłatwiejsze w interpretacji są barwne mapy 2D (il. 6). Każdy z kolorów określa widoczność badanego budynku od konkretnego progu wysokości. Zazwyczaj, w celu uczynienia wyniku, przyjmuje się ograniczoną paletę barw, która odzwierciedla np. 8 pułapów wysokości przyszłego wieżowca. Gradacja kolorów, od silnie widocznej czerwieni do ginącego w tle mapy koloru ciemnoniebieskiego, pozwala intuicyjnie interpretować intensywność oddziaływania badanego obiektu na analizowaną przestrzeń miejską.

Na mapie VIS czytelne są miejsca, które są potencjalnie najistotniejsze dla dalszej analizy (il. 7). Kolor odzwierciedla wpływ analizowanego wieżowca na krajobraz. Na obszarach oznaczonych na czerwono budynek będzie widoczny niemal w całości. Na terenach zaznaczonych na niebiesko dostrzeżalny będzie jedynie mały fragment górnej partii

widoczny (analizowana jest geometryczna widoczność pary punktów). Budynek odzwierciedlany jest zazwyczaj za pomocą pojedynczego punktu kontrolnego, który określa środek jego lokalizacji. Forma (kształt) obiektu nie jest istotna. Jednakże w przypadku bardzo szerokich budynków lub ich zespołów w analizie stosuje się większą liczbę punktów kontrolnych dla bardziej precyzyjnego odzwierciedlenia badanej kubatury. Zostało to opisane w publikacjach na przykładzie wieżowca Hanza Tower (Czyńska, 2018) oraz kwartałów zabudowy na obszarze Młodego Miasta Gdańska (Czyńska, 2019). Parametry budynku takie jak barwa, faktura elewacji, rodzaj zwieńczenia itp. nie są brane pod uwagę w analizie VIS.

wieżowca. W praktyce planistycznej (na podstawie doświadczeń wyniesionych z realizacji opracowań studialnych) mapy VIS są pierwszym źródłem informacji dla organizacji badań *in situ* — dokumentacji kluczowych widoków do dalszych analiz.

Sposób aplikacji VIS w Studium kompozycyjnym Szczecina

Analizy VIS przeprowadzono dla 12 obszarów szczegółowych oraz trzech potencjalnych lokalizacji obiektów wysokościowych (zlokalizowanych w jednostce A: X1–X3). W ramach każdego obszaru szczegółowego określone zostały lokalizacja i liczba punktów kontrolnych, dla których sporządzono analizę VIS. Dobrano je, biorąc pod uwagę geometrię działki inwestycyjnej, liczbę potencjalnych dominant wysokościowych oraz kompozycję urbanistyczną miasta (np. uwzględniając akcentowanie zamknięć widokowych okolicznych ulic).

W omawianym opracowaniu przyjęto indywidualny zestaw 9 progów widoczności (il. 6). Sposób interpretacji map jest następujący: obszar koloru czerwonego to zakres od 0 do 40 m — czyli obiekt (ściślej: punkt kontrolny) widać np. od poziomu 1,2 m, 3,2 m lub od 19,9 m wzwyż, aż do zwieńczenia budynku; obszar koloru ciemnopomarańczowego oznacza, że punkty kontrolne są widoczne od 40 m wzwyż, obszar koloru jasnopomarańczowego od 50 m itd., według załączonej legendy (il. 7).

Interpretacja VIS oraz symulacje widoków

Rozpoznane na podstawie analizy VIS obszary ekspozycji badanych obiektów są zazwyczaj poddane dalszej waloryzacji w badaniach terenowych. Pozwala to na ustalenie ważnych punktów widokowych, w których nowy obiekt może zagrażać integralności istotnych założeń przestrzennych (np. obszarów staromiejskich czy założeń symetrycznych), co jest także weryfikowane w szerszym kontekście krajobrazowym w badaniach VPS. Analiza VIS może również wskazywać obszary najbardziej atrakcyjnej ekspozycji badanej dominanty, które budują nowe walory przestrzenne w kontekście lokalnych uwarunkowań urbanistycznych. Bez wątplenia jednoznaczna identyfikacja miejsc widokowych daje możliwość dalszej szczegółowej oceny wpływu planowanego obiektu na przestrzeń miasta i opracowanie symulacji konkretnych widoków z użyciem linijek wysokości.

W *Studium* przygotowano szereg symulacji odległych i bliskich widoków panoramicznych oraz wąskich perspektyw ulicznych. Linijki wysokości były umieszczane w miejscach punktów kontrolnych zastosowanych w analizach VIS, wizualizo-

wane w modelu 3D, a następnie precyzyjnie scalane ze zdjęciami. Podziałka każdej z linii umożliwia zobrazowanie planowanego obiektu z dokładnością do 5 m wysokości w zakresie od 10 do 150 m n.p.t.

