

**URBAN DESIGN
AND SPATIAL PLANNING**

URBANISTYKA
I PLANOWANIE PRZESTRZENNE

KLARA CZYŃSKA

DSc PhD Eng. Arch., university professor
West Pomeranian University of Technology in Szczecin
Faculty of Architecture
e-mail: kczyńska@zut.edu.pl
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3855-6736>

PAWEŁ RUBINOWICZ

DSc PhD Eng. Arch., university professor
West Pomeranian University of Technology in Szczecin
Faculty of Architecture
e-mail: pawel@rubinowicz.com.pl
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0377-272X>

WALDEMAR MARZEŃKI

Prof. DSc PhD Eng. Arch.
University of Zielona Góra
Faculty of Construction, Architecture and Environmental Engineering
e-mail: marzecki@post.pl
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1192-9064>

IMPACT OF A PLANNED TALL BUILDING ON THE HISTORICAL CITYSCAPE: A STUDY BASED ON THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNIQUES — THE EXAMPLE OF TORUŃ

BADANIE WPŁYWU PLANOWANEGO OBIEKTU WYSOKOŚCIOWEGO
NA KRAJOBRAZ MIASTA HISTORYCZNEGO Z ZASTOSOWANIEM
TECHNIK CYFROWYCH — PRZYKŁAD TORUNIA

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the applicability of digital landscape analysis techniques to evaluate the impact of new high-rise buildings on a historical city structure based on a UNESCO-listed medieval layout. The research focused on the city of Toruń, Poland, and its UNESCO-listed historical centre. A new high-rise building has been planned opposite the Old Town, on the other side of the River Vistula beyond the Kępa Bazarowa forest. This paper presents multi-faceted simulations and the impact of the building on the cityscape of Toruń. The study used LiDAR scanning data and methods dedicated to cityscape analysis, in particular Visual Impact Size (VIS). As a result, a map of the building's visual impact on the city was produced, on the basis of which viewpoints were identified, which were subjected to further simulations. They considered such aspects as the variants of the height and form of the building, as well as its sun exposure and the facade finishing material. This research is part of a study commissioned by the project owner for the planned building. The study was presented to the City Council and the Voivodeship Monument Conservation Council. All analyses and simulations discussed in this paper are original and were developed in original C++ software. However, similar simulations can also be carried out with the use of other GIS tools.

Keywords: cultural heritage, UNESCO, VIS method, high-rise building in Toruń, cityscape protection, 3D city model



STRESZCZENIE

Celem badań jest ocena możliwości aplikacji techniki cyfrowej analizy krajobrazu dla potrzeb oceny wpływu nowych budynków wysokościowych na strukturę miasta historycznego, zbudowanego na układzie średnio-wiecznym, objętym ochroną UNESCO. Omawiane badania zostały przeprowadzone na przykładzie Torunia (Polska), którego historyczne centrum jest wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO. Naprzeciw toruńskiej starówki, po drugiej stronie Wisły, oddzielonej przez kompleks leśny Kępy Bazarowej, planowany jest nowy obiekt wysokościowy. W artykule przedstawiono wieloaspektowe symulacje oddziaływania tego budynku na krajobraz Torunia. W badaniach wykorzystano dane ze skaningu LiDAR oraz dedykowane analizom krajobrazowym metody, w szczególności Visual Impact Size (VIS). W rezultacie otrzymano mapę oddziaływania wizualnego budynku w skali miasta, na podstawie której określono miejsca widokowe, które poddano dalszym symulacjom. Uwzględniały one takie aspekty jak wariantowość wysokości i formy budynku, a także jego nasłonecznienie i materiał wykończeniowy elewacji. Omawiane badania stanowią element Studium zamówionego przez inwestora planowanego obiektu. Studium było prezentowane na posiedzeniu Rady Miasta oraz na forum Wojewódzkiej Rady Ochrony Zabytków. Wszystkie analizy i symulacje ujęte w artykule zostały opracowane przez autorów, z wykorzystaniem programów komputerowych w języku C++. Jednakże podobne symulacje mogą być prowadzone także z użyciem innych narzędzi GIS.

Słowa kluczowe: dziedzictwo kulturowe, UNESCO, metoda VIS, budynek wysokościowy w Toruniu, ochrona krajobrazu miejskiego, model 3D miasta

1. INTRODUCTION

Basis for the study

To adequately ensure the harmonious development of our surrounding environment, we always need to plan ahead. The principles of sustainable cityscape development focus our attention on the need to combine modern aspirations in the transformation of existing space and the preservation of cultural and natural heritage (Höftberger, 2023; Eliasson et al., 2022). Particular care is required in areas that are of significant value. Undoubtedly, this also applies to UNESCO World Heritage Sites. The construction of new buildings in the immediate vicinity of such sites should be preceded by an in-depth, multi-faceted analysis of conditions with the aim to establish relevant guidelines.

In 2011, the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) published guidelines regarding procedures for assessing the impact of planned buildings on the heritage of the world's cultural assets, the so-called Heritage Impact Assessment (HIA). According to ICOMOS, the greatest threats to unique, universal values of heritage are posed by large infrastructure projects and tall buildings (ICOMOS, 2009, p. 39). This is because they are the most prominent buildings in space, often visible for miles around (Van der Hoeven and Nijhuis, 2012; Czyńska and Rubinowicz, 2017). They can therefore cause the degradation of valuable landscape assets (Kuçak Toprak, 2020; Seyedashrafi et al., 2017). There are many well-known examples of historical buildings adversely affected by tall buildings. High-rise buildings appear in the background of important vistas: in Istanbul behind the iconic Hagia Sophia (Süyük Makaklı and Özker, 2017), in London they disrupt the integrity of St Paul's Cathedral (Czyńska, 2018), in Paris they destroy the

symmetry of one of the city's major composition axes (Hollister, 2013), and in Vienna they compete along the axial skyline of the Belvedere (Ashrafi, Kloos and Neugebauer, 2021; Heritage at risk 2016–2020).

The development of technology, most notably urban imaging techniques and analytical tools, offers the possibility to better monitor the future impact of new buildings on historical cityscapes. New research methods are being developed to enhance the diagnostic capability and assess consequences of planned changes. They also facilitate their verification and help to develop the most appropriate design solutions (Patiwael, Groote and Vanclay, 2019; Samavatekbatan, Gholami and Karimimoshaver, 2016; Xixiao et al., 2022). The methodology presented in this paper on visual impact studies is part of this trend.

Research objective and methodology

The aim of the research is to evaluate the visual impact of a planned high-rise building on the historical cityscape in Toruń. The paper presents digital cityscape analysis methods discussed in detail in particular chapters. In general, the research included the following: analysis of the structure of building height and land configuration, analysis of the visual impact of the project using the Visual Impact Size (VIS) method, identification of strategic vistas, and the simulation of the impact the new building has on the cityscape along key vistas. The methodology used is based on specialist, proprietary research methods that have also been used in cityscape analyses in several cities in Poland (including Szczecin, Gdańsk, Warsaw, Lublin, Wrocław, and Katowice). It is based on the use of a three-dimensional model built on a point cloud (DSM model). Although the described methodology is universal and can be used for other cities, the case

of Toruń is special because of the UNESCO protection and the link between its medieval structure and open natural cityscape.

2. METHODS AND MATERIALS

Visual Impact Size (VIS) method

The VIS method played a key role in the implementation of the study, in particular the verification of the impact the planned tall building had on the cityscape in Toruń. The method helped to visualize the extent of the impact (viewshed) and the dominance of the building in space. This took into account both the height of the building and the complex geometry of the city (Czyńska, 2015).¹ The simulation led to the development of a map that showed all exposure points of the building. It illustrated the actual aggregate impact of the project on the cityscape (in strictly geometric terms) and then enabled the delimitation of relevant zones in which the building could be seen.

The VIS map is an essential tool for determining the location of the most significant views, or strategic vistas, of a planned development. These typically depict the most important, sensitive spatial contexts in which a building will appear. The selection of strategic vistas is based on field surveys, and VIS simulations are an essential tool for guiding these surveys. The aim is to identify possible landscape distortion after the building is erected. Additionally, views where the planned high-rise building is likely to create new spatial values, e.g., as a landmark or termination of the axis, are also important. The city's image, aesthetics of the surroundings and the accessibility of the site are also taken into account during the valuation of viewpoints.

Exposure simulation using height lines

The strategic views are subject to simulations to present a simplified shape of the planned facility in the landscape. 3D visualizations are generated based on geographical coordinates and parameters taken from photographs. In addition to a rectangular solid, the visualization also includes a height ruler, which helps

to visualize different heights of the building. It is also possible to estimate the so-called Lower Visibility Threshold (LVT), i.e., the level above which the surveyed facility can be seen. The exact LVT value is calculated for each point in the VIS analysis. It is determined for the axis between the viewpoint and the geometric centre of a tall building. Examples of simulations using a height ruler are presented later in the article.

3D model of the city

A Digital Surface Model (DSM) was used for analyses described above. This type of a 3D model, created by processing a LiDAR point cloud, contains all landscape components, such as buildings, tall greenery, bridges and overpasses, mapped with equal accuracy (for each component). This is very important for visual impact analyses, as it can significantly affect the visibility of buildings in space (Rubinowicz, 2023).

The Toruń-based research uses digital resources that are generally available in Poland. These consist of 2012 and 2018 DSM models with a grid resolution of 50 cm and orthophotomaps developed in 2012, 2018 and 2019. The most accurate map reflects the space with an accuracy of 7 cm per pixel. The maximum area for which analyses were carried out is 260 km², and it extends beyond the administrative area of Toruń.

All visualizations and analyses presented in the article are made using software developed at the West Pomeranian University of Technology in Szczecin (Rubinowicz, 2017). It allows editing, processing and application of a city model in the form of a point cloud to provide landscape analyses, including VIS.

3. CASE STUDY — TORUŃ

Landscape impact study

The research methodology described above was used to verify the visual impact of the planned tall building on the landscape of Toruń. Based on the request from a private project owner in 2020, the authors developed the 'Cityscape impact study for a building planned at Dybowskiej Street in Toruń'. It was supposed to serve as auxiliary analytical material to support opinions on the height limits for buildings to be included in the local spatial development plan. The developer wanted to trigger a substantive discussion with city authorities and the Voivodeship Monument Conservator. The study was to provide a comprehensive presentation of advantages and disadvantages of a high-rise building and guidelines regarding the shape of the building. Due to the special qualities of Toruń's historical cityscape, listed as a UNESCO World Heritage Site, this task was extremely demanding and responsible.

¹ In the VIS method, for each point in the city, a height ceiling is set, from which the tested building will be visible (the geometric visibility of a pair of points is analysed). A building is typically represented by a single control point that defines the centre of its location. The form (shape) of the object is not important. However, in the case of very wide buildings or their complexes, a larger number of control points are used in the analysis to more precisely reflect the volume under study. This has been described in publications e.g., on the example of the Hanza Tower skyscraper (Czyńska, 2018). Building parameters such as: colour, façade texture, type of finial, etc. are not taken into account in the VIS analysis, but are subject to further simulations described in the following sections.

Location of the building in the cityscape and urban structure

Toruń was inscribed onto the UNESCO World Heritage List in 1997. Thus the well-preserved medieval complex of the Old Town started to be strictly protected. An area of intermediate protection, or a buffer zone of the historical centre, was established around the Old Town (Ill. 1). The justification for the UNESCO listing defined the buffer zone as being sufficient to protect the historical foundations and, among other things, protect its views from the river foreground. Although the listing defined protected scenic exposures, most of them have been significantly altered (after 1997). This was mainly due to buildings developed in the foregrounds, as well as uncontrolled growth of greenery. Today, the only fully preserved and widely recognized image of the Toruń historical cityscape is the view from the south bank of the River Vistula. It shows the most important dominant features of the city and relics of medieval fortifications (Ill. 2).

