

**Citation:** Obuchowicz R. (2024) 'Architectural form of buildings with integrated wind installation', *Space & Form | Przestrzeń i Forma* 60. <http://doi.org/10.21005/pif.2024.60.B-04>

Open access article  
Creative Commons Attribution (CC BY)



**DOI: 10.21005/pif.2024.60.B-04**

## **ARCHITECTURAL FORM OF BUILDINGS WITH INTEGRATED WIND INSTALLATION**

### **FORMA ARCHITEKTONICZNA BUDYNKÓW ZE ZINTEGROWANĄ INSTALACJĄ WIATROWĄ**

**Rafał Obuchowicz**

mgr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0003-4138-236X

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Poland  
Wydział Architektury  
Katedra Mieszkalnictwa i Podstaw Techniczno-Ekologicznych Architektury

#### **ABSTRACT**

The article addresses the subject of the construction of the architectural form of buildings with integrated wind installations. The considerations were related to the basic concepts of composition and form structure, based on the rules of elementary geometry and taking into account the context of shaping the body in accordance with the principles of aerodynamics. A study was conducted using eight objects with wind installations that met the adopted assumptions and conclusions were presented.

Key words: architectural form, renewable, wind energy, wind turbine.

#### **STRESZCZENIE**

W artykule podjęto tematykę dotyczącą budowy formy architektonicznej budynków ze zintegrowaną instalacją wiatrową. Rozważania odniesiono do podstawowych pojęć kompozycji i struktury formy, opierając się na regułach geometrii elementarnej oraz uwzględniając kontekst kształtowania bryły zgodnie z zasadami aerodynamiki. Przeprowadzono badanie, wykorzystując osiem obiektów z instalacjami wiatrowymi, które odpowiadały przyjętym założeniom i przedstawiono wnioski.

Słowa kluczowe: energia wiatru, forma architektoniczna, odnawialne, turbina wiatrowa.

## 1. INTRODUCTION

Considering the phenomenon of a wind turbine, the first feature that can be identified is its connotation with a circle, which is its most important determinant. When creating a drawing of a turbine, the circle is determined in the most simplified and intuitive way, then its center point and in such a defined boundary the image is clarified by supplementing it with details. Indicating the importance of the circle in architectural composition, examples of its use in existing objects should be cited. From the point of view of formal and compositional features such as symmetry, internal closure, centralization, coherence, softness or the ability to represent movement, especially in correlation with spiral or concentric compositions built on a common point with the circle, which is its center, this form becomes a source of any number of interpretations. Depending on the scale and context, it gains a different degree of autonomy and significance in the architectural composition. The Gothic tracery of the parish church in Bad Wimpfen, dated 1295/1516, with a representation of fish bladders, placed in the window opening undoubtedly refers to the rotational movement (Fig. 1). The dynamics of its form precede the time in which it was created and testifies to the architect's awareness of its role in shaping the architectural form. The Nakagin Capsule Tower hotel designed by Kisho Kurokawa, based on a block built of cubes, creates an association with an organic form thanks to its round window openings, like a conglomeration of cells with clearly marked, centrally placed nuclei (Fig. 2). The O House villa designed by Philipp Stuebi uses the rhythm and symmetry of round openings inscribed in the parallelogram of the openwork wall to reveal a transparent, glazed interior, introduce a play of light and shadow and emphasize the plasticity of the building (Fig. 3). Another idea of implementing an open circle is presented by Philip Johnson in the post-modernist building 550 Madison Avenue, loosely referring in its style to classical elements (Fig. 4). A round, open-top opening, located on the axis of symmetry of the building at its highest point, constitutes the dematerialized finial of the object. The examples provided present only a small fragment of the potential, encompassing the formal and compositional context, that forms based on the geometry of the circle can offer. The issues presented in the article include references to the theoretical foundations of architectural composition and formal analyses of existing buildings with integrated wind installations.



Fig. 1. Gothic tracery in the form of a rosette, Bad Wimpfen. Source: Google Arts & Culture.

Ryc. 1. Gotycki maswerk w formie rozety, Bad Wimpfen. Źródło: Google Arts & Culture.

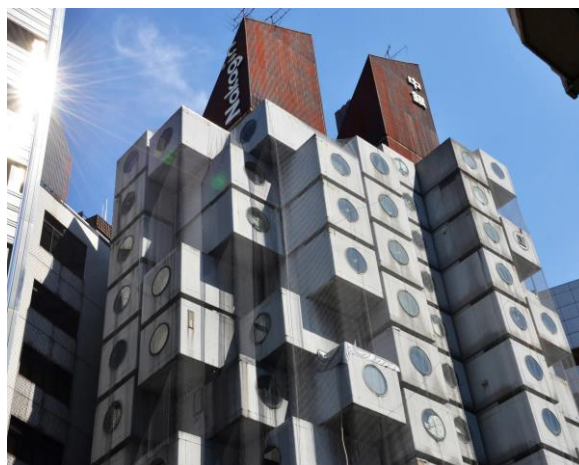


Fig. 2. Nakagin Capsule Tower, Kisho Kurokawa, Tokyo. Source: CNN Style.

Ryc. 2. Nakagin Capsule Tower, Kisho Kurokawa, Tokyo. Źródło: CNN Style.



Fig. 3. O House Villa, Philippe Stuebi, Oberwil Switzerland . Source: Architizer, O House.

Ryc. 3. Willa O House, Philippe Stuebi, Oberwil Szwajcaria . Źródło: Architizer, O House.



Fig. 4. Madison Avenue 550, Philip Johnson, Manhattan . Source: Dbox, Madison Avenue 550.

Ryc. 4. Madison Avenue 550, Philip Johnson, Manhattan. Źródło: Dbox, Madison Avenue 550.

The aim of the research presented in the article is to systematically classify architectural objects with wind installations, including the identification of their universal features.

## 2. MATERIALS & METHODS

Eight objects integrated with wind turbines were selected for the study and their geometry was analyzed in the formal-compositional and aerodynamic dimensions (tab. 1). The selection of objects in terms of representativeness and compliance with the research objectives was adopted in the areas of: diversity of architectural forms and composition, height and volume scalability; technological diversity; location universality. This allowed for indicating the relationships between the structure of the building and the integrated wind installation.

Tab. 1. List of objects covered by the study. Source: Author, own study.

No. / pt. in text	Name / Location	Architect / function
1. (3.1.1.)	<b>Strata Tower, SE1</b> , common name "Razor", London, UK.	<b>BFLS Architects</b> . Apartment building, services on the ground floor.
2. (3.1.2.)	<b>World Trade Center</b> , Manama, Bahrajn.	<b>Atkins Design Studio</b> . Hotel, apartments, services, shopping center.
3. (3.1.3.)	<b>Kinetica Building</b> , London, United Kingdom.	<b>Waugh Thistleton</b> . Apartment building, services and trade on the ground floors.
4. (3.1.4.)	<b>Technisches Rathaus</b> , Munich, Bayern, Germany.	<b>Morschek &amp; GHU Architekten GmbH</b> . Seat of the city administration.
5. (3.1.5.)	<b>Near North Apartments</b> , Chicago, Illinois, United States.	<b>Murphy &amp; Jahn</b> . Residential building, social housing.