Opracowane w taki sposób symulacje stanowią ważny i niekiedy rozstrzygający głos przy ustalaniu końcowych wytycznych kształtowania zabudowy. Miarodajne pokazanie obiektu w widoku umożliwia dobranie odpowiedniej wysokości nowej zabudowy w taki sposób, by nie przesłaniać ważnych elementów struktury historycznej miasta lub nie osłabiać ich rangi w przestrzeni. Dla przykładu, wedle ustaleń *Studium*, zabudowa przy placu Tobruckim nie powinna przekroczyć wysokością 20 m n.p.t. Każdy dodatkowy metr będzie zmniejszał widoczność Nowego Ratusza w krajobrazie, co znacząco osłabi wartość panoram nadrzecznych eksponowanych m.in. z bulwarów przy Kępie Parnickiej (il. 8, 9).

5. PODSUMOWANIE

Znaczenie badań dla kształtowania środowiska miejskiego

W ostatnich latach obserwujemy intensywny rozwój budownictwa wysokościowego w Europie i na świecie. Trend ten stwarza jednak zagrożenie dla historycznie ukształtowanych wizerunków miast. Zachowanie równowagi między ochroną i kształtowaniem krajobrazu powinno być zatem jednym z kluczowych kierunków polityki przestrzennej. Scharakteryzowany w artykule warsztat analityczny, oparty na wykorzystaniu cyfrowych modeli miast 3D, ma na celu dążenie do zrównoważonego kształtowania krajobrazu. Pozwala określić ramy dalszego rozwoju zabudowy wysokościowej w mieście przy jednoczesnej pełnej ochronie ważnych założeń przestrzennych.

Obiektywizacja procesu analiz z użyciem technik cyfrowych

Istotnym aspektem badań opartych o wykorzystanie technik cyfrowych i modeli 3D miast jest dążenie do obiektywizacji wyników. Można je porównać do badań obrazowych w medycynie, które są bezdyskusyjne. Metody analizy krajobrazu powinny w analogiczny sposób diagnozować potencjalne zagrożenia w rozwoju przestrzennym miast. Dokładne i aktualne modele miast stwarzają pole do kreowania innowacyjnych technik analitycznych. Opisane w artykule metody VPS i VIS wpisują się w ten trend. Wykorzystują dostępne dane cyfrowe i generują na ich podstawie w pełni obiektywne wyniki analiz przestrzennych.

Wnioski z zastosowania badań w procesie planistycznym

Omawiane metody analiz krajobrazu miasta zastosowano w *Studium kompozycyjnym Szczecina 2020–2021*. Celem zamówionego przez Gminę Miasta Szczecin opracowania było wskazanie kierunków rozwoju przestrzennego miasta z uwzględnieniem zabudowy wysokiej i wysokościowej oraz z zachowaniem dotychczasowych wartości krajobrazu kulturowego. Na przedstawioną w artykule metodologię *Studium* składały się (poza ogólną analizą morfologii krajobrazu):

- analizy VPS określające limity wysokości zabudowy w mieście;
- symulacje widoków panoramicznych ze strefą zabudowy wysokiej i wysokościowej skoncentrowanej w centralnej części miasta;
- analizy VIS weryfikujące oddziaływanie krajobrazowe obiektów w kilku wskazanych lokalizacjach;
- symulacje wybranych ekspozycji z wykorzystaniem linii wysokości.

Badania wpłynęły na określenie długofalowej polityki rozwoju miasta, ujętej w nowym *Studium* uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Szczecin (2022). Kluczowe okazały się wyniki analiz VPS. Uzgodniony we współpracy z Miastem zakres ochrony najważniejszych widoków i panoram pozwolił na wdrożenie metody i stworzenie mapy maksymalnych wysokości zabudowy na terenie Szczecina, a także na realizację założonej w *Studium* koncepcji koncentracji zabudowy wysokościowej (w jednostce A). Dało to też podstawę do odrzucenia możliwości realizacji wielu wnioskowanych przez inwestorów obiektów wysokich, rozproszonych w przestrzeni miasta i naruszających ujęty w VPS zakres ochrony krajobrazu.