The new tall building (Toruń Tower) was to be located just outside the buffer zone in the southern part of the city. The project site is separated from the river by the Kępa Bazarowa nature reserve with high trees. To the south, the area borders a railway station. Although the proposed tall building had no direct contact with the Old Town area, there was a visual link between the two due to the sheer height of the building (approximately 85 m). Although the areas were separated by the river and the dense vegetation of the Kępa Bazarowa reserve, the planned high-rise building was to extend above the treetops to complement an attractive view of the Old Town. This meant a visual interference with the exposure from the UNESCO zone to the unspoiled natural landscape on the other side of the River Vistula.

Organisation and methodology of research

The analytical effort described in the article was divided into several stages: a) preparation of digital materials, b) preliminary analyses of the morphology and cityscape, c) visual impact studies using the VIS method, d) field studies, e) simulations of view exposures, and f) formulation of conclusions from the analyses and guidelines for building design. Due to the limited volume of the article, the outline of the study presents the most relevant aspects only.

The most important phase included a study of the visual impact using the VIS method. The analysis covered two ranges: a) the entire study area (260 km²) on a 100 × 100 cm mesh grid, and b) the area around the centre (25 km²) on a 25 × 25 cm mesh grid. The VIS map was calculated on a smooth scale with an accuracy of approximately 15 cm. However, to facilitate interpretation the result was visualized with a divi-

sion into 9 colour thresholds. The threshold sequences were adapted to specific features of the planned development as follows: 30 m, 40 m, 50 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m and 120 m. The colours reflect the clarity with which the building can be seen. The more of the building is visible from a given point, the more dominant it will potentially be in a given space. The images below show the result of the VIS analysis for the entire study area (Ill. 3) and for the Old Town and the riverfront (Ill. 4).

In the next stage, based on the VIS analysis, strategic views of the planned building were selected during a field survey and a photographic documentation containing the exact coordinates of the viewpoints was developed. Observations helped to determine distance and the relationship to the centre, and a representative group of views was identified, covering various forms of exposure of the planned building. The views examined, included those from historical areas of the city, as well as other areas to present the building in a broad cityscape. A total of 21 strategic eye-level views were further analysed. These were divided into three groups, i.e., those associated with the Old Town area, the area around the building in the south of the city, and the zone of distant cityscape impact.

The next analytical stage helped to develop a simulation showing the exposure of the planned building in selected strategic views. The form of the building was presented as an 85 m high cuboid (as initially planned by the developer). It was divided horizontally into 9 colours changing every 10 m. The colours corresponded to the visual impact in the VIS analysis and the size of the planned building. In addition, a height ruler was superimposed on each simulation to show other building heights (Ill. 5a). Field research, observations and the resulting conclusions guided the next phase of analytical simulations. This time, the planned building was replaced by a slender form tapered upwards and reminiscent in colour of red-brick facades of historical buildings (Ill. 5b). The form used for the simulation was not directly a proposed architectural design. Instead, it was a schematic representation of general recommendations regarding the width, slenderness and colour of the building.

Based on the analyses, conclusions and recommendations were formulated for the planned building. They referred to the location, form and height of the new building, as well as to architectural solutions for its facades. The study drew attention to the need to provide further cityscape research, perhaps at the stage of an architectural design. Detailed findings and guidelines for the development are presented in the next chapter.

4. RESULTS AND GUIDELINES

Analysis of the planned building to be developed in UNESCO protection zones

Given the need to protect the UNESCO-listed medieval cityscape, it was crucial to verify the impact of the planned high-rise building on the historical centre and its immediate surroundings. The VIS study showed that the visual impact of the new building on the right-bank part of the city was restricted to the River Vistula and its waterfront — Filadelfijski Boulevard (Ill. 4). The exposures take the form of broad panoramic views from the north, north-east or north-west. The open vista foreground meant that the new development would be visible above treetops of *Kępa Bazarowa* (Ill. 5).

The Piłsudski Bridge, which is the main inbound route leading to the centre, is an important location for the new building as it enjoys good accessibility. Looking towards the River Vistula towards the east, the Old Town is visible on one side, and on the other, above the trees, the new high-rise building emerges. This is one of the few exposures in which the planned development can be seen together with the Old Town complex. The composition balance between the brick masonry Old Town and the new dominant feature is crucial for the integrity of the view (Ill. 6a). The planned building should therefore be appropriately balanced in terms of its form, height and materials used, and obviously its contemporary architectural form.

The remaining places of exposure in this part of the city are scattered. These are relatively small areas, e.g., narrow bands of visibility in the Old Town area. The exposures from the axis of the streets leading from the Old Town towards the river form a particular group. This is a sequence of a gradual transition from the medieval, densely urbanized development to the open space of the Vistula waterfront and *Kępa Bazarowa*. This is further emphasized by the need to cross a gate in the fortification wall. The new tall building located on the other side of the River Vistula has a strong spatial relationship with the historical part of the city. It encompasses not only the dimension captured in photographs and visibility analyses, but also a wider spectrum of perception that takes into account the afterimage we have when crossing city gates. The design of the planned building should be adapted to the cityscape of Toruń in terms of its form, material used, and colour of the facade.

The exposure of the site in the southern part of the city

The areas on the south side of the River Vistula include the immediate location of the planned high-rise building. The northern and southern parts of Toruń are separated by the *Kępa Bazarowa* forest. Although

the project raises some concern, especially in relation to visual interactions with the UNESCO-listed zone, the impact of the building on the cityscape also covers southern districts of Toruń (Stawki, Podbórz, Rurak). In these areas, the new facility has the potential to enhance or disrupt the local urban composition. As expected, the VIS analysis showed the strongest visual impact of the facility in its immediate surroundings, i.e., in the area of the railway station including the track (Ill. 7a). Further away from the site, the VIS surveys showed narrow streaks of exposure penetrating into various parts of southern districts of the city (Ill. 7a). These areas were subjected to further field analyses. They identified, among other things, the axial view of the planned building at the closure of Łódzka Street, which is one of inbound routes. The view was an important element for the strengthening of the composition. The new building can be visible over several hundred metres along the axis (Ill. 7b). It could act as a landmark that integrates the local urban composition.

Exposures of the building in distant views

VIS analyses were also the basis for distinguishing zones of distant visual impact. The study was conducted within the administrative boundaries of Toruń (20 × 13 km) at a high resolution of 1.0 m. The results, especially on such a distant scale, cannot be predicted intuitively. They indicate distant links that are important especially in relation to high-rise buildings. In an open landscape, such buildings can be visible even from many kilometres away, as in the case of Sky Tower in Wrocław (Czyńska and Rubinowicz, 2017). In such a view, a tall building can contribute to new spatial values as it becomes a distinctive element, a landmark in distant skyline views of the city. Thus, the study of distant exposures put special attention to views from inbound roads and other very distant and accessible locations (e.g., bridges).

Three simulations covered distant strategic vistas: one from the Zawadzka Bridge in the east of Toruń, one from the embankment of the River Vistula west of the city centre, and the third one from the hill of a former landfill. Each of the vistas shows a slightly different picture of the building. The views from the Zawadzka Bridge and the Vistula riverbank are dominated by the natural landscape. Large clusters of trees obscure both the historical buildings and, to a large extent, the new building. In contrast, in the view from the former landfill, elements of human activity prevail. A very wide panoramic view, with production halls in the foreground and individual taller buildings in the back, can be seen from the artificial hill. However, the structure of the Old Town area can hardly be distinguished. The planned tall building would be visible but not dominate (Ill. 8).

New view of Toruń from the planned building

Ten vantage points highlighting the structure of the medieval historical centre are included in Toruń's UNESCO listing (application No. 835 of 16 July 1996). The study examined all of these views in detail. Due to the changes that have taken place in the urban structure of Toruń (mainly as part of development of these areas and through uncontrolled growth of tall greenery), most of these views no longer represent a significant value for the exposure of Old Town features. The only exception is one fully preserved view from the eastern abutment of a former historical bridge connecting the Old Town with *Kępa Bazarowa* (Ill. 2).

One of the project owner's key arguments for locating the high-rise building on the left bank side of the River Vistula was the desire to create a new, publicly accessible, vantage point at the top of the building. It would provide a broader view of the historical city centre. It would be a new strategic view, similar to one in the well-known copper engraving by Ch.D. Pietesch in 1684 and other historical pictures of the city (Toruń, 1994; Toruń and the Cities of the Chełmno Land, 1998; Krupska and Łyczak, 2013). Historic landmarks have been juxtaposed with the contemporary landscape of Toruń in Ill. 9.

The study examined the exposure of the building at different heights between 40 and 80 m above ground level. The study showed that the minimum visibility of the Old Town area and the River Vistula separating the foreground is at approximately 60 m above ground level. Below this ceiling, the tree canopy of *Kępa Bazarowa* obscures the view of the river and only a contour of historical buildings can be seen. The view from 80 m above ground level provides optimal exposure. Then, the urban structure is much more discernible, including the Old Town area, foreground of the river, and modern housing estates in the north.

The form and facade of the building

The view of the tall building depends on many factors (not directly considered in VIS analysis), including distance and lighting. These are important for the perception of the tall facility in the landscape and should be taken into account when designing the building. Lighting conditions determine the legibility of the exposure. The planned high-rise building in Dybowska Street can be best seen from the northern river bank and Piłsudski Bridge. These are accessible public areas which command a view of the building. Thus, the building can be seen for most of the day while looking towards the sun. Emphasis should be placed on the form of the building and its architecturally unique and recognizable contour.

As other scientific studies have also shown, the impact of a tall building on the landscape largely depends on the building's top structure (Samavatekbatan,

Gholami, and Karimimoshaver, 2016; Xixiao et al., 2022). The graded trimming of the building silhouette is characteristic of historical landmarks and it is also embedded in the peculiar landscape design code for the Old Town in Toruń. To fit well into the context, the designed architectural form of the building should draw on local traditions (MacCormac, 2008). Its shape with contemporary architectural expression should refer to historical forms and the building should become narrower with height. A comparison of the rectangular body of the building with a slender form tapered upwards and their interaction with the landscape is shown in Ill. 5.

Facade materials and colour are important for the Toruń cityscape identity. Brick and ceramic tiles prevail in the Old Town (Ill. 6a, c). When passing through the city gates to *Filadelfijski Boulevard*, we can also see brick elements framing the view of *Kępa Bazarowa*. This is the city's distinctive colour code. The transposition of this code, as an inspiration for shaping contemporary architectural facilities, can be seen, for example, in the *Jordanki Cultural and Congress Centre* in Toruń (designed by Fernando Menis, 2015). The colour code is clear when we isolate individual colours of the cityscape, including the green of trees and the red of historical buildings (Ill. 6b, c). Thus, to maintain visual integrity between buildings on both Vistula riverbanks, the planned building should encompass relevant solutions (Xixiao et al., 2022; Kuçak Toprak, 2020). Façade finishing materials should be matted and relate in colour to brick used in historical landmarks (Ill. 6d).

5. DISCUSSION

Significance of the study

In an effort to produce objective results, the research used contemporary digital techniques, including 3D imaging of the city with LiDAR technology and dedicated digital analytical methods, in particular the VIS method. This enabled to obtain fully measurable results that are hardly predictable intuitively. They can be compared to imaging in medicine as it provides doctors with valuable knowledge and guidelines for further actions and treatment. In a similar vein, VIS analyses do not automatically determine whether a new high-rise building should be erected. They do, however, provide valuable knowledge about the landscape impact which creates a broader basis to formulate relevant urban planning guidelines.

The study of the high-rise building in Toruń provided new knowledge for the substantive discussions between stakeholders in the planning process. They include the project owner, the City Council, and the Provincial Historical Site Conservator. Finally, based

on current findings, the need to preserve the UNESCO-listed site prevailed. The implementation of the project was put on hold. It was considered that a high-rise building visible from the Old Town area would disturb the original medieval cityscape of Toruń. It would also disturb the natural character of *Kępa Bazarowa*, which is an integral part of the Old Town buffer zone.