No. / pt. in text	Name / Location	Architect / function
6. (3.1.6.)	<b>Hess Tower</b> , Houston, Texas, United States.	<b>Gensler</b> . Office building with commercial and service services.
7. (3.1.7.)	<b>Pearl River Tower</b> , Guangzhou, China.	<b>Skidmore Owings &amp; Merrill</b> . Office building of high standard.
8. (3.1.8.)	<b>OMRF Research Tower</b> , Oklahoma, United States.	<b>Perkins &amp; Will</b> . The building is part of the scientific and research complex.

In terms of technical aspects, the facilities show different heights and in the adopted model of cooperation with the wind device: building height from medium-high development to high-rise development; degree of integration with the wind system: BIWT - building integrated wind turbines, BMWT - building mounted wind turbines, BAWT - building augmented wind turbines, DWT - ducted wind turbines (tab 2). In the case of facilities showing characteristic features of more than one method of integration with a wind turbine, this was noted in the description of the relevant facility. The types of wind turbines used in the analysed facilities were: HAWT - horizontal axis wind turbines and VAWT - vertical axis wind turbines.

Tab. 2. Tabulated list of wind installation integration models. Source: Author, own study.

Acronym	Full name	Description
Turbine-Building Integration Model		
<b>BIWT</b>	building integrated wind turbines	In this model, wind turbines are not physically integrated with the building structure and are located in its immediate vicinity as independent, dedicated units mounted on separate masts or structures. They can supply energy to the building, but their location and mounting method allow for flexible adjustment to various spatial and aerodynamic conditions.
<b>BMWT</b>	building mounted wind turbines	The turbines are mounted directly on the building, e.g. on the roof or facade. The advantage of this solution is relatively simple assembly, which allows the implementation of turbines in existing buildings. The disadvantage may be the need to adapt the structure to the additional load.
<b>BAWT</b>	building augmented wind turbines	The building serves as a structure that amplifies airflow, which increases the efficiency of the turbines. The architecture of the building is designed to direct and accelerate airflow to drive the turbines, which requires precise matching of form to aerodynamic requirements.
<b>DWT</b>	ducted wind turbines	Buildings equipped with DWT are among the objects that can generate energy even at lower wind speeds. An additional characteristic feature is the lack of visual manifestation of the turbine in the body of the object, which can be beneficial in selected formal and compositional solutions assumed by the architect.

The applied research methods assume formal analysis operating in the thematic scope covering aspects related to the perception of formally important points and places; rhythm in space, formal culmination and the issue of the tendency towards cohesive forms, geometrization, limited number, strong form, dependence of form on the quality of its parts; directionality and formal courses; formal

guideline and the law of good continuation. As an important element in the context of the research, a description of the aerodynamic qualification of each of the objects was introduced, allowing for the estimation of the scale of the influence of aerodynamic guidelines on the architectural form of the building.

From the point of view of basic considerations, covering the formal and compositional aspect of the geometry of the circle and its influence on the architectural object, we should return to elementary concepts such as: cohesion of form, tendency to geometrization and limited number, tendency to strong form, issues of rhythm and formal culmination. Assuming simplification of the wind device into the form of a circle, adopted for the needs of compositional considerations, we obtain a specific range of parameters resulting from its physical features. These are the size, physical dynamics of the turbine, its translucency. In relation to the superior form, which is the architectural object, we therefore obtain a smaller circle or a set of circles, located in formally significant places of the building, such as gable parts, edges, or purposely designed openings passing through the object and characterized by a significant field of formal action. By accepting the principle of the dependence of form on the quality, role and size of its components, we can formulate a thesis that the wind turbine is an equal and integral element of the architectural composition of the object, subject to all its rules. The principles of: formally important points and places, "intensifying" the effect of form, such as convergences of planes and lines, axes of symmetry or formal culminations - these are particularly important in the case of designing a single wind turbine; and the issues of rhythm and its ending in space, symmetry or limited number - when considering forms composed of turbine groups (Żórawski). Based on the general scope of interpretation of the form of a wind turbine presented above, its unique features should be indicated. These will be, in each case, a strongly marked central symmetry, unambiguously defining its point of setting in space, and any of its vertical or horizontal contours taking on an axially symmetrical form. These are attributes that are beneficial from the point of view of formal guidelines defined in most architectural objects and can be freely correlated with the vertical and horizontal directions found in the body of the building. The next properties that can be observed after central and axial symmetry are the small degree of filling the occupied space (openwork) describing its structure and the legibility of the shape resulting from the presence of elementary forms such as a section and an arc, of which it is composed.

Other formally significant features include the variability of the device's rotational speed over time and the ability to shape lighting effects. Turbines installed in urban areas and on architectural structures, due to the expected energy efficiency, belong to structures with low spatial filling (openwork) and minimized mass. These physical properties, combined with work in an aerodynamic environment characterized by high turbulence, cause the speed of the devices to fluctuate greatly. The turbine is able to achieve significant revolutions in the blink of an eye, only to stop just as quickly. The achieved visual effect consisting in a sudden transition from an optically blurred form to a static one gives the impression of depriving its structure of mass and physical inertia, this can be symbolically presented as transience, elusiveness, etherealness.

These features gain importance in the context of the light source falling on the device. Dynamic illustrations created under its influence on a structure in motion can be divided, according to the source of lighting, into natural - resulting from direct and diffuse sunlight, and those created as a result of artificial lighting, and also according to the location of the created light artifacts - into those created on the turbine surfaces and those formed in its surroundings. The quality and intensity of scenes can be influenced by: shape, color, the ability of the surface to create reflections, or a matte structure absorbing the rays falling on the turbines, as well as forms remaining in the area of their direct optical impact. Phenomena resulting from helioplasty include extracting the depth of turbines and emphasizing their three-dimensionality, especially in the case of devices with a vertical axis of rotation. They enable intuitive definition of the time of day and year by the direction, length, or depth of the cast shadow. Solar lighting allows for emphasizing the dynamics of the system by displaying moving shadows on the ground and other buildings, creating patterns that are often unforeseen; creating effects resulting from the use of transparent or semi-transparent materials to make turbines - this procedure, like the manipulation of colors and texture of rotors, is an invaluable tool in the design of buildings integrated with wind turbines; extracting light reflections from wind rotor blades rotating at different speeds, enhancing the effect of the structure's dynamics; halo and

diffraction effects - occurring only in favorable atmospheric conditions (fog, scattered water drops) create almost mystical phenomena of halo and light dispersion around the turbine. Artificial lighting sources used to illuminate wind devices, currently implemented using RGB LED technology, characterized by lower power and range than solar radiation, are therefore used to illuminate turbines and their immediate surroundings only with very limited natural lighting, or its complete absence at night. The advantages of their use include: the ability to obtain a full RGB color palette in a smooth manner; small size allowing for any arrangement of lighting; the ability to shape the angle of the light beam using lenses, from omnidirectional to parallel beam; the ability to use projection filters displaying any shapes or contours; the ability to microprocessor control the intensity, color or time of switching on individual spots. This allows for the creation of various effects, including highly dynamic ones, even on turbines at rest. Such solutions are particularly eagerly used by architects in the case of turbines placed in visually open wind collectors, which allows for shaping the light and shade effects created by the turbine blades on the surfaces of the collectors that house them, e.g. Strata SE1, Bahrain WTC.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Analysis of selected objects

The following list contains eight objects subjected to analysis. For each of them, a general description, form analysis and aerodynamic qualification are presented. The figures show the objects in characteristic views and the orientation of the buildings studied in relation to the dominant wind directions.