REFERENCES

- Akdag, S.G., Cagdaş, G. and Guney, C. (2010), 'Analyzing the Changes of Bosphorus Silhouette', [in:] Schmitt, G. (ed.), *Future Cities: eCAADe 2010: Proceedings of the 28th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, September 15–18, 2010, Zurich, Switzerland*, Zürich: eCAADe and VDF, pp. 815–823.
- Ali, M.M. and Al-Kodmany, K. (2012), 'Tall Buildings and Urban Habitat of the 21st Century', *Buildings*, 2(4), pp. 384–423. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings2040384> (accessed: 15.04.2022).
- Al-Kodmany, K. (2012), 'Guidelines for Tall Buildings Development', *International Journal of High-Rise Buildings*, 1(4), pp. 255–269.
- Al-Kodmany, K. (2017), *Understanding Tall Buildings: A Theory of Placemaking*, New York: Routledge. Available at: <https://tinyurl.com/ur6x2tx> (accessed: 15.04.2022).

- Attoe, W. (1981), *Skylines: Understanding and Molding Urban Silhouettes*, Chichester: Wiley & Sons.
- Bartie, P. et al. (2010), 'Advancing Visibility Modelling Algorithms for Urban Environments', *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(6), pp. 518–531. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.compenvurb-sys.2010.06.002> (accessed: 15.04.2022).
- Cervilla, A.R. et al. (2017), 'Total 3D-Viewshed Map: Quantifying the Visible Volume in Digital Elevation Models', *Transactions in GIS*, 21(3), pp. 591–607. Available at: <http://doi.org/10.1111/tgis.12216> (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K. (2015), 'Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, pp. 1359–1366. Available at: <http://doi.org/10.5194/ispr-sarchives-XL-7-W3-1359-2015> (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K. (2018), 'High Precision Visibility and Dominance Analysis of Tall Building in Cityscape: On a Basis of Digital Surface Model', [in:] *Computing for a Better Tomorrow: Proceedings of the 36th eCAADe Conference*, Łódź: eCAADe, pp. 481–488.
- Czyńska, K. (2019), 'Visual Impact Analysis of Large Urban Investments on the Cityscape', [in:] Sousa, J.P., Henriques, G.C. and Xavier, J.P. (eds.), *eCAADe SIGraDi 2019: Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution*, vol. 3, Porto: eCAADe, SIGraDi and FAUP, pp. 297–304.
- Czyńska, K. (2020), 'Computational Methods for Examining Reciprocal Relations Between the Viewshed of Planned Facilities and Historical Dominants — Their Integration Within the Cultural Landscape', [in:] Holzer, D. et al. (eds.), *RE: Anthropocene: Proceedings of the 25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2020*, vol. 1, Hong Kong: CAADRIA, pp. 853–862.
- Czyńska, K. (2021), 'Selected Aspects of Tall Building Visual Perception — Example of European Cities' = 'Wybrane aspekty percepcji wizualnej zabudowy wysokiej na przykładzie miast europejskich', *Space & Form = Przestrzeń i Forma*, 48, pp. 243–260. Available at: <http://doi.org/10.21005/pif.2021.48.D-01> (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K., Marzęcki W. and Rubinowicz P. (2005), *Studium kompozycyjne Miasta Szczecin z uwzględnieniem zabudowy wysokiej*, Szczecin: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Architektury. Available at: http://bip.um.szczecin.pl/chapter_11297.asp, (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K., Marzęcki, W. and Rubinowicz, P. (2021), *Studium kompozycyjne Szczecina. Ochrona i kształtowanie krajobrazu miasta z oceną możliwości lokalizacji zabudowy wysokiej i wysokościowej*, Szczecin: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Architektury. Available at: https://rada.szczecin.pl/UMSzczecinBIP/chapter_11124.asp?so-id=87EC66369BA24E7EB6505BB5189465CF, (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K. and Rubinowicz, P. (2015), 'Visual Protection Surface Method: Cityscape Values in Context of Tall Buildings', [in:] K. Karimi et al. (eds.), *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*, London, pp. 142:1–142:10.
- Czyńska, K. and Rubinowicz, P. (2019), 'Classification of Cityscape Areas According to Landmarks Visibility Analysis', *Environmental Impact Assessment Review*, 76, pp. 47–60. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.01.004> (accessed: 15.04.2022).
- Czyńska, K., Rubinowicz, P. and Zwoliński, A. (2017), 'Analyses of Tall Buildings in the Cityscape' = 'Analizy zabudowy wysokiej w krajobrazie miasta', *Teka Komisji Urbanistyki i Architektury PAN Oddział w Krakowie*, XLV, pp. 319–341. Available at: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/133618/edition/116748/content/analyses-of-tall-buildings-in-the-cityscape-czyńska-klara-rubinowicz-pawel-zwolinski-adam?language=en> (accessed: 15.09.2022).
- Dąbrowska-Budziło, K. (2002), *Treść krajobrazu kulturowego w jego kształtowaniu i ochronie*, Kraków: Wydawnictwo PK.
- Gonçalves, J.C.S. (2010), *The Environmental Performance of Tall Buildings*, London–Washington, DC: Earthscan. Available at: <https://tinyurl.com/qp4qevw> (accessed: 15.04.2022).
- Gröger, G. and Plümer, L. (2012), 'CityGML — Interoperable Semantic 3D City Models', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, pp. 12–33.
- GUGiK (2022), *Modele 3D budynków*. Available at: <https://www.geoportal.gov.pl/dane/budynki3d> (accessed: 15.04.2022).
- Guney, C. et al. (2012), 'Tailoring a Geomodel for Analyzing an Urban Skyline', *Landscape and Urban Planning*, 105(1–2), pp. 160–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.016> (accessed: 15.04.2022).
- Karimipour, H., Mojtahedi, M. and Azari Dehkordi, F. (2015), 'Introduction to a Quantitative Method for Assessment of Visual Impacts of Tehran Towers', *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 6(6), pp. 132–139.
- Kolbe, T.H. (2009), 'Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML', [in:] Lee, J. and Zlatanova, S. (eds.), *3D Geo-Information Sciences*, Heidelberg: Springer Berlin, pp. 15–31. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-540-87395-2_2 (accessed: 15.04.2022).
- Lopes, A.S. et al. (2019), 'Assessment of Urban Cultural-Heritage Protection Zones Using a Co-Visibility-Analysis Tool', *Computers, Environment and Urban Systems*, 76, pp. 139–149. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb-sys.2019.04.009> (accessed: 15.04.2022).
- Mohseni, F., Lotfi, S. and Sholeh, M. (2020), 'Proposing an Adapted Visibility Analysis Methodology for the Building Height Codes of the Shiraz Development Plan', *Sustainable Cities and Society*, 61, 102347. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102347> (accessed: 15.04.2022).
- O'ahel', J. et al. (2018), 'Visibility and Perception Analysis of City Monuments: The Case of Bratislava City Centre (Slovakia)', *Moravian Geographical Reports*, 26(1),