Methodology used and other studies

The verification of the impact a planned development has on the cityscape is quite often addressed in the scientific literature. Designing new buildings in a historical context requires a well-balanced approach. If the process ignored the cultural dimension of the cityscape, it would have a negative impact on the environment and the society (Eliasson et al., 2022; Antrop, 2005). The methodology presented in the article is largely based on a computer-aided analysis of the extent and strength of visual impact. Similar studies are based on viewshed analyses (Ren and Cao, 2021; Petrasova et al., 2018; Tabik, Zapata and Romero, 2012). The theory associated with viewshed measurement enjoys a long history (Tandy, 1967; Felleman, 1986; Bishop, 2003). The study of urban structures develops digital techniques related to the viewshed of multiple points in space (e.g., group of tall buildings), the so-called multiple viewshed (Wang and Dou, 2020), and the cumulative viewshed, which shows where viewsheds overlap (Chen and Chen, 2021; Wheatley, 1995). This helps to verify where we have a correlation between planned and historical buildings in an urban space. Such studies covered, for example, Moscow (Akrishtiniy and Dikova, 2018) and Katowice (Czyńska, 2020).

Karimimoshaver and Winkemann (2018) and others have also verified the impact of a tall building on the cityscape using other methods. They analysed three existing high-rise buildings in Frankfurt in terms of their aesthetics, visibility, and a symbolic dimension. A survey among observers was also conducted by Samavatekbatan, Gholami and Karimimoshaver (2016). They obtained interesting results regarding preferences regarding height, crowing and colour of tall buildings. Similar observations were recorded by Xixiao et al. (2022) by analysing different development scenarios for a vicinity of a valuable architectural monument in the Xi'an City, China.

The examples show that in the cityscape the role of a tall building, as an object of significant visual impact, should be carefully examined through a multi-faceted approach. The VIS-based methodology presented in this paper and simulations have proven that the method is useful in a real planning process. The presented results are of an application nature and can be a model example of how to design high-rise buildings in a way that respects the historical land-

scape. In the case of the analysed building in Toruń, the guidelines for the protection of the world heritage, which is the medieval Old Town complex, are of overriding importance.

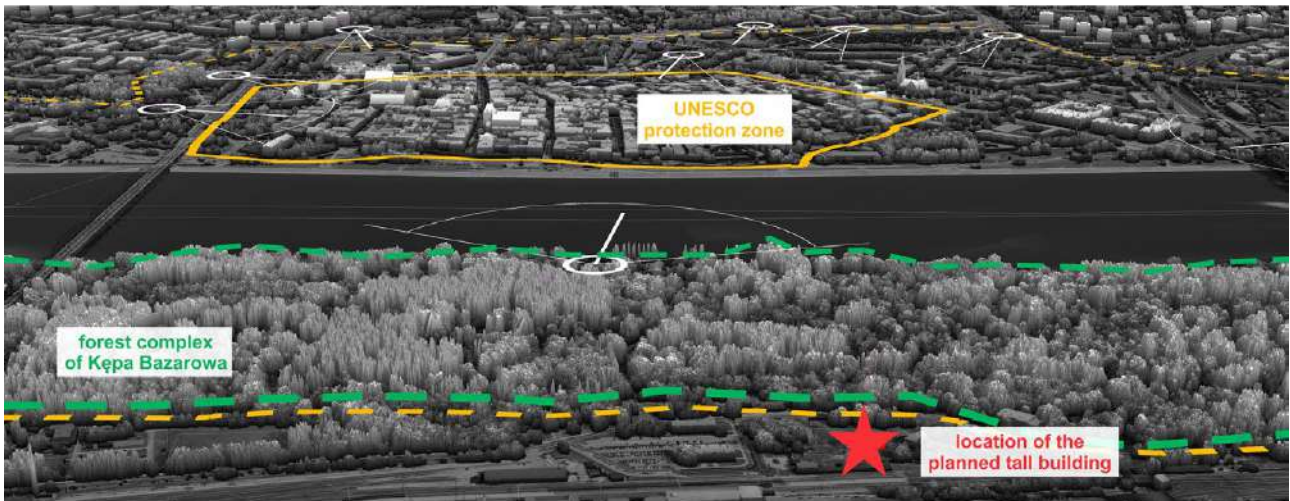
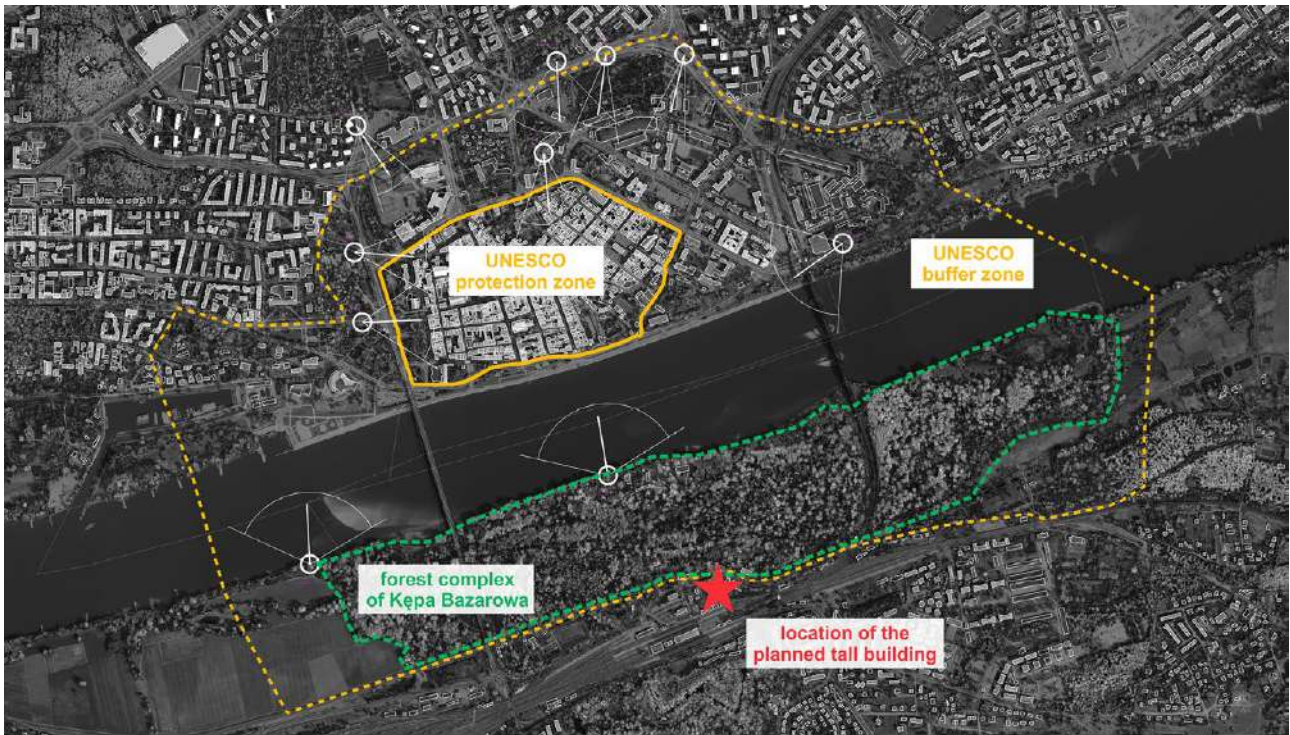
6. CONCLUSION

This study of the visual impact of the building planned at Dybowska Street in Toruń, the first high-rise building in the city, was aimed at a comprehensive and multi-faceted assessment of the impact on the cultural landscape. The study took into account aspects related to the UNESCO listing and the need to preserve the integrity of the medieval structure in Toruń. It also covered interactions with the natural landscape of *Kępa Bazarowa*, above which the new building could be seen.

The study applied digital landscape analysis techniques that use LiDAR scanning data and other dedicated analytical methods. The methodology presented includes: a) VIS analyses of the extent and strength of impact, b) field surveys to identify strategic vistas c) simulations of strategic vistas of the planned high-rise building in its different forms using the height lines method, d) simulations of the new panorama of the city seen from the planned terrace at the top of the building, e) studies of the exposure to the sun, colour and the selection of finishing facade materials that fit into the individual architectural and urban context of the city.

The VIS analysis delineated all potential exposure sites for the new tall building. This provided guidelines for the field research to check for possible distortion of the valuable cityscape. The use of digital techniques ensured objective results and significantly broadened the basis to formulate city planning guidelines. The study was presented to the City Council, the Provincial Historic Site Conservation Council, as well as to the project owner and architects. As a result of the process, the project was put on hold. However, regardless of the effect of the project process, the has extended knowledge about the impact of tall buildings on the cityscape. All analyses and simulations discussed in the article were developed by the authors using original C++ software. However, similar simulations can also be carried out with the use of other GIS tools.

Further research works in relation to the undertaken topic will be aimed at a detailed verification of the impact of trees in *Kępa Bazarowa* on the exposure of the Old Town from the planned tall building. DSM models created on the basis of LiDAR scanning data from 2012 and 2018 will be analysed. The aim of the research will be to check whether the trees are still in the growth phase and may obscure the landscape exposure, and thus reduce the visibility of the designed high-rise building. This was one aspect of the ongoing debate that required objective verification.



III. 1. The Toruń UNESCO protection zone, UNESCO buffer zone, dense forest complex of Kępa Bazarowa, and the location of the planned tall building outside the buffer zone.

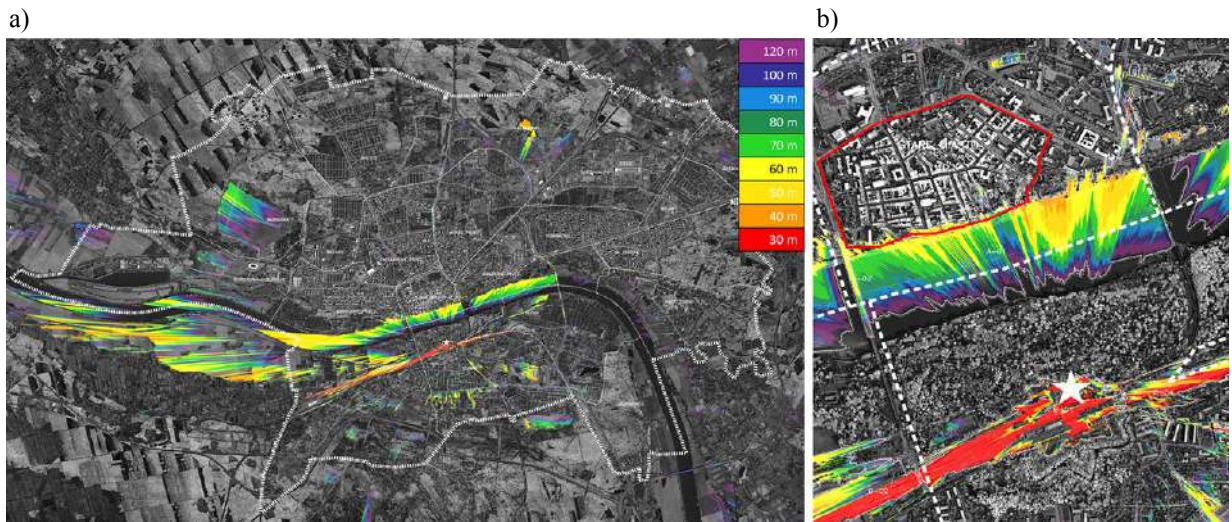
II. 1. Plan Torunia z oznaczeniem strefy ochrony UNESCO, strefy buforowej UNESCO, zwartego kompleksu leśnego Kępy Bazarowej oraz lokalizacji planowanego obiektu wysokościowego.