##### 3.1.1. Strata SE1; London, UK

**General description:** Strata Tower, also known as Strata SE1, and colloquially Razor, is a distinctive residential high-rise building located in the Elephant and Castle district in London, in the south-eastern part of the city. The building is 148 meters high and has 43 floors (Fig. 5,6,7). The construction of the building was completed in 2010. It is one of the city's tallest residential buildings and, due to the three wind turbines located at its top, one of the most recognizable elements of the London skyline. The dominant function planned for the building is luxury apartments supplemented with accompanying services such as a gym, common space, retail outlets, or a viewing terrace with an available panorama of London. Due to the solutions used, including a turbo generator covering 8% of the electricity demand, the building is considered a sustainable architecture trend.



Fig. 5. Strata SE1, object view. Source: Wikipedia, Strata SE1.  
Ryc. 5. Strata SE1, widok obiektu. Źródło: Wikipedia, Strata SE1.

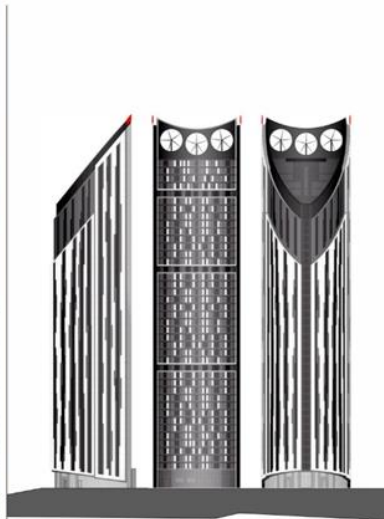


Fig. 6. Strata SE1, elevations. Source: Arch Daily.  
Ryc. 6. Strata SE1, elewacje. Źródło: Arch Daily.

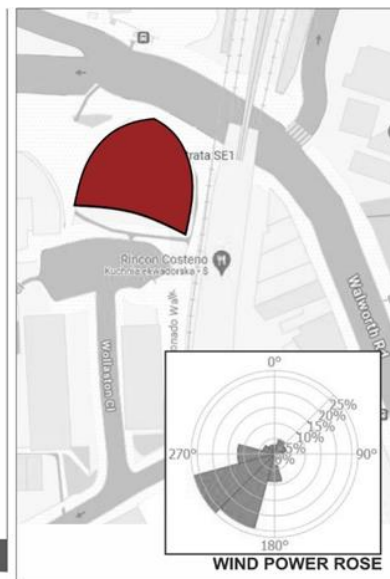


Fig. 7. SE1 Strata, plan. Source: author.  
Ryc. 7. Strata SE1, plan. Źródło: autor.

**Form:** slender, soaring, with a finial running along straight lines, a segment of a circle and paraboloids created by the intersection of the side walls with the sloping roof surface, creating acute angles at the two extreme points of the elevation (contemporary evocation of spires). The building plan takes on a trapezoidal form, with a concave base, elliptical sides and a recessed top. The formal guidelines of the assumptions as the basis of the composition assume the dominance of the vertical, which is the main attribute of the building with distinct horizontal lines in opposition to them, with inter-module distances decreasing with height. On the body constructed in this way, the architect carries out two transformations. The first is the extrusion of the form along the vertical axis of the building using a trapezoidal profile with aerodynamic characteristics, the second is the cutting of the roof plane at an angle of  $60^\circ$  parallel to the line of the front elevation. These procedures are closely related to the aerodynamics of the building's body and give it an individual character, in the aesthetic context based on the lines of penetration of the walls and roof, repeated in the offsets of the elevation. The object viewed from two main directions is outlined as: from the front, a slender parallelogram cut out at the top with a fragment of a circle; viewed from the side, it is a parallelogram with a sharply cut finial. The plasticity of the body is emphasized by elliptical lines of penetration of the curves of the side walls with the roof plane, emphasized by repetitions in the elevation. The raw and industrial character of the elevation of the object is emphasized by the materials and colors used. Black, gray and silver are sufficient means to emphasize, and not compete with the effect resulting from the cubic form of the building. The last element defining the object are three five-blade, nine-meter HAWT turbines installed in separate channels with a circular cross-section, located in the prismatic finial and giving it an openwork form and transparency. The entire composition can be characterized as dynamic, based on clearly defined geometric forms, bold and modern.

**Aerodynamic qualification:** The building was implemented as a BAWT facility. The main features of the facility that determine the energy efficiency of the wind turbine unit are its height, which significantly exceeds the elevation of the neighboring buildings and its orientation in line with the dominant direction of local winds. This allows the turbines to operate in an environment with a negligible share of turbulence caused by the influence of the irregular structure of the urban fabric and in the flow with the highest velocity. The geometry of the facility is subordinated to aerodynamics. The concave frontal wall causes the flow to accumulate and the static pressure to increase in front of

the building, while the elliptical shape on the lee side minimizes the turbulence zone that arises behind the building, which can create areas of intense disturbances. Such an environment allows for the creation of controlled operating conditions for the collector housing three five-blade turbines.

### 3.1.2. World Trade Center; Manama, Bahrain

**General description:** Bahrain World Trade Center is one of the most characteristic buildings in the capital of Bahrain, Manama, and at the same time a pioneer of the engineering direction related to the integration of wind energy systems with buildings (Fig. 8,9,10). The building completed in 2008 consists of two twin towers with a height of 240 meters connected by three bridges that are structural elements, but also serve as supports for the wind turbine generators installed on them. Wind conditions resulting from the direct location on the shore of the Persian Gulf mean that the devices with a diameter of twenty-nine meters cover about 11-15% of the total energy necessary for the functioning of the building, which puts it at the forefront of such facilities. The planned function includes modern office and hotel spaces with catering, conference and recreational facilities, a luxury shopping center is located at the base of the towers.



Fig. 8. WTC Bahrain, object view.  
Source: Killa Design.  
Ryc. 8. WTC Bahrain, widok obiektu.  
Źródło: Killa Design.

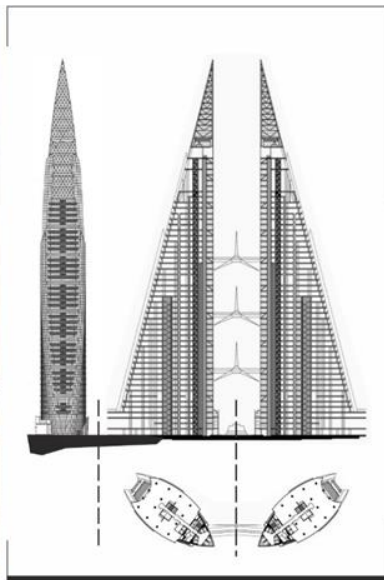


Fig. 9. WTC Bahrain, elevations.  
Source: WordPress.  
Ryc. 9. WTC Bahrain, elewacje.  
Źródło: WordPress.



Fig. 10. WTC Bahrain, plan. Source: author.  
Ryc. 10. WTC Bahrain, plan. Źródło: autor.

**Form:** a slender, axially symmetrical form divided into two volumes. From the point of view of the physical and functional issues of the object, they are independent of each other. Apart from the connecting bridges and the relatively low ground floor, the objects could function independently. In the visual sense, due to symmetries, they become inseparable, especially in the context of three wind turbines with a horizontal axis of rotation, creating a connecting element in the form of three circles drawn by the rotor blades. The geometry of the layout is built on the basis of straight vertical lines, diagonal lines, symmetrical to each other and creating the outline of the object's volume, and segments of circles describing the shape of the building plan. In order to obtain a decreasing horizontal cross-section of the towers on the subsequent floors, the architect used a transformation procedure by intersecting the original form resulting from the projection located at the ground floor level with planes converging towards each other. In this way, inclined side walls with elongated



outlines of the tower projections were obtained. From the point of view of visual perception of the layout, the location of the physical and optical center of gravity is intriguing. It is located outside the actual physical structure of the building, in the space where the wind energy conversion devices operate. It combines the optical dynamics of the mass with the actual movement of the wind turbines.