- pp. 55–68. Available at: <http://doi.org/10.2478/mgr-2018-0005> (accessed: 15.04.2022).
- Ozimek, A. (2019), *Miara krajobrazu. Obiektywizacja oceny widoków i panoram wspomagana narzędziami komputerowymi*, Kraków: Wydawnictwo PK.
- Pardo García, S. and Mérida Rodríguez, M. (2015), ‘A Geospatial Indicator for Assessing Urban Panoramic Views’, *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, pp. 42–53. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.09.005> (accessed: 15.04.2022).
- Puspitasari, A.W. and Kwon, J. (2020), ‘Comparison of Spatial Layout of Tall Buildings Clustered in Circular, Rectangular, and Linear Geographical Areas and Impact on Skyline’, *Buildings*, 10(4), 64. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings10040064> (accessed: 15.04.2022).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (2002), Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
- Rubinowicz, P. (2017), ‘Generation of CityGML LoD1 City Models Using BDOT10K and LiDAR Data’ = ‘Twożenie modeli miast CityGML LoD1 z użyciem danych BDOT10K oraz LiDAR’, *Space & Form = Przestrzeń i Forma*, 31, pp. 61–74. Available at: <http://doi.org/10.21005/pif.2017.31.A-03> (accessed: 15.04.2022).
- Rubinowicz, P. (2019), ‘Protection of the Waterfront Panoramas Based on Computational 3D-Analysis’, *Proceedings of the 37th eCAADe / SIGraDi Conference*, Porto, vol. 3, pp. 325–332.
- Rubinowicz, P. (2020), ‘Sustainable Development of a Cityscape Using the Visual Protection Surface Method – Optimization of Parameters for Urban Planning’, [in:] Holzer, D. et al. (eds.), *RE: Anthropocene: Proceedings of the 25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA, vol. 1*, Hong Kong: CAADRIA, pp. 863–872.
- Rubinowicz, P. and Czyńska, K. (2015), ‘Study of City Landscape Heritage Using LiDAR Data and 3D-City Models’, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, pp. 1395–1402. Available at: <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1395-2015> (accessed: 15.04.2022).
- Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Szczecin (2022), Uchwała Nr XXXIX/1061/22 Rady Miasta Szczecin z dnia 26 kwietnia 2022 r.
- Tabik, S., Zapata, E. and Romero, L. (2013), ‘Simultaneous Computation of Total Viewshed on Large High Resolution Grids’, *International Journal of Geographical Information Science*, 27(4), pp. 804–814. Available at: <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.677538> (accessed: 15.04.2022).