Source/Źródło: Authors.



III. 2. Panorama of the Old Town in Toruń seen from the opposite bank of the River Vistula. Photo: Authors.

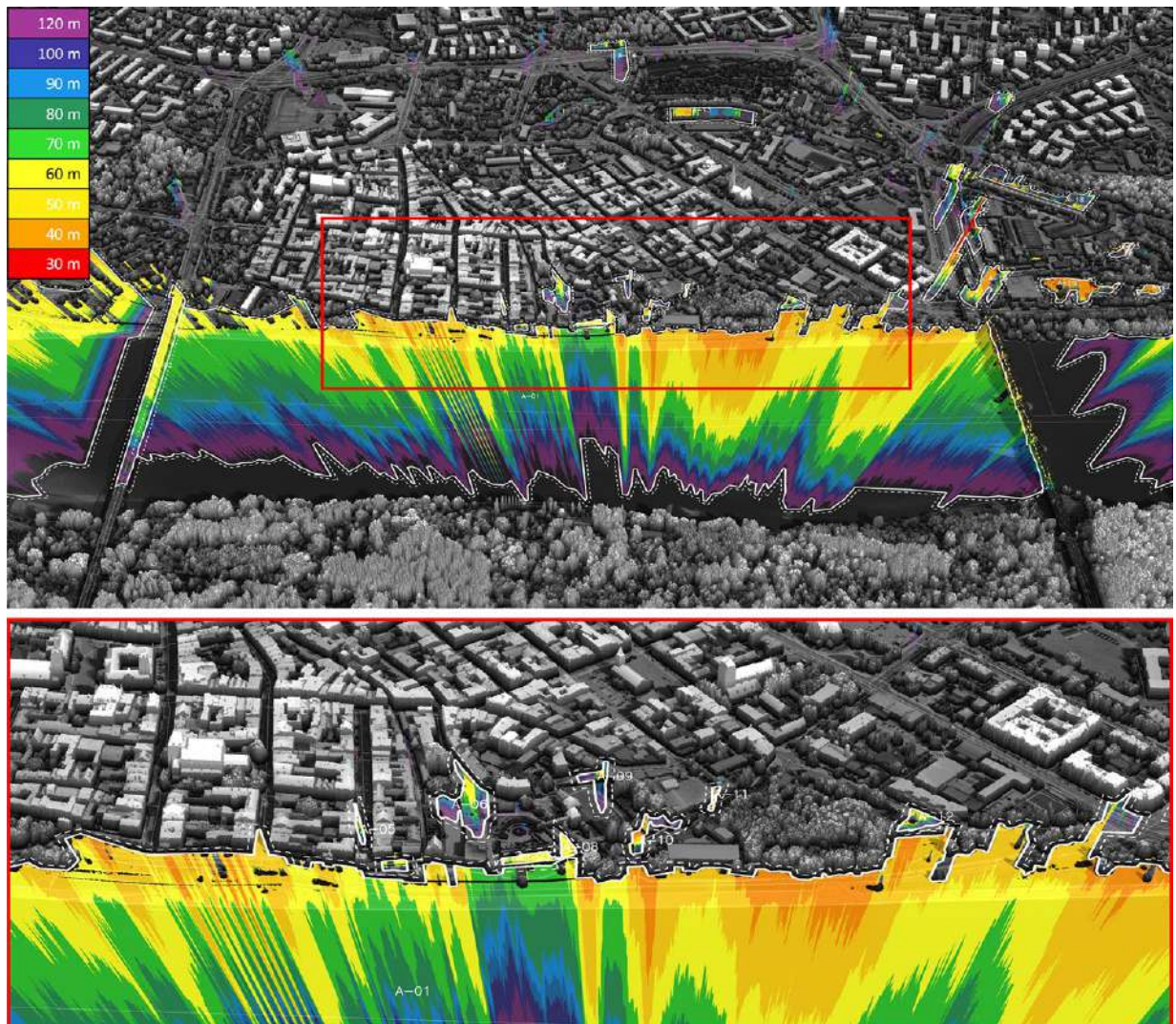
II. 2. Panorama obszaru staromiejskiego Torunia z przeciwległego brzegu Wisły. Fot. Autorzy.



III. 3. VIS analysis map: a) the entire study area 20×13 km, b) close-up of the city centre with the Old Town area.

II. 3. Mapa wynikowa analizy VIS: a) dla całego obszaru opracowania 20×13 km, b) zbliżenie na centrum miasta z oznaczeniem obszaru staromiejskiego.

Source/Źródło: Authors.



III. 4. 3D model of Toruń showing the result of the VIS analysis for the right-bank part of the city.

II. 4. Model 3D Torunia z pokazaniem wyniku analizy VIS dla prawobrzeżnej części miasta.

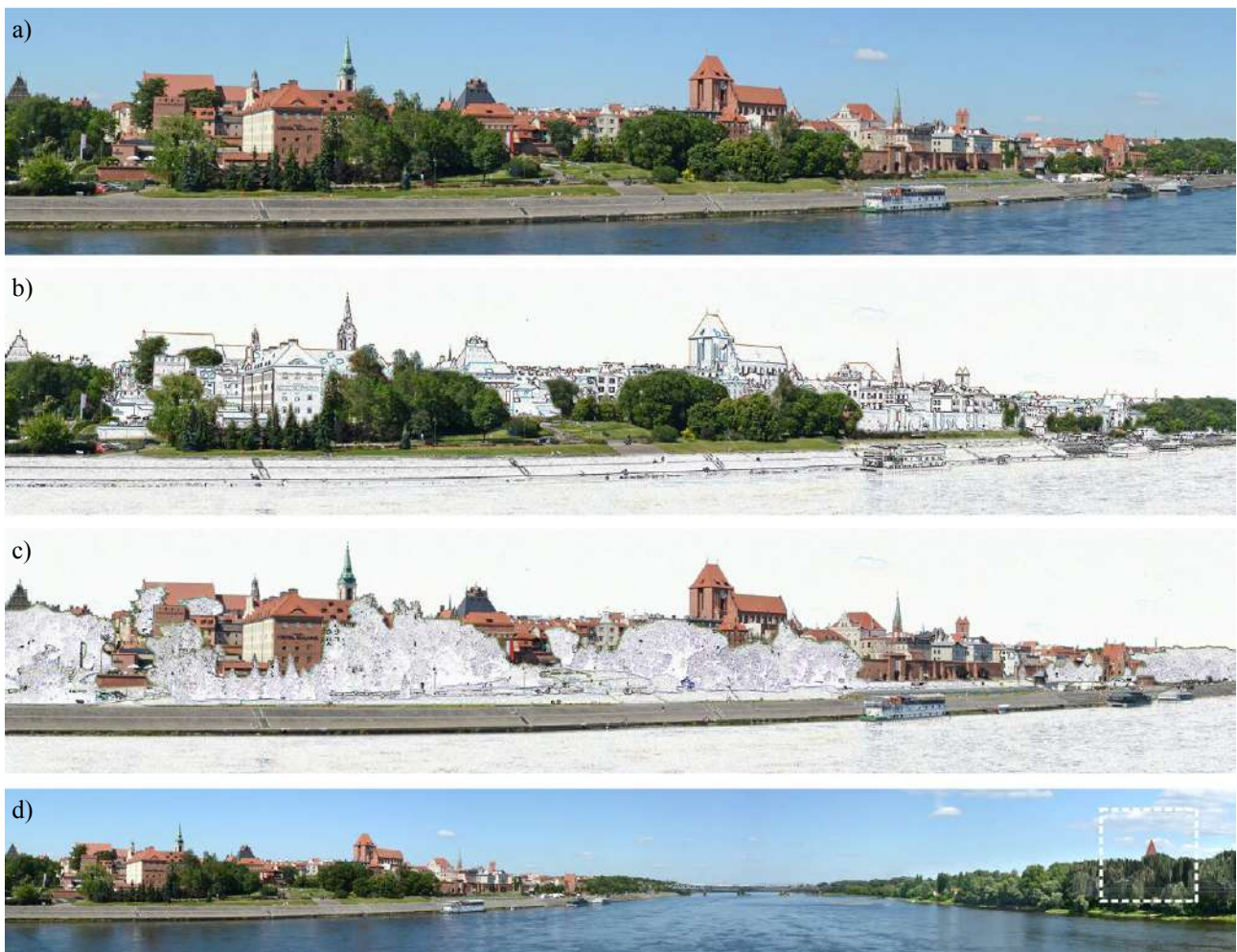
Source/Źródło: Authors.



Ill. 5. Panorama showing the planned tall building in the wider cityscape. Different forms of the planned building were used in the simulations: a) rectangular form of 85 m, b) form that becomes slimmer with its height (block height of 100 m).

Il. 5. Panorama obrazująca planowany obiekt wysoki w szerszym krajobrazie. W symulacjach zastosowano różne bryły planowanego budynku: a) forma prostokątna o wysokości 85 m, b) forma wysmuklająca się wraz z wysokością (wysokość bryły 100 m).

Source/Źródło: Authors.



Ill. 6. Colour grading of the city panorama based on views from Piłsudski Bridge: a) panoramic view covering the Old Town; b) greenery along the Filadelfijski Boulevard; c) brick, ceramic facades in the cityscape; d) panoramic view with planned building — its form becomes slimmer with its height.

Il. 6. Rozwarstwienie kolorystyczne panoramy miasta na przykładzie widoku z mostu Piłsudskiego: a) kadr panoramy obejmujący Stare Miasto; b) zieleń wzdłuż bulwaru Filadelfijskiego; c) ceglane, ceramiczne elewacje w krajobrazie; d) symulacja wieżowca o wysokości 100 m i smukłej formie.

Source/Źródło: Authors.



III. 7. Visual impact of the planned building in the southern part of the city: a), b) 3D model of the city with VIS analysis, c) simulation of the view from Łódzka Street using a height ruler.

II. 7. Oddziaływanie wizualne planowanego budynku w południowej części miasta: a), b) model 3D miasta z analizą VIS, c) symulacja widoku z ulicy Łódzkiej z zastosowaniem linijki wysokości.

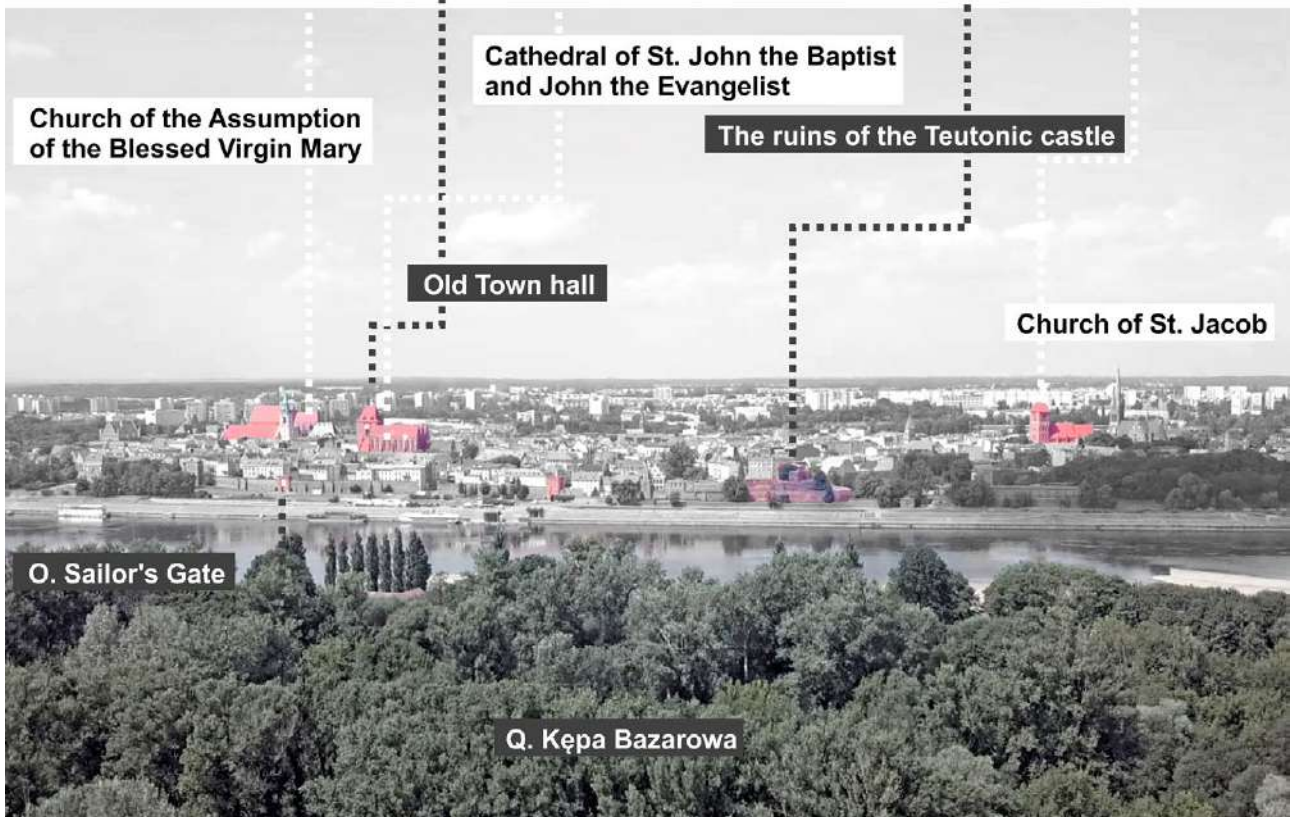
Source/Źródło: Authors.