**Aerodynamic qualification:** The integration method used to implement the facility is BAWT. The building form is completely subordinated to aerodynamic phenomena. The orientation of the structure is consistent with the dominant wind direction blowing from the Persian Gulf. The entire facility, consisting of two streamlined and symmetrically located towers, creates a wind collector structure that focuses the flow on three wind turbines located centrally in a vertical array. Elements that can generate turbulent flow have been reduced to a minimum. The abandonment of the assumption of locating the wind installation at the highest point of the facility in favor of increasing its active surface, ensuring maximization of the air flow passing through the turbines, is noteworthy.

### 3.1.3. Kinetica Building; London, UK

**General description:** The Kinetica building is located in London, in the Dalston district, which has undergone a significant transformation since the beginning of the 21st century, including the reconstruction and revitalization of the area (Fig. 11,12,13). The urban context in which the modern facility, completed in 2010, was entered is the vicinity of a communication artery and traditional historical buildings of a much lower height, which influenced the possibility of integrating the building with a wind energy conversion system. A wind installation consisting of four Darieus turbines was designed on the southern wall of the building, which are able to cover 15% of the demand for electricity. Due to the need to minimize the resistance of air flow around the building, it was given a characteristic, flattened shape, and its horizontal projection takes the form of a triangle with strongly elongated arms and rounded vertices. The building is intended for residential apartments and office and commercial functions located on the ground floor.



Fig. 11. Kinetica Building, London, object view. Source: UK Property Finder.

Ryc. 11. Kinetica Building, London, widok obiektu. Źródło: UK Property Finder.



Fig. 12. Kinetica Building, London, object view. Source: Jon Martin Designs.

Ryc. 12. Kinetica Building, London, widok obiektu. Źródło: Jon Martin Designs.

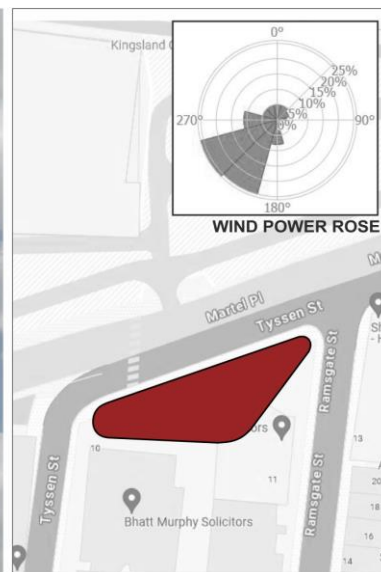


Fig. 13. Kinetica Building, London, plan. Source: author.

Ryc. 13. Kinetica Building, London, plan. Źródło: autor.

**Form:** a narrow, elongated prism on a triangular plan with a small height and a considerable length of the base, while maintaining a similar length of the arms adjacent to it. Circles were inscribed in the vertices, introducing gentle transitions of the planes of the body. This way of shaping the object results from its integration with the wind installation and the need to provide it with an optimal aerodynamic environment. The visual reception of the object depends to a large extent on the place of observation and can change from the impression of slenderness intensified by the vertical rhythm of the balconies on a circular plan, forming the end on both sides of the longer side, to the planarity created by the longest wall of a similar height and width. The elevation has a strongly marked division of storeys by emphasizing the levels with dark stripes between windows against the white walls of the building. The monotony of horizontal divisions is broken by the lack of repetition of window openings on individual levels. On the south side, in the place intended for the wind installation, the designer left a smooth area devoid of window openings and any other elements that could disturb the flow of air, additionally emphasizing it with a different color of the elevation finish. The entire composition gives the impression of minimalist. The quintessence of the form is a plan based on a shape with aerodynamic characteristics, raised along the vertical axis of the building up to its roof.

**Aerodynamic qualification:** The classification of the type of integration with the turbine set in which the building was realized may show discrepancies. The first assessment indicates BMWT due to the seemingly significant autonomy of the turbine set in relation to the object. However, after analyzing the body, we get an indication of the BAWT structure. The form of the building is a strongly flattened prism with rounded vertical edges, the base of which resembles an aircraft profile. In this way, an increase in wind speed was achieved in its upper part, and the vertical Darieus turbine set was placed in the area of the greatest acceleration of the laminar stream, just before it changes into the form of turbulent flow. In order to increase the aerodynamic efficiency of the building profile, window openings at the height of the wind turbines were abandoned. All features of the structure of the object indicate an intentional action towards improving its aerodynamic properties, which clearly qualifies it as a BAWT object.

#### 3.1.4. Technisches Rathaus; Munich, Bayern, Germany

**General description:** Designed by architect Helmut Jahn, the Technisches Rathaus München was opened in 2004 (Fig. 14,15). The building serves a public utility function as the seat of the technical departments of the city of Munich. The building complex consists of four six-storey office buildings on a quadrangle plan with a green courtyard inside the complex and a cylindrical tower located in the northern corner of the complex. At the top of the structure at a height of 45 meters, a centrally located, single Darieus-type wind turbine with a diameter of 2.5 meters and a power of 2 kW was installed, capable of generating about 3,500 kWh per year, depending on wind conditions.

**Form:** the form of the building is centrally symmetrical, on a circular plan. The culmination is two technical floors with diameters decreasing upwards and a wind turbine with a vertical axis of rotation, coinciding with the axis of the building. The size of the horizontal projection of the circle outlined by the wind turbine blades is close to the diameter of the building in its top part, which is beneficial from the point of view of the wind conditions of the device's operation. The assumption in the form of a slender, vertical cylinder is of a typically point nature and is a strong accent in the surrounding urban space. Due to the symmetry in relation to the center and the crowning wind turbine with a vertical axis of rotation, the building looks the same when seen from every side, which additionally strengthens its formal impact and makes it an excellent urban accent and landmark.

**Aerodynamic qualification:** The cylindrical shape of the building can be an element accelerating the flow in its top part, which is the location of the wind turbine. At the same time, it is an element of raising the installation into the zone of increased gradient wind speed. Hence, the facility can be classified as having features of both models of cooperation with a wind turbine: BAWT and BMWT. In this case, placing the turbine at a high height is a key factor influencing the favorable wind environment.



Fig. 14. Technisches Rathaus, München, object view. Source: Muenchen.de.  
Ryc. 14. Technisches Rathaus, München, widok obiektu. Źródło: Muenchen.de.

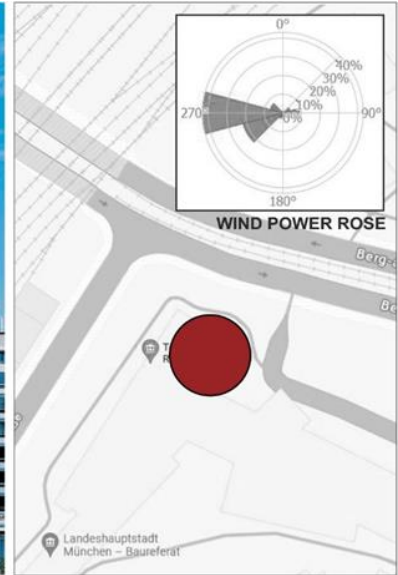


Fig. 15. Technisches Rathaus, München, plan. Source: author.  
Ryc. 15. Technisches Rathaus, München, plan. Źródło: autor.