III. 8. View from the hill of the former landfill in the northern part of the city.

II. 8. Widok ze wzgórza nieczynnego wysypiska odpadów na północy miasta.

Source/Źródło: Authors.



Ill. 9. Preserved elements of Toruń's cityscape: a panorama by Ch.D. Pietesch of 1684 and a contemporary view of Toruń that will be exposed from the planned viewing terrace.

Il. 9. Zestawienie zachowanych elementów krajobrazu Torunia — panorama Ch.D. Pietescha z 1684 roku ze współczesnym widokiem Torunia, który będzie eksponowany z planowanego tarasu widokowego.

Source/Źródło: Authors.

1. WPROWADZENIE

Potrzeba badań

Dbałość o harmonijne kształtowanie otaczającego nas środowiska zawsze wymaga przemyślanych działań. Zasady trwałego i zrównoważonego rozwoju krajobrazu podkreślają zarówno potrzebę realizacji współczesnych aspiracji w przekształcaniu zastanej przestrzeni, jak również konieczność troski o zachowanie dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego (Höftberger, 2023; Eliasson i in., 2022). Szczególnej dbałości wymagają obszary charakteryzujące się walorami najwyższej próby. Takie są bez wątpienia zespoły urbanistyczne wpisane na listę światowego dziedzictwa UNESCO. Lokalizacja nowej zabudowy w ich bezpośrednim sąsiedztwie powinna być poprzedzona pogłębioną, wieloaspektową analizą uwzględniającą, zmierzającą do ustalenia wytycznych jej kształtowania.

W 2011 roku International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) opublikował wytyczne dotyczące procedur oceny oddziaływania planowanych inwestycji na dziedzictwo światowych dóbr kultury, tzw. Heritage Impact Assessment (HIA). Zdaniem ICOMOS-u największe zagrożenia dla wyjątkowych, uniwersalnych wartości dziedzictwa niosą za sobą duże projekty infrastrukturalne oraz obiekty wysokie (ICOMOS, 2009, s. 39). Są one bowiem budynkami najbardziej wyróżniającymi się w przestrzeni, często widocznymi w perspektywie wielu kilometrów (van der Hoeven, Nijhuis, 2012; Czyńska, Rubinowicz, 2017). Mogą więc powodować degradację cennych walorów krajobrazu (Kućak Toprak, 2020; Seyedsrafi i in., 2017). Jest wiele bardzo znanych przykładów niekorzystnego oddziaływania zabudowy wysokiej na obiekty historyczne. Budynki wysokie pojawiają się w tle ważnych ekspozycji: w Istambule — za ikoniczną Hagią Sofią (Süyük Makaklı, Özker, 2017), w Londynie zakłócają integralność katedry św. Pawła (Czyńska, 2018), w Paryżu burzą symetrię jednej z ważniejszych osi kompozycyjnych miasta (Hollister, 2013), w Wiedniu konkurują w osiowej panoramie Belwederu (Ashrafi, Kloos, Neugebauer, 2021; *Heritage at risk*, 2020).

Rozwój technik obrazowania przestrzeni miejskiej oraz narzędzi analitycznych daje możliwość lepszego monitoringu przyszłego wpływu nowych inwestycji na krajobrazy historycznych miast. Na gruncie nauki stale wypracowywane są nowe metody badawcze, pozwalające na lepsze diagnozowanie konsekwencji planowanych zmian, ich weryfikację, jak też opracowanie najlepszych, najbardziej dopasowanych rozwiązań projektowych (Patiwael, Groot, Vanclay, 2019; Samavatekbatan, Gholami, Karimimoshaver, 2016; Xixiao i in., 2022).

Przedstawiona w niniejszym artykule metodologia dotycząca badania oddziaływania wizualnego wpisuje się ten nurt.

Cel badań i metodologia

Celem przedstawionych badań jest ewaluacja wpływu wizualnego planowanego obiektu wysokościowego na historyczny krajobraz, na przykładzie Torunia. W artykule przedstawiono metody cyfrowej analizy krajobrazu, omówione szczegółowo w kolejnych rozdziałach. W ogólnym ujęciu badania obejmowały: analizy struktury wysokości istniejącej zabudowy i ukształtowania terenu, analizy oddziaływania wizualnego planowanej inwestycji opracowane metodą Visual Impact Size (VIS), identyfikację widoków strategicznych, symulację wpływu nowego budynku na krajobraz miejski w kluczowych widokach.

Zastosowana metodologia jest oparta na specjalistycznych, autorskich metodach badawczych, które wykorzystano także w analizach krajobrazowych kilku innych miast w Polsce (m.in. Szczecina, Gdańsk, Warszawa, Lublina, Wrocławia i Katowic). Bazuje ona na wykorzystaniu trójwymiarowego modelu, zbudowanego na bazie chmury punktów (model DSM). Choć opisana metodologia jest uniwersalna i może być wykorzystana dla innych miast, to przypadek Torunia jest szczególny z uwagi ochronę UNESCO oraz powiązanie struktury średniowiecznej z otwartym naturalnym krajobrazem.

2. METODY I MATERIAŁY

Metoda Visual Impact Size (VIS)

Kluczową rolę w realizacji badań, dotyczących weryfikacji wpływu planowanego obiektu wysokościowego na krajobraz Torunia, miała metoda VIS. Umożliwiła ona zobrazowanie zasięgu oddziaływania wizualnego (tzw. *viewshed*) oraz siły dominacji badanego budynku w przestrzeni, uwzględniając zarówno jego planowaną wysokość, jak i złożoną geometrię miasta (Czyńska, 2015)². Efektem symulacji jest mapa, na której wi-

² W badaniu VIS dla każdego punktu w mieście wyznaczany jest pułap wysokości, od którego badany obiekt będzie 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, ale są przedmiotem dalszych symulacji opisanych w kolejnych rozdziałach.

doczne są wszystkie miejsca ekspozycji planowanego wieżowca. Obrazuje ona rzeczywiste, sumaryczne oddziaływanie inwestycji na krajobraz miasta (w ujęciu stricte geometrycznym) i następnie umożliwia delimitację odpowiednich stref widokowych.

Mapa wynikowa VIS jest podstawowym narzędziem dla wyznaczenia lokalizacji najistotniejszych widoków na planowaną inwestycję, określonych jako strategiczne. Obrazują one zazwyczaj najważniejsze, najbardziej wrażliwe konteksty przestrzenne, w których pojawi się analizowany budynek. Selekcja widoków strategicznych następuje na podstawie badań terenowych, a symulacje VIS stanowią podstawowe narzędzie dla ukierunkowania tych badań. Celem jest rozpoznanie ewentualnych deformacji krajobrazowych, które powstałyby po realizacji rozpatrywanego obiektu. Ponadto istotne znaczenie mają również widoki, w których planowany wieżowiec ma szansę kreować nowe wartości przestrzenne, np. stanowić punkt orientacyjny lub zamykać oś istniejącej ulicy. Przy wartościowaniu miejsc widokowych uwzględniane jest także znaczenie dla ekspozycji wizerunku miasta, estetyka otoczenia oraz dostępność miejsca.

Symulacje ekspozycji z zastosowaniem linii wysokości

Widoki strategiczne poddawane są następnie symulacjom mierzącym do zaprezentowania uproszczonej bryły planowanego obiektu w krajobrazie. Wizualizacje generowane są w modelu 3D na bazie współrzędnych geograficznych i parametrów fotografii wykonanych w terenie. Na wizualizacji oznaczona jest, oprócz prostopadłościenną bryłę, również tzw. linijka wysokości, która umożliwia zobrazowanie innej wysokości budynku. Umożliwia również szacunkowe odczytanie tzw. Dolnego Progu Widoczności (DPW), czyli pułapu, od którego badany obiekt będzie widoczny w rozpatrywanej ekspozycji. Dokładna wartość DPW jest obliczana dla każdego punktu w analizie VIS i wyznaczana dla osi pomiędzy punktem widokowym a geometrycznym środkiem badanego obiektu wysokościowego. Przykłady symulacji z zastosowaniem liniiki wysokości przedstawiono w dalszej części artykułu.

Model 3d miasta

Do przeprowadzenia opisanych wyżej analiz zastosowano Digital Surface Model (DSM). Ten rodzaj modelu 3D, powstały w wyniku przetworzenia chmury punktów z nalołów LiDAR, zawiera wszystkie komponenty krajobrazu, takie jak: budynki, zieleni wysoką, mosty i wiadukty, odwzorowane z jednakową dokładnością (dla każdego z elementów). Ma to bardzo istotne znaczenie dla analiz oddziaływania wizualnego, gdyż w istotny sposób wpływa na wi-

doczność obiektów architektonicznych w przestrzeni (Rubinowicz, 2023).

W prezentowanych badaniach dla Torunia wykorzystano zasoby cyfrowe, które są powszechnie dostępne w Polsce. Składają się na nie modele DSM z 2012 i 2018 roku o rozdzielczości siatki 50 cm oraz ortofotomapy z lat 2012, 2018 i 2019. Najbardziej dokładna mapa odwzorowuje przestrzeń z dokładnością 7 cm na 1 piksel. Maksymalny obszar, dla którego przeprowadzono analizy to 260 km². Wykracza on poza obszar administracyjny Torunia.

Wszystkie prezentowane w artykule wizualizacje i analizy zostały opracowane z zastosowaniem oprogramowania stworzonego na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie (Rubinowicz, 2017). Umożliwia ono edycję, przetwarzanie i aplikację modelu miasta w formie chmury punktów do analiz krajobrazowych, w tym analiz VIS.

3. STUDIUM PRZYPADKU — TORUŃ

Studium oddziaływania krajobrazowego

Opisana wyżej metodologia badawcza została wykorzystana do weryfikacji wpływu wizualnego planowanego budynku wysokościowego na krajobraz Torunia. Autorzy niniejszego artykułu, na zlecenie prywatnego inwestora, w 2020 roku przygotowali opracowanie pod nazwą Studium oddziaływania krajobrazowego obiektu planowanego przy ulicy Dybowskiej w Toruniu. Miało być ono pomocniczym materiałem analitycznym wspomagającym formułowanie opinii w sprawie limitów wysokości zabudowy ujętych w przygotowywanym Miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Inwestorowi zależało na merytorycznej dyskusji z władzami miasta i wojewódzkim konserwatorem zabytków. Studium miało na celu kompleksowo zobrazować wpływ lokalizacji wieżowca oraz przedstawić wytyczne kształtowania formy budynku. Z uwagi na szczególne walory historycznego krajobrazu Torunia, wpisanego na listę światowego dziedzictwa UNESCO, zadanie to było niezwykle wymagające i odpowiedzialne.

Lokalizacja budynku w krajobrazie i strukturze miasta

Toruń został wpisany na światową listę dziedzictwa UNESCO w 1997 roku. Ścisłą ochroną objęto dobrze zachowany średniowieczny zespół Starego Miasta. Wokół niego ustanowiono obszar ochrony pośredniej, tzw. strefę buforową historycznego centrum (il. 1). W uzasadnieniu wpisu na listę UNESCO, strefę buforową określono jako wystarczającą do ochrony założenia historycznego miasta i zapewniającą jego czytelną ekspozycję, m.in. z przedpola widokowego rzeki. We wpisie określone zostały także chronione

ekspozycje widokowe, jednak większość z nich uległa (po roku 1997) znacznym deformacjom. Wynika to przede wszystkim z realizacji inwestycji na niektórych przedpolach widokowych, a także z niekontrolowanego wzrostu zieleni. Współcześnie jedyną w pełni zachowaną oraz powszechnie rozpoznawalną ekspozycją historycznego krajobrazu Torunia jest widok z południowego brzegu Wisły. Przedstawia on najważniejsze dominanty miasta oraz relikty średniowiecznych murów obronnych (il. 2).

Nowy wieżowiec (Toruń Tower) zamierzano zlokalizować tuż za granicą strefy buforowej, w południowej części miasta. Teren inwestycji od rzeki dzieli rezerwat przyrody Kępa Bazarowa, porośnięty wysokim drzewostanem. Z południa obszar graniczy z dworcem kolejowym. Choć proponowany wieżowiec nie jest położony w bezpośrednim styku z obszarem Starego Miasta, to jednak z uwagi na swoją wysokość (około 85 m) zachodzi między nimi związek wizualny. Obszary są, co prawda, rozdzielone korytem rzeki oraz gęsto zalesioną Kępą Bazarową, ale planowany budynek wysoki miał w założeniu wystawać ponad korony drzew, by zapewnić atrakcyjny widok na obszar Starego Miasta. Oznacza to ingerencję wizualną w ekspozycje ze strefy UNESCO na dziewiczy przyrodniczo krajobraz po drugiej stronie Wisły.

Organizacja i metodologia badań

Działania analityczne opisane w artykule zostały podzielone na kilka etapów:

- a) przygotowanie materiałów cyfrowych;
- b) wstępne analizy morfologii i krajobrazu miasta;
- c) badania oddziaływania wizualnego metodą VIS;
- d) badania terenowe;
- e) symulacje ekspozycji widokowych;
- f) opracowanie wniosków z analiz oraz wytycznych kształtowania budynku.

Z uwagi na ograniczoną objętość artykułu przedstawiono jedynie zarys opracowania studialnego ze wskazaniem najistotniejszych aspektów.

Najważniejszą fazą części analitycznej były badania oddziaływania wizualnego planowanego budynku z wykorzystaniem metody VIS. Analiza została przeprowadzona w dwóch zakresach:

- I. Dla całego obszaru opracowania (260 km²) — na siatce o oczkach 100 × 100 cm;
- II. Dla obszaru wokół centrum (25 km²) — na siatce o oczkach 25 × 25 cm.

Mapa VIS była wyliczana w płynnej skali kolorystycznej z dokładnością do ok. 15 cm. Jednak dla ułatwienia interpretacji wyniku został on zobrazowany z podziałem na 9 progów kolorystycznych. Sekwencje progów zostały dostosowane do specyfiki planowanej inwestycji i wynoszą kolejno: 30 m, 40 m, 50 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m oraz 120 m. Kolory odzwierciedla-

ją, z jaką siłą będzie eksponowany badany budynek. Im większa część obiektu będzie widoczna z danego punktu, tym potencjalnie będzie on bardziej dominujący w danej przestrzeni. Na ilustracjach przedstawiono wynik analizy VIS dla całego obszaru opracowania wraz ze zbliżeniem na centrum miasta (il. 3) oraz dla obszaru staromiejskiego i nabrzeża rzeki (il. 4).

W kolejnym etapie, na podstawie wyników analizy VIS, w toku badań terenowych, wyłonione zostały widoki strategiczne planowanej inwestycji i opracowana dokumentacja fotograficzna, zawierająca dokładne współrzędne punktów widokowych. Na podstawie dystansu obserwacji oraz relacji względem centrum wyodrębniono reprezentatywną grupę widoków obejmującą różne formy ekspozycji planowanej inwestycji. Wśród badanych widoków uwzględniono te z historycznych obszarów miasta, a także inne — obrazujące budynek w szerokim krajobrazie miejskim. W sumie poddano dalszej analizie 21 widoków strategicznych z poziomu człowieka. Podzielono je na trzy grupy:

- 1) widoki związane z obszarem staromiejskim;
- 2) widoki związane z obszarem wokół inwestycji na południu miasta;
- 3) widoki związane ze strefą odległego oddziaływania na krajobraz.

Następny etap działań analitycznych polegał na opracowaniu symulacji ekspozycji bryły planowanego budynku w wybranych ekspozycjach strategicznych. Formę budynku przedstawiono jako prostopadłościan o wysokości 85 m (zgodnie ze wstępnymi założeniami inwestora) podzielony poziomo na 9 kolorów zmieniających się co 10 m. Kolory odpowiadają sile oddziaływania wizualnego ujętej w analizie VIS i stanowią element pomocniczy w zobrazowaniu skali planowanego obiektu. Ponadto na każdą symulację nałożono linijkę wysokości, która umożliwia pokazanie innych, możliwych wysokości budynku (il. 5a). Badania terenowe, obserwacje i płynące z nich wnioski ukierunkowały kolejną fazę symulacji analitycznych. Tym razem prostopadłościenną bryłę planowanego budynku zastąpiono smukłą formą zwężającą się ku górze i kolorem przypominającą ceglane elewacje historycznej części miasta (il. 5b). Zastosowana do symulacji bryła nie stanowi wprost propozycji formy architektonicznej. Jest natomiast schematycznym przedstawieniem ogólnych zaleceń dotyczących szerokości, smukłości i koloru planowanego obiektu.

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano wnioski oraz zalecenia dla planowanej inwestycji. Odnosiły się one do lokalizacji, formy i wysokości nowego budynku, a także do rozwiązań architektonicznych elewacji. Opracowanie zwracało uwagę na potrzebę ponownych badań krajobrazowych, już na etapie projektu bryły budynku.

4. WYNIKI I WYTYCZNE

Analizy planowanego obiektu w strefach ochrony UNESCO

Z uwagi na potrzebę ochrony średniowiecznego krajobrazu miasta wpisanego na listę UNESCO kluczowe znaczenie miała weryfikacja oddziaływania planowanego obiektu wysokościowego z obszaru historycznego centrum i jego bezpośredniego otoczenia. Z badania metodą VIS wynika, że oddziaływanie wizualne nowego budynku w prawobrzeżnej części miasta w największym stopniu jest związane z Wisłą i jej nabrzeżem — bulwarem Filadelfijskim (il. 4). Ekspozycje mają tu charakter szerokich widoków panoramicznych z północy, północnego wschodu lub północnego zachodu. Otwarte rzeczne przedpole widokowe powodują, że nowa inwestycja będzie widoczna ponad koronami drzew Kępy Bazarowej (il. 5).

Istotnym miejscem ekspozycji obiektu, także z uwagi na jego dobrą dostępność, jest most Piłsudskiego stanowiący główną trasę wjazdową do centrum. Patrząc na Wisłę w kierunku wschodnim, po jednej stronie jest widoczne Stare Miasto, a po drugiej, ponad drzewami, wyłoni się nowy obiekt wysoki. Jest to jedna z niewielu ekspozycji, w których planowana inwestycja będzie widoczna w jednym kadrze z zespołem staromiejskim. Kluczowe dla integralności tego widoku jest zachowanie równowagi kompozycyjnej między ceglany Starym Miastem a nową dominantą (il. 6a). Planowany budynek powinien zatem być odpowiednio wyważony pod względem formy, wysokości oraz materiału, oczywiście przy zastosowaniu współczesnych środków wyrazu formy architektonicznej.

Pozostałe miejsca ekspozycji planowanego obiektu w tej części miasta mają charakter rozproszony. Są to stosunkowo niewielkie obszary, np. wąskie pasma widoczności na terenie staromiejskim. Szczególną grupę stanowią natomiast ekspozycje z osi ulic prowadzących ze Starego Miasta w kierunku rzeki. Jest to sekwencja wrażeń polegająca na stopniowym przechodzeniu ze zorganizowanego na średniowiecznym planie i gęsto zurbanizowanego obszaru w otwartą przestrzeń nabrzeża Wisły i Kępy Bazarowej. Wrażenie to jest dodatkowo podkreślone koniecznością przekraczania bram miasta w murze fortyfikacji. Nowy wysoki obiekt zlokalizowany pod drugiej stronie Wisły ma zatem duży związek przestrzenny z historyczną częścią miasta, nie tylko w wymiarze możliwym do ujęcia na fotografii i analizach widoczności, ale także obejmujący szersze spektrum percepcji, uwzględniające powidok, który mamy w pamięci przekraczając bramy miasta. Planowany obiekt powinien być zaprojektowany w taki sposób, by dostosował się zarówno pod względem formy, jak też materiału i kolorystyki elewacji do krajobrazu Torunia.

Ekspozycje obiektu w południowej części miasta

Tereny położone na południowej stronie Wisły obejmują bezpośrednio miejsce lokalizacji planowego obiektu wysokościowego. Północną i południową część Torunia oddziela kompleks leśny Kępy Bazarowej. Choć analizowana inwestycja zwraca uwagę, zwłaszcza w odniesieniu do oceny interakcji wizualnych związanych ze strefą UNESCO, to wpływ obiektu na krajobraz dotyczy także południowych dzielnic Torunia (Stawki, Podbórz, Rurak). Nowy obiekt może w tych obszarach potencjalnie wzmacniać lub też zaburzać lokalną kompozycję urbanistyczną. Analizy VIS wykazały najsilniejsze oddziaływanie wizualne obiektu w jego bezpośrednim otoczeniu, tzn. w obszarze dworca kolejowego wraz z torowiskiem (il. 7a). W dalszym dystansie od miejsca lokalizacji obiektu badania VIS wykazały wąskie smugi ekspozycji, wnioskujące w głąb różnych części południowych dzielnic miasta (il. 7a). Obszary te zostały poddane dalszym analizom terenowym, w toku których jako istotny element dla wzmacniania kompozycji wskazano m.in. osiowy widok planowanego obiektu na zamknięciu ulicy Łódzkiej, stanowiącej jedną z tras wjazdowych do miasta. Nowy budynek będzie widoczny na odcinku kilkuset metrów tej osi (il. 7b). Będzie mógł pełnić funkcję punktu orientacyjnego, krystalizującego lokalną kompozycję urbanistyczną.