### 3.1.5. Near North Apartments; Chicago, Illinois, United States

**General description:** Near North Apartments is a five-storey building designed by the architectural office JAHN (Fig. 16,17). The building was erected with low-income people in mind, as it was to provide social housing with its services including reception, office space, meeting rooms, laundry, bicycle storage and storage rooms. The investor's goal was to create the building using small financial outlays and in the shortest possible time, while at the same time reducing its operating costs using "green" technologies.



Fig. 16. Near North Apartments, Chicago, object view. Source: Builder.  
Ryc. 16. Near North Apartments, Chicago, widok obiektu. Źródło: Builder.

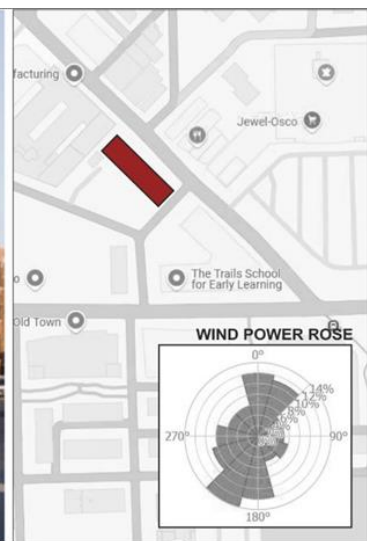


Fig. 17. Near North Apartments, Chicago, plan. Source: author.  
Ryc. 17. Near North Apartments, Chicago, plan. Źródło: autor.

**Form:** The form of the building is simple, resembling a cuboid lying on its longer side, characteristic features are revealed in the details. The building is closed on both of its shorter sides by fully glazed walls, set back towards the interior, with a vertically running refraction line in the middle plane of the building. The longer side walls, running parallel to the street where the complex is located, deflect slightly outwards, and in the gable part smoothly pass into the plane of the roof topped with a set of wind turbines in the form of a transparent, cylindrical strip.

**Aerodynamic qualification:** A medium-rise building located in an urbanized area, with a similar elevation of neighboring buildings. A favorable aerodynamic layout is provided by the canyon of a wide street with parallel buildings, creating a compact strip of elevation and a large parking lot of a nearby market. In combination with the dominant wind direction, creating an acute angle with the street axis. Such a layout is typical of the aerodynamic phenomenon referred to as the bar effect (Flaga 2008). As a result, air masses encountering the building pile up, flow over it and fall on the leeward side, causing a local increase in the velocity of the stream and numerous turbulences. The unusual installation of VAWT turbines draws attention, being devices with a vertical axis of rotation and omnidirectional directional characteristics. In the described case, it was decided to install them horizontally, combining two types of wind turbines: Darius and Savonius, which have a different operating principle and different operating characteristics in the context of the ranges of useful wind speeds. This demonstrates a very well-thought-out approach to the issue of wind energy conversion installation designed for the building. The design can be considered exemplary due to the use of aerodynamic features of the urban environment, the building's shape, spatial correlation with local wind conditions and the turbo installation used.

### 3.1.6. Hess Tower; Houston, Texas, United States

**General Description:** Hess Tower is a modern high-rise building located in Houston, Texas (Fig. 18,19). The building was completed in 2010, has twenty-nine stories and rises to a height of 149 meters. The function of the building is mainly office with services including common areas for employees, conference rooms, restaurants and a fitness center. The building meets sustainable building standards and is LEED Gold certified. A wind collector was designed at the top of the building for ten vertical axis VAWT turbines, however, due to technical problems and lower than expected energy efficiency of the complex, it was decided to remove them.

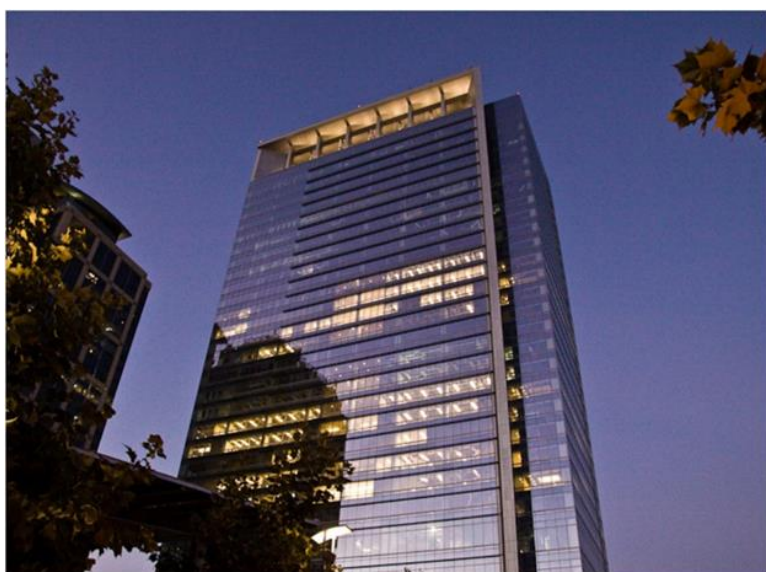


Fig. 18. Hess Tower, Houston, object view. Source: Wikipedia, Hess Tower.  
Ryc. 18. Hess Tower, Houston, widok obiektu. Źródło: Wikipedia, Hess Tower.

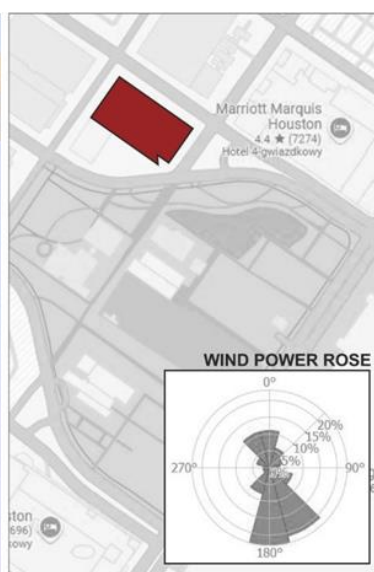


Fig. 19. Hess Tower, Houston, plan. Source: author.

Ryc. 19. Hess Tower, Houston, plan. Źródło: autor.

**Form:** The building is a flattened cube with a large height and a slender silhouette. The highly transparent glass façade emphasizes the lightness of the structure and allows for the visual manifestation of horizontal inter-storey divisions that create rhythm and enrich the aesthetics. The form of the building is broken by introducing a refraction and withdrawal of a part of the façade in the southern corner. This procedure adds dynamics to the form and affects its aerodynamic characteristics. The building is crowned by a wind collector composed based on straight lines and planes, which is a continuation of the aesthetic assumptions of the building.

**Aerodynamic qualification:** The slender, tall and flattened shape of the building and the form of the wind collector placed at the top, cooperating with the linear VAWT turbine set are advantageous in the case of assumptions oriented frontally to the dominant local wind direction. Such conditions are conducive to an increase in static pressure in front of the object and its decrease behind it, which in the general description of the phenomenon almost always leads to an increase in the flow velocity around the outline of the object, perpendicular to the wind direction. The collision of the wind with a perpendicular obstacle leads to a change in its direction, and the increase in speed can reach 300% of the nominal speed (Zielonko p.45). However, the described building does not meet these assumptions due to its incorrect orientation. The direction of the prevailing wind creates an acute angle with the front elevation, which only causes a change in its direction and an increase in speed at the height of the western edge of the object. Hess Tower is an example of how incorrectly defining one initial assumption shaping the aerodynamics of the structure can affect the result of the entire undertaking.