Ekspozycje obiektu w widokach odległych

Analizy VIS były także podstawą dla wyodrębnienia stref odległego oddziaływania wizualnego nowej inwestycji. Badania przeprowadzono dla całego obszaru administracyjnego Torunia z niezbędnym kontekstem przestrzennym (20 × 13 km) przy wysokiej rozdzielczości wynoszącej 1 m. Wyniki VIS, zwłaszcza w tak odległej skali, są niemożliwe do intuicyjnego przewidzenia. Wskazały one odległe powiązania widokowe, istotne w odniesieniu do zabudowy wysokościowej. W otwartym krajobrazie może być ona potencjalnie silnie widoczna, nawet z wielu kilometrów, jak w przypadku wrocławskiego Sky Tower (Czyńska, Rubinowicz, 2017). W takim ujęciu wieżowiec może kreować nowe wartości przestrzenne, stając się elementem charakterystycznym — znakiem rozpoznawczym miasta w dalekich widokach sylwetowych. W badaniu odległych ekspozycji szczególną uwagę zwracano na widoki z tras wjazdowych do Torunia oraz innych, bardzo odległych i dobrze dostępnych przestrzeni (np. mostów).

W grupie odległych widoków strategicznych przeprowadzono trzy symulacje: z mostu Zawadzkiej na wschodzie Torunia, z naturalnego brzegu Wisły na zachód od centrum miasta oraz ze wzgórza dawnego wysypiska odpadów. Każdy z widoków prezentuje nieco inny obraz planowanego obiektu. Widok z mo-

stu Zawadzkiej oraz z nabrzeża Wisły to ekspozycje, w których dominuje krajobraz naturalny. Duże skupiska drzew zasłaniają zarówno zabudowę historyczną, jak i — w znacznym stopniu — analizowany obiekt. Z kolei widok z dawnego wysypiska jest zdominowany przez elementy działalności człowieka. Sztuczne wzgórze jest miejscem, z którego rozpościera się bardzo szeroka panorama, z halami produkcyjnymi na przedpolu widokowym i pojedynczymi wyższymi budynkami w głębi: historycznymi dominantami i obiektami mieszkalnymi. Nie można jednak wyróżnić w tej ekspozycji struktury obszaru staromiejskiego. Planowany obiekt wysoki będzie widoczny, ale nie zdominuje widoku (il. 8).

Nowy widok na Toruń z planowanego budynku

We wpisie Torunia na listę UNESCO (wniosek nr 835 z 16 lipca 1996 roku) ujętych jest dziesięć punktów widokowych eksponujących strukturę średniowiecznego historycznego centrum. Wszystkie te widoki zostały poddane w Studium szczegółowym analizom. Z uwagi na zmiany, jakie zaszły w strukturze Torunia (głównie w ramach zagospodarowania przedpól widokowych oraz przez niekontrolowany wzrost zieleni wysokiej), widoki te, w przeważającej części, nie przedstawiają współcześnie istotnej wartości dla ekspozycji walorów Starego Miasta. Wyjątkiem jest w pełni zachowany widok ze wschodniego przyczółka nieistniejącego już historycznego mostu łączącego Stare Miasto z Kępą Bazarową (il. 2).

Jednym z kluczowych argumentów inwestora, motywujących zasadność lokalizacji budynku wysokościowego po lewej stronie Wisły, była chęć stworzenia nowego, publicznie dostępnego punktu widokowego na szczycie obiektu. Stworzyłby on możliwość obserwacji szerszej struktury historycznego centrum miasta. Byłby to nowy widok strategiczny, zbliżony do przekazu utrwalonego m.in. na znanym miedziorycie Ch. D. Pietescha z 1684 roku i innych historycznych wizerunkach miasta (*Toruń...*, 1994; *Toruń i miasta ziemi chełmińskiej...*, 1998; Krupska, Łyczak, 2013). Poglądowe zestawienie zabytkowych dominant ze współczesnym krajobrazem Torunia przedstawiono na ilustracji (il. 9).

W Studium przeprowadzono badania przyszłej ekspozycji dla różnych pułapów wysokości — w przedziale od 40 do 80 metrów nad poziomem terenu (m n.p.t.). Z badań wynika, że minimalna wysokość, z jakiej możliwe jest obserwowanie obszaru Starego Miasta oraz przedpola widokowego Wisły to rzędna około 60 m n.p.t. Poniżej tego pułapu zadrzewienia Kępy Bazarowej zasłaniają obszar rzeki, a zabudowa historyczna widoczna jest w sposób konturowy. Widok z poziomu 80 m n.p.t. zapewnia optymalną ekspozycję. Struktura miasta jest dużo lepiej dostrze-

galna: można wyróżnić obszar staromiejski, przedpole widokowe rzeki oraz współczesne osiedla mieszkaniowe na północy.

Kształtowanie formy i elewacji budynku

Na ekspozycję planowanego obiektu wysokościowego wpływa wiele czynników (nieuwzględnianych bezpośrednio w analizie VIS), m.in. dystans obserwacji i warunki oświetleniowe. Mają one istotne znaczenia dla percepcji obiektu w krajobrazie i powinny być uwzględnione przy projektowaniu wieżowca. Warunki oświetleniowe decydują o czytelności ekspozycji. Omawiany w artykule planowany obiekt wysoki przy ulicy Dybowskiej będzie oglądany najczęściej od strony północnego nabrzeża rzeki oraz z mostu Piłsudskiego (są to dostępne przestrzenie publiczne, z których roztacza się widok na planowany obiekt). Zatem budynek będzie widoczny, przez większą część dnia, pod słońce. Należy więc w procesie projektowania formy budynku położyć nacisk na stworzenie wyjątkowego pod względem architektonicznym konturu, który powinien stać się rozpoznawalny.

Jak wykazują także inne badania naukowe, na oddziaływanie obiektu wysokościowego w krajobrazie w dużym stopniu wpływa zwieńczenie budynku (Samavatekbatan, Gholami, Karimimoshaver, 2016; Xixiao et al., 2022). Stopniowe wysmuklanie obiektu wraz ze zwiększającą się wysokością jest cechą charakterystyczną historycznych dominant. Jest również wpisane w swoisty kod kształtowania krajobrazu Starego Miasta w Toruniu. By dobrze wpisać się w kontekst, projektowana forma architektoniczna wieżowca powinna czerpać z lokalnych tradycji budowlanych (MacCormac, 2008). Jej kształt, wyrażony oczywiście językiem współczesnej architektury, powinien nawiązywać do form historycznych poprzez stopniowe zawężanie kubatury wraz z wysokością. Porównanie prostopadłościennej bryły budynku ze smukłą formą zwięzającą się ku górze i ich oddziaływanie w krajobrazie przedstawiono na ilustracji 5.

Materiał elewacyjny i kolor są istotnymi elementami tożsamości krajobrazowej Torunia. Cegła i ceramiczne dachówki dominują w wizerunku Starego Miasta (il. 6a, c). Przechodząc przez bramy miejskie na bulwar Filadelfijski widzimy również ceglane elementy kadrujące widok na Kępę Bazarową. Jest to charakterystyczny dla miasta kod kolorystyczny. Transpozycja tego kodu, jako inspiracja dla kształtowania współczesnych rozwiązań architektonicznych, jest widoczna m.in. w budynku Centrum Kulturalno-Kongresowego Jordanki w Toruniu (proj. Fernando Menis, 2015). Kod kolorystyczny Torunia jest dobrze widoczny, gdy wyizoluje się poszczególne barwy składowe krajobrazu, obejmujące zielenie drzew oraz czerwień historycznej zabudowy (il. 6b, c). Zatem, by

zachować spójność wizualną między zabudową obu brzegów Wisły, należy zastosować w planowanym budynku odpowiednie rozwiązania (Xixiao i in., 2022; Kućak Toprak, 2020). Materiały wykończeniowe elewacji powinny być matowe i nawiązywać kolorystycznie do ceglanych form dominant historycznych (il. 6d).

5. DYSKUSJA

Znaczenie badań

Dążąc do obiektywizacji wyników prezentowanych badań, dotyczących nowego obiektu wysokościowego w Toruniu, zastosowano współczesne techniki cyfrowe: obrazowanie miasta 3D za pomocą techniki LIDAR oraz dedykowane cyfrowe metody analityczne, a w szczególności metodę VIS. Pozwoliło to na otrzymanie w pełni mierzalnych rezultatów, trudnych — lub wręcz niemożliwych — do intuicyjnego przewidzenia. Można je porównać do badań obrazowych w medycynie, które są bezdyskusyjne. Dostarczają lekarzom cennej wiedzy, która służy kierunkowaniu dalszych działań i wdrożeniu procesu leczenia. Podobnie wyniki analiz VIS — nie przesądzają w sposób automatyczny o zasadności wzniesienia nowego obiektu wysokościowego, dostarczają jednak cennej wiedzy o oddziaływaniu krajobrazowym planowanej inwestycji, co tworzy szerszą podstawę dla formułowania odpowiednich wytycznych urbanistycznych.

Studium obiektu wysokościowego w Toruniu dostarczyło nowej wiedzy dla formułowania merytorycznej dyskusji między interesariuszami procesu planistycznego: inwestorem, władzami miasta (Radą Miasta) oraz wojewódzkim konserwatorem zabytków. Ostatecznie, wedle obecnych ustaleń, przeważyła potrzeba zachowania pełnej ochrony założenia wpisanego na listę UNESCO. Realizacja inwestycji została wstrzymana. Uznano, że obiekt wysokościowy widoczny z obszaru staromiejskiego zaburzy średniowieczny i niezmienny od wieków krajobraz Torunia. Naruszy on ponadto naturalny charakter Kępy Bazarowej, która stanowi integralny element otuliny Starego Miasta.

Zastosowana metodologia na tle innych badań

Problem weryfikacji wpływu planowanej inwestycji na krajobraz jest tematem dość często podejmowanym w literaturze naukowej. Projektowanie zabudowy w historycznym kontekście wymaga bardzo wywarzonych działań. Ignorowanie kulturowego wymiaru krajobrazu ma negatywny wpływ zarówno na środowisko, jak i na społeczeństwo (Eliasson i in., 2022; Antrop, 2005). Przedstawiona w niniejszym artykule metodologia badawcza w znacznym stopniu oparta jest o komputacyjną analizę zasięgu i siły oddziaływania wizualnego. Podstawą podobnych opracowań są analizy *viewshed* (Ren, Cao, 2021; Petrasova i in., 2018; Tabik, Zapata,

Romero, 2012). Teoria związana z mierzaniem pola widzenia ma już długą historię (Tandy, 1967; Felleman, 1986; Bishop, 2003). W odniesieniu do badania struktur miejskich rozwijane są m.in. techniki obliczeniowe, związane z sumaryczną widocznością wielu punktów w przestrzeni (np. grupy wieżowców), tzw. *multiple viewshed* (Wang, Dou, 2020) oraz *cumulative viewshed*, która obrazuje, w którym miejscu nakładają się pola widoczności dla poszczególnych punktów obserwacji (Chen, Chen, 2021; Wheatley, 1995). Jest to niezwykle przydatne dla weryfikacji, gdzie w przestrzeni miasta zachodzi korelacja między planowaną a historyczną zabudową. Tego rodzaju badanie zostało przeprowadzone m.in. dla Moskwy (Akristiniy, Dikova, 2018) czy Katowic (Czyńska, 2020).

Weryfikację wpływu budynku wysokościowego na krajobraz innymi metodami przeprowadzili m.in. Karimimoshaver i Winkemann (2018). Analizowali oni trzy istniejące budynki wysokościowe we Frankfurcie pod kątem estetyki, widoczności oraz wymiaru symbolicznego. Badania ankietowe wśród obserwatorów przeprowadzili również Samavatekbatan, Gholami i Karimimoshaver (2016). Uzyskali interesujące wyniki dotyczące preferencji w zakresie wysokości, zwieńczenia i koloru wieżowców. Podobne obserwacje zarejestrowali Xixiao i in. (2022), analizując różne scenariusze rozwoju zabudowy w otoczeniu cennego zabytku architektury w mieście Xi'an w Chinach.