**3.1.7. Pearl River Tower; Guangzhou, China**

**General description:** Pearl River Tower is a high-rise building located in Guangzhou, China (Fig. 20,21,22). Designed by Skidmore, Owings & Merrill and completed in 2011. The building has 71 stories and reaches a height of 309.7 meters. The building is in line with the trend of sustainable architecture and is certified at the LEED Platinum level. It has numerous energy saving and acquisition systems, including wind energy. It is the only large-scale building to use duct turbine sets built into its structure.



Fig. 20. Pearl River Tower, Guangzhou, object view. Source: Façade Technology.  
Ryc. 20. Pearl River Tower, Guangzhou, widok obiektu. Źródło: Façade Technology.

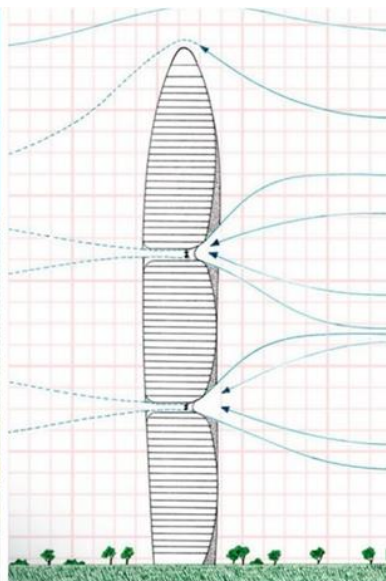


Fig. 21. Pearl River Tower, Guangzhou, cross-section, diagram of DWT installation. Source: Spark.  
Ryc. 21. Pearl River Tower, Guangzhou, przekrój, schemat instalacji DWT. Źródło: Spark.

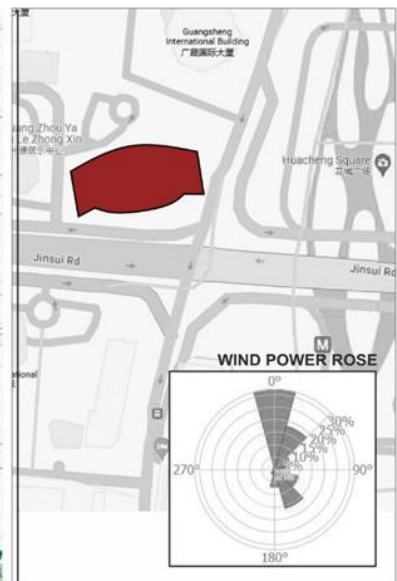


Fig. 22. Pearl River Tower, Guangzhou, plan. Source: author.  
Ryc. 22. Pearl River Tower, Guangzhou, plan. Źródło: autor.

**Form:** The considerable height of the building emphasizes its slenderness. Despite the vertical silhouette, suggesting the adoption of formal guidelines for the facility resulting from simple and vertical forms, its mass was built based on the principles of curvilinear geometry. It was divided by two horizontal strips into three sections acting as elliptical shells directing the wind flow to the windows of four channel turbines located on two levels of the building. The glass, mirrored front elevation of the building, with a convex form, gives the impression of a lens, distorting the image of the neighboring buildings and the sky falling on it. On the flat side walls, with an elliptical outline, the places where the wind turbine floors are located are emphasized. The form of the building gives the impression of being extremely light and dynamic, which emphasizes its ecological character.

**Aerodynamic qualification:** the windward wall of the building creates, for the wind directed perpendicularly to it, an obstacle of a significant surface and great height. These are favorable conditions for the occurrence of a difference in static pressure in front of and behind the facility. The elements connecting these areas are four channels running through the building with wind turbines installed in them. The solution is typical for the DWT facility. An additional element increasing the speed of air mass flow in the channels is the suitably profiled facade of the building.

### 3.1.8. OMRF Research Tower; Oklahoma, United States

**General description:** The Oklahoma Medical Research Foundation Research Tower is a modern building opened in 2011 in Oklahoma City, which is part of the OMRF (Oklahoma Medical Research Foundation) campus (Fig. 23,24,25). The building is part of the buildings providing a local base for the foundation's statutory activities. The building includes laboratories, conference rooms and other spaces supporting research activities, as well as technical rooms ensuring its current operation. The building was designed to be environmentally friendly, implementing numerous technical solutions typical of sustainable construction, including wind turbines.



Fig. 23. OMRF Research Tower, Oklahoma, object view. Source: Glassdoor.

Ryc. 23. OMRF Research Tower, Oklahoma, widok obiektu. Źródło: Glassdoor.



Fig. 24. OMRF Research Tower, Oklahoma, object view. Source: Medical Construction.

Ryc. 24. OMRF Research Tower, Oklahoma, widok obiektu. Źródło: Medical Construction.

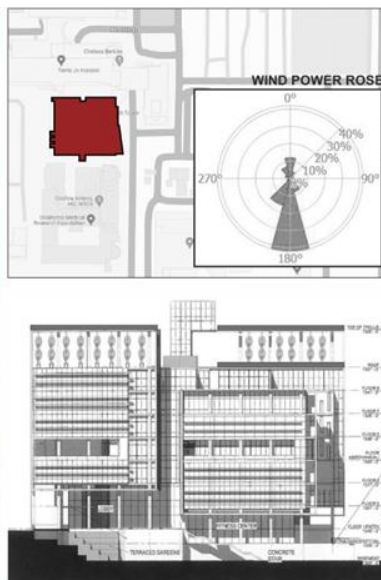


Fig. 25. OMRF Research Tower, Oklahoma, plan and elevations. Source: author, Oklahoma Medical.

Ryc. 25. OMRF Research Tower, Oklahoma, plan i elewacje. Źródło: autor, Oklahoma Medical.

**Form:** A medium-sized building, based in its composition on vertical and horizontal directions. The cubic geometry with a typically additive character may seem a bit too chaotic. Due to its pro-

ecological nature, the building was equipped with glass, transparent walls, allowing for the free operation of natural light during the day, and after dusk, allowing its mass to be illuminated by lighting used inside. The volume of the building was covered with vertical and horizontal elevation strips, introducing rhythm and defining the dominant direction in the mass on a plan close to a square. In this way, the location of the front elevation was emphasized and by raising the structure above the roof level, the form of a wind collector was created, housing a set of helical turbines with a vertical axis of rotation. The form of the turbines, as the only one in the entire building, implements curvilinear elements into the composition, and in combination with the movement of the devices, introduces a strong accent in the gable part of the building. Despite the use of façade strips, the building gives the impression of rather randomly connected modules, and the use of transparent walls and too broken-up detail can cause a feeling of disorganization.

**Aerodynamic qualification:** The front elevation of the building was oriented in accordance with the dominant direction of local winds. The wind unit of the building was divided into two groups of turbines placed in wind collectors located on the flat roof on its opposite sides. Such arrangement made it possible to avoid mutual shading of the devices by the aerodynamic shadow created during their operation. Helical, double-twisted turbines with a vertical axis of rotation and small diameter were used, operating using the principle of air flow pressure. Significant inter-axis distances of wind converters allow for maintaining a fairly free flow and small mutual interference. Although the fragmentation of the wind collector resulting from aesthetic reasons raises doubts, the solutions used in the building have many universal features and can be implemented in buildings of a similar nature.

**3.2. Identified features**

Individual analyses conducted for each of the facilities allowed for determining characteristic features that were the basis for formulating conclusions. Selected features and their description are presented in Table 3. They include the slenderness of the facility, as a feature of particular importance in the case of BAWT facilities; correlation with the urban structure, which is closely related to the aerodynamic model of the surroundings of facilities that are in direct height relation to neighbouring facilities; the location of the wind generator installation in the building body and the type of wind energy conversion devices and the model of wind turbine integration with the facility, according to the classification applicable in the subject literature.

Tab. 3. Description of the features used in the study. Source: Author, own study.

Characteristic	Description
The slenderness of the object	The ratio of the width of the base to the height of the building. The description assumes the side of the base, which is crucial for the analysis of the form.
Correlation with the environment	The selected objects adopted two forms of correlation with the surroundings. Small – for high-rise objects, characterized by a large formal independence from the surroundings; large – for objects inscribed in the urban tissue of local development.
Type of form	The division was adopted in the context of formal guidelines for the construction of the solid based on straight horizontal and vertical lines, curvilinear sections and straight lines of any direction. The classification marked the dominant feature in the composition: rectilinear, curvilinear, mixed.
Turbine installation site	Two values: top of the object, intermediate installation: top/intermediate.
Turbine type	Horizontal Axis Turbines (HAWT); Vertical Axis Turbines (VAWT).
Type of building-turbine integration	BMWT; BAWT; DWT. The selection of objects does not take into account BIWT type integration.

Table 4 presents a comparative summary of the established features with the examined objects and constitutes comparative material for the conclusions adopted by the author.

Tab. 4. Comparative comparison of features with the tested objects. Source: Author, own study.

		Object							
		Strata SE1	Bahrain WTC	Kinetica London	Technisches Rathaus, München	Near North Apartments	Hess Tower, Houston	Pearl River Tower	Oklahoma OMRF Re-search Tower
Characteristic	The slenderness of the object	high	high	average	high	slight	high	high	slight
	Correlation with the environment	slight	slight	average	slight	high	slight	slight	high
	Type of form	curvi-linear	curvi-linear	curvi-linear	mixed	recti-linear	recti-linear	curvi-linear	recti-linear
	Turbine installation site	top	inter-mediate	inter-mediate	top	top	top	inter-mediate	top
	Turbine type	HAWT	HAWT	VAWT	VAWT	VAWT	VAWT	DWT	VAWT
	Type of building-turbine integration	BAWT	BAWT	BAWT	BAWT/BMWT	BMWT	BAWT	BAWT	BMWT

The comparison of objects revealed features that are difficult or impossible to compare, each case and the solutions used in it should be treated individually. Considering the formal features of architecture, we assume the rules regarding the construction of the architectural composition, the workshop, sensitivity and intentions of the creator as determinants of its shaping. In the case of wind architecture, we gain a new layer of aerodynamic dependencies. The multiplication of possible combinations makes it difficult to categorize solutions. The analysis conducted allowed us to observe a set of universal features:

- As the scale of the facility increases, there is a tendency towards complete integration of the building body with the wind installation (BAWT structure), in small-scale projects, this feature is less visible,
- small-scale objects show greater dependence on the urban environment. Both in the formal and aerodynamic context,
- in large-scale buildings it is easier to implement curvilinear forms, while small buildings are usually shaped based on rectilinear horizontal-vertical geometry,
- smaller objects can be shaped more easily as asymmetrical forms, in large-scale objects it is difficult to depart from the principles of symmetry. Their monumental shape naturally corresponds to symmetry, which is a feature of strong forms,
- large-scale objects demonstrate greater stylistic and formal-aesthetic autonomy,
- the more energy-efficient type of HAWT turbines is more common in large facilities. Smaller facilities are better suited to VAWT turbines, which are designed to operate at lower wind speeds and in turbulent environments. The exceptions are small HAWT devices mounted as multi-turbine edge units on the tops of buildings of considerable length.

From the presented observation, a division emerges along the line defining the scale of the object. However, it should not be treated categorically, but as one of the directions of the conducted considerations. It would be important to confirm the above features concerning buildings integrated



with wind renewable energy sources, in correlation with other areas of research, including, for example, aerodynamics or construction.

#### 4. DISCUSSION

Previous studies on the form of buildings with integrated wind installations focus on their aerodynamic qualification. The dependencies that arise on the line: aerodynamic efficiency – aesthetics of the facility are omitted, and the conclusions resulting from them can be formulated indirectly. This is presented by the division introduced by I. Abohela (2012) according to the adopted relationship of the building to the wind installation. It assumes four types of buildings cooperating with installations: BIWT – free-standing wind turbines operating near buildings and using the increase in wind flow speed caused by the surrounding development – the facility was not selected in this design classification; BMWT – wind systems directly mounted on the facility that is their basis and serves to increase the wind energy reaching the turbines; BAWT – a type of integration that subordinates the architecture of the building to maximizing the energy efficiency of the wind installation; DWT – a type of built-in turbine, operating in a specially designed channel integrated structurally and aerodynamically with the building, used where there is a large difference in pressure at the channel inlet and outlet. On this basis, Abohela determines in his research the optimal roof shapes for wind energy, which is a recommendation for the method of shaping the architectural form of the building. Another type of considerations conducted on the plane of visual arts and which may find reference to forms represented by wind turbines are presented by Wassily Kandinsky. In his research, he defines the concept of a force connecting a point with a section or arc, and giving them a dynamic character. The researcher defines a line as a transformation of a point, which is under the influence of tension (force) and direction. Different configurations of these two values create a star organized from lines originating in one point. As the number of lines increases, the system creates an increasingly compact center, in which the center point seems to grow until a new form is created - a plane in the shape of a circle. We can make an analogous deduction in the case of an arc, which is a point shifted under the influence of force and changing direction in time. Although the considerations conducted take place on the ground of visual arts and in a static context, and their dynamics can only result from symbolism and the perception of the human eye, it is impossible not to notice the analogy to the form of a wind turbine, which is a physically dynamic system. A special feature can be noticed here: similarly to the lines presented by Kandinsky and having the ability to create a plane, when considering the form of a wind turbine, we will find that a device rotating at high speed will create a three-dimensional, transparent rotational structure with a different degree of filling, depending on the distance from its axis of rotation and the volume of the solid forming the object in individual places of the occupied space (Kandinsky 1976). A structure perceived and created by the senses of the perceptor, but not existing in the static description of a physical object such as a wind turbine. This dualism, resulting from the dependence on the force driving the turbine, which is the wind, should be accepted as an immanent feature of its form. Only the straight line defining the axis of rotation of the device and the imaginary circles perpendicular to it, outlined by the construction of the blades, remain unchanged. Other structural attributes such as linearity, volume, and transparency show dependence on the value of the driving force distributed stochastically in time. In the described approach, a wind turbine integrated with an architectural object is presented as a reactive object, and its visual impact is in contrast to the statics of the building. The cited studies do not refer directly to the subject of the architectural form of buildings with integrated wind installations, but they can be the basis for research conducted in this area.

#### 5. CONCLUSION

The objects accepted in the study constitute a group with great formal and scale diversity. The wind turbines used in them represent a cross-section of available, well-researched and commonly used wind conversion devices, which allows us to indicate the great universality of the obtained results (experimental and prototype systems were excluded from the study). The obtained conclusions

operate in several aspects. These are: the scale of the object, its architectural form, aerodynamics and the context of the wind turbine as a dynamic spatial form.

The influence of the scale of the object on the features of the architectural form introduces two directions of design solutions. Large-scale, high-rise buildings allow their structure to be used to place a wind installation in a zone with low turbulence and a significant increase in flow velocity. Being most often objects of great slenderness, they are subject to different rules of shaping aerodynamics and do not have problems with the wind being obscured by neighbouring buildings. The wind installations used in them are often of a concentrated, point nature. The aerodynamics of the area of wind devices are shaped by the object itself, which is also the place of their location. Due to the considerable height that allows for limiting the influence of neighbouring buildings, the shaping of the building's body in the aerodynamic context is done with regard to the interference it generates for itself. This allows for greater design freedom and a wider choice of technical and formal-aesthetic solutions. The emerging objects fit into the design assumptions of BAWT objects, and their architectural form is characterized by curves consistent with the aerodynamic determinant, often symmetry and culmination, or formal culminations created by turbo installations. At the level of detail and finishing, the building is dominated by a modern style aspiring towards the avant-garde.

The second direction of solutions concerns smaller-scale facilities that are in direct relation to their surroundings. The local urban layout is of key importance for the aerodynamic context of these assumptions. In this case, designing the aerodynamic profile is based to a greater extent on taking into account the occurrence of local aerodynamic effects caused by the surroundings and finding zones with increased flow velocity. The greater turbulence of the environment also poses difficulties. On the other hand, such design allows for obtaining synergy obtained from the appropriate use of aerodynamic features of the surroundings and the form of the building, which allows for achieving satisfactory aerodynamic efficiency of the system, understood as the energy efficiency of the wind installation of the subject facility. When entering the issues of the dependence of the discussed facilities on the existing surroundings, it is necessary to recall the greater influence of local law provisions on them than in the case of large-scale facilities, which may become another factor exerting pressure on the form of development. Shaping the architectural form in such conditions can become a challenge requiring considerable creativity and creative abilities, which can bring surprising effects. The best example of this is the building of London Kinetics, which in its horizontal projection takes the shape of an aerodynamic profile. To sum up the influence of the scale of the object on its form, it should be noted that in each of the objects considered, a different way of shaping it was found, and none of them shows superior features, and often only a thorough and multi-dimensional analysis of them reveals the intentions of the designers, both in terms of aesthetic and aerodynamic form.

Returning to the influence of the wind turbine itself on the architectural form of the building, it should be noted that despite the very strong formal impact it causes, resulting from its spatial structure, and consequently, optical and physical dynamics, it is difficult to find typical compositional solutions adopted in buildings that would appear solely due to its presence. Characteristic features that appear as a result of its presence, such as the considerable height of buildings, curvilinearity in cross-sections or symmetrical divisions, can be found in buildings that do not use wind energy techniques. In the case of buildings integrated with wind renewable energy sources, however, they take on a different meaning - they represent an energy value. And in this context, movement, dynamics, energy, its influence on the form of the building can be read.

## FORMA ARCHITEKTONICZNA BUDYNKÓW ZE ZINTEGROWANĄ INSTALACJĄ WIATROWĄ

### 1. WPROWADZENIE

Rozpatrując zjawisko turbiny wiatrowej, pierwszą cechą jaką można stwierdzić jest jej konotacja z okręgiem, będącym najważniejszym jej wyznacznikiem. Tworząc rysunek turbiny, w największym uproszczeniu i intuicyjnie wyznacza się okrąg, w dalszej kolejności jej punkt środkowy i w tak określonej granicy doprecyzowuje obraz uzupełniając o detale. Wskazując na znaczenie okręgu w kompozycji architektonicznej przywołać należy przykłady jego użycia w obiektach już istniejących. Z punktu widzenia cech formalno-kompozycyjnych takich jak symetria, wewnętrzne zamknięcie, centralizacja, spójność, miękkość czy zdolność do przedstawiania ruchu, szczególnie w korelacji z kompozycjami spiralnymi lub koncentrycznymi, zbudowanymi na punkcie wspólnym z okręgiem, będącym jego środkiem, forma ta staje się źródłem dowolnej ilości interpretacji. W zależności od skali i kontekstu uzyskuje różny stopień autonomii i znaczenia w kompozycji architektonicznej. Gotycki maswerk, kościoła parafialnego w Bad Wimpfen datowany na 1295/1516 rok, z przedstawieniem rybnich pęcherzy, umieszczony w otworze okiennym niewątpliwie nawiązuje do ruchu obrotowego (Ryc. 1). Dynamika jego formy wyprzedza czas, w którym powstał i świadczy o świadomości architekta o jej roli w kształtowaniu formy architektonicznej. Hotel kapsułowy Nakagin Capsule Tower zaprojektowany przez Kisho Kurokawę, oparty o bryłę zbudowaną z sześcianów tworzy dzięki okrągłym otworom okiennym skojarzenie z formą organiczną, niczym zlepek komórek z wyraźnie zaznaczonymi, centralnie umieszczonymi jądrami (Ryc. 2). Willa O House zaprojektowana przez Philipa Stuebi wykorzystuje rytm i symetrię okrągłych otworów wpisanych w równoległobok ażurowej ściany do ujawnienia transparentnego, przeszklonego wnętrza, wprowadzenia gry światłocieni i podkreślenia plastyki budynku (Ryc. 3). Inną ideę implementacji otwartego okręgu przedstawia Philip Johnson w postmodernistycznym budynku 550 Madison Avenue nawiązującym luźno w swojej stylistyce do elementów klasycznych (Ryc. 4). Okrągły, otwarty od góry otwór, leżący na osi symetrii budowli w najwyższym jej punkcie stanowi zdematerializowane zwieńczenie obiektu. Podane przykłady przedstawiają jedynie niewielki fragment potencjału, obejmującego kontekst formalno-kompozycyjny, jaki są stanie zaoferować formy oparte o geometrię okręgu. Przedstawione w artykule zagadnienia obejmują odniesienia do podstaw teoretycznych kompozycji architektonicznej oraz analiz formalnych istniejących budynków ze zintegrowaną instalacją wiatrową.

Celem badania przedstawionego w artykule jest przeprowadzenie systematyki obiektów architektonicznych z instalacją wiatrową, obejmującej identyfikację ich cech uniwersalnych.

### 2. MATERIAŁY I METODY

Do badania wytypowano osiem obiektów zintegrowanych z zespołami wiatrowymi i przeprowadzono analizę ich geometrii w wymiarze formalno-kompozycyjnym i aerodynamicznym (tab. 1). Wybór obiektów w zakresie reprezentatywności i zgodności z celami badawczymi przyjęto w obszarach: różnorodność form i kompozycji architektonicznej, skalowalności wysokościowej i kubaturowej; zróżnicowania technologicznego; uniwersalności lokalizacyjnej. Pozwoliło to wskazać na zależność między strukturą budowli a zintegrowaną instalacją wiatrową.

Tab. 1. Zestawienie obiektów objętych badaniem. Źródło: Autor, opracowanie własne.

L.p. / pkt. w tekście	Nazwa / lokalizacja	Architekt / funkcja
1. (3.1.1.)	<b>Strata Tower, SE1</b> , nazwa potoczna "Razor", Londyn, Wielka Brytania.	<b>BFLS Architects</b> . Obiekt apartamentowy, usługi w parterze.
2. (3.1.2.)	<b>World Trade Center</b> , Manama, Bahrajn.	<b>Atkins Design Studio</b> . Hotel, apartamenty, usługi, centrum handlowe.

3. (3.1.3.)	<b>Kinetica Building</b> , Londyn, Wielka Brytania.	<b>Waugh