Z przytoczonych przykładów wynika, że rola wieżowca w krajobrazie, jako obiektu o dużej sile wizualnej, powinna być poddawana wnikliwym badaniom oraz że jego weryfikacja wymaga wieloaspektowego podejścia. Przedstawiona w artykule metodologia oparta na analizie VIS oraz symulacjach widoków dowiodła swojej przydatności w realnym procesie planistycznym. Na tle innych badań zaprezentowane wyniki mają więc charakter aplikacyjny i mogą stanowić wzorcowy przykład postępowania przy projektowaniu obiektów wysokich w sposób respektujący historyczny krajobraz. Nadrzędne znaczenie mają, w przypadku analizowanego budynku w Toruniu, wytyczne ochrony światowego dziedzictwa, jakim jest średniowieczny zespół Starego Miasta.

6. PODSUMOWANIE

Omawiane w artykule Studium oddziaływania wizualnego obiektu planowanego przy ulicy Dybowskiej w Toruniu (pierwszego obiektu wysokościowego w tym mieście) miało na celu kompleksową i wieloaspektową ocenę wpływu inwestycji na krajobraz kulturowy. W badaniach uwzględniono aspekty ochrony strefy UNESCO obejmującej zachowanie integralności średniowiecznej struktury Torunia oraz interakcje z krajobrazem naturalnym Kępy Bazarowej, znad której nowy obiekt byłby widoczny.

W badaniach zastosowano techniki cyfrowej analizy krajobrazu w zakresie danych ze skaningu LiDAR oraz innych, dedykowanych metod analitycznych. Prezentowana metodologia obejmuje:

- a) analizy zasięgu i siły oddziaływania obiektu z użyciem metody VIS;
- b) organizację badań terenowych w celu identyfikacji widoków strategicznych;
- c) symulacje widoków strategicznych na planowany obiekt wysokościowy w różnych wersjach bryłowych z zastosowaniem metody linijek wysokości;
- d) symulacje nowego widoku na miasto z projektowanego tarasu na szczycie wieżowca;
- e) badania dotyczące nasłonecznienia, koloru oraz doboru materiału wykończeniowego elewacji, wpisującego się w indywidualny architektoniczno-urbanistyczny kontekst miasta.

Analiza VIS pozwoliła na wyznaczenie wszystkich potencjalnych miejsc ekspozycji nowego wieżowca, ukierunkowanie badań terenowych i sprawdzenie ewentualnych deformacji cennego krajobrazu. Użycie technik cyfrowych umożliwiło zobiektywizowanie badań i znacząco poszerzyło podstawę dla formułowania wytycznych urbanistycznych. Studium było prezentowane Radzie Miasta Torunia, Wojewódzkiej Radzie Ochrony Zabytków, a także inwestorowi i architektom. W toku procesu inwestycyjnego inicjatywa wzniesienia planowanego obiektu wysokościowego została — na obecnym etapie — wstrzymana. Niezależnie od efektu procesu inwestycyjnego omówione w artykule badania poszerzają wiedzę w zakresie analizy oddziaływania obiektów wysokich w krajobrazie. Wszystkie analizy i symulacje ujęte w artykule zostały opracowane przez autorów, z wykorzystaniem programów komputerowych w języku C++. Jednakże podobne symulacje mogą być prowadzone także z użyciem innych narzędzi GIS.

Dalsze prace badawcze w odniesieniu do podjętego tematu będą zmierzały do bardziej szczegółowej weryfikacji wpływu zadrzewień Kępy Bazarowej na ekspozycje Starego Miasta z planowanego wieżowca. Analizom poddane zostaną modele DSM, powstałe na bazie danych ze skaningu LiDAR z 2012 i z 2018 roku. Celem badań będzie sprawdzenie, czy zadrzewienia są jeszcze w fazie wzrostu i mogą przesłonić ekspozycję krajobrazową, a tym samym zmniejszyć widoczność projektowanego wieżowca. Był to jeden z aspektów toczącej się debaty, wymagający obiektywnej weryfikacji.

REFERENCES

- Akristinij, V.A., Dikova, E.A. (2018), 'The visual-landscape analysis during the integration of high-rise buildings within the historic urban environment', *E3S Web Conf.*, 33. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301044> (accessed: 31.10.2023).
- Antrop, M. (2005), 'Why landscapes of the past are important for the future', *Landscape and Urban Planning*, 70, 1–2, pp. 21–34. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002> (accessed: 31.10.2023).
- Ashrafi, B., Kloos, M., Neugebauer, C. (2021), 'Heritage Impact Assessment, beyond an Assessment Tool: A comparative analysis of urban development impact on visual integrity in four UNESCO World Heritage Properties', *Journal of Cultural Heritage*, 47, pp. 199–207. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.08.002> (accessed: 31.10.2023).
- Bishop, I.D. (2003), 'Assessment of visual qualities, impacts, and behaviours, in the landscape, by using measures of visibility', *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, pp. 677–688.
- Chen, Y, Chen, J. (2021), 'A parallel multipoint viewshed analysis method for urban 3D building scenes', *Transactions in GIS*, pp. 00:1–19. Available at: <https://doi.org/10.1111/tgis.12759> (accessed: 31.10.2023).
- 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: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1359-2015> (accessed: 31.10.2023).
- Czyńska, K. (2018), 'High precision visibility and dominance analysis of tall building in cityscape — on a basis of Digital Surface Model', *Computing for a better tomorrow: Proceedings of the 36th eCAADe Conference*, pp. 481–488.
- Czyńska, K. (2020), 'Computational methods for examining reciprocal relations between the viewshed of planned facilities and historical dominants — their integration within the cultural landscape', *Proceedings of the 25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2020*, 1, pp. 853–862.
- Czyńska, K., Rubinowicz, P. (2017), 'Sky Tower impact on the landscape of Wrocław — analysing based on the VIS method' / 'Analiza wpływu wieżowca Sky Tower na krajobraz Wrocławia z zastosowaniem metody VIS', *Architectus*, 2(50), Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, pp. 87–98. Available at: <http://dx.doi.org/10.5277/arc170207> (accessed: 31.10.2023).
- Eliasson, I. et al. (2022), 'The Need to Articulate Historic and Cultural Dimensions of Landscapes in Sustainable Environmental Planning — A Swedish Case Study', *Land*, 11(11):1915. Available at: <https://doi.org/10.3390/land11111915> (accessed: 31.10.2023).
- Felleman, J.P. (1986), 'Landscape visibility', *Foundations for visual project analysis*, New York: John Wiley & Sons, pp. 47–61.
- Heritage at Risk. World Report 2016–2019 on Monuments and Sites in Danger* (2020) Machat, Ch., Ziesemer, J. (eds.), Berlin: hendrik Bäbler verlag. Available at: https://www.icomos.de/icomos/pdf/hr20_2016_2019.pdf (accessed: 31.10.2023).

- Höftberger, K. (2023), 'Conservation and development: implementation of the historic urban landscape approach in Khiva, Uzbekistan', *International Journal of Heritage Studies*, 29(4). Available at: <https://doi.org/10.1080/13527258.2023.2183885> (accessed: 31.10.2023).
- Hollister, N. (2013), 'The History of the European Skyscraper', *CTBUH Journal*, II, pp. 52–55.
- ICOMOS *World Heritage in Danger* (2009). Available at: <https://whc.unesco.org/document/106357> (accessed: 30.03.2023).
- Karimimoshaver, M., Winkemann, P. (2018), 'A Framework for Assessing Tall Buildings' Impact on the City Skyline: Aesthetic, Visibility, and Meaning Dimensions', *Environmental Impact Assessment Review*, 73, pp. 164–176. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.08.007> (accessed: 31.10.2023).
- Krupska, K., Lyczak, B. (2013), 'Nieznana panorama Torunia z 1793 roku i jej autor Ernst Friedrich Kussmahl', *Zapiski historyczne*, LXXVIII, 1, pp. 101–114.
- Kuçak Toprak, G. (2020), 'A guideline proposal for determining design criteria of new building designs in historical cities: ICOMOS and UNESCO', *Social Science Development Journal*, 5(22), pp. 95–116. Available at: <http://dx.doi.org/10.31567/ssd.284> (accessed: 31.10.2023).
- MacCormac, R. (2008), 'Innovation, Context and Congruity', *English Heritage Conservation Bulletin*, 59, pp. 9–11.
- Patiwael, P.R., Groote, P., Vanclay, F. (2019), 'Improving heritage impact assessment: an analytical critique of the ICOMOS guidelines', *International Journal of Heritage Studies*, 25(4), pp. 333–347. Available at: <https://doi.org/10.1080/13527258.2018.1477057> (accessed: 31.10.2023).
- Petrasova, A. et al. (2018), 'Viewshed Analysis' [in:] *Tangible Modeling with Open Source GIS*, Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89303-7_9 (accessed: 31.10.2023).
- Ren, L., Cao, Y. (2021), 'GIS-Based Viewshed Analysis on the Conservation Planning of Historic Towns: the Case Study of Xinchang, Shanghai', *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVI-M-1-2021, pp. 609–616. Available at: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-609-2021> (accessed: 31.10.2023).
- Rubinowicz, P. (2017), 'Generation of CityGML LoD1 city models using BDOT10K and LiDAR data' / 'Tworzenie modeli miast CityGML LoD1 z użyciem danych BDOT10k oraz LiDAR', *Space & Form / Przestrzeń i Forma*, 31, pp. 61–74. Available at: <http://dx.doi.org/10.21005/pif.2017.31.A-03> (accessed: 31.10.2023).
- Rubinowicz, P. (2023), 'Separation of Tall Greenery Component in 3D City Models Based on Lidar Data', *HUMAN-CEN-TRIC, Proceedings of the 28th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, 1, pp. 515–524.
- Samavatekbatan, A., Gholami, S., Karimimoshaver, M. (2016), 'Assessing the visual impact of physical features of tall buildings: Height, top, color', *Environmental Impact Assessment Review*, 57, pp. 53–62.
- Seyedashrafi, B. et al. (2017), 'Applying Heritage Impact Assessment to urban development: World Heritage property of Masjed-e Jame of Isfahan in Iran', *Sustainable Cities and Society*, 31, pp. 213–224. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.002> (accessed: 31.10.2023).
- Süyük Makaklı, E., Özker, S. (2017), 'High rise buildings in historic cities', *The Online Journal of Science and Technology*, 7(2), pp. 69–67.
- Tabik, S., Zapata, E., Romero, L. (2012), '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: 31.10.2023).
- Tandy, C.R. (1967), 'The Isovist Method of Landscape Survey' [in:] Murray, C.R. (ed.) *Methods of Landscape Analysis*, London: Landscape Research Group, pp. 9–10.
- Toruń i miasta ziemi chełmińskiej na rysunkach Jerzego Fryderyka Steinera z pierwszej połowy XVIII wieku (tzw. Album Steinera)*, Biskup, M. (red.), Toruń: Towarzystwo Naukowe w Toruniu.
- Toruń. Dawane widoki miasta* (1994), Toruń: Drukpol.
- van der Hoeven, F.D., Nijhuis, S. (2012), 'Planning and Visibility Assessment of High Building Development in The Hague' [in:] Meyer, H., Zandbelt, D. (eds.) *High-rise and the Sustainable City*, pp. 102–119.
- Wang, Y., Dou, W. (2020), 'A fast candidate viewpoints filtering algorithm for multiple viewshed site planning', *International Journal of Geographical Information Science*, 34(3), pp. 448–463. Available at: <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1664743> (accessed: 31.10.2023).
- Wheatley, D. (1995), 'Cumulative viewshed analysis: A GIS-based method for investigating inter-visibility and its archaeological implication' [in:] Lock, G.R., Stancic, G. (eds.), *Archaeology and geographical information systems: A European perspective*, pp. 171–186, London, UK: Taylor & Francis.
- Xixiao, B. et al. (2022), 'The influence of newly built high-rise buildings on visual impact assessment of historic urban landscapes: a case study of Xi'an Bell Tower', *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(4), pp. 1304–1319. Available at: <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1930011> (accessed: 31.10.2023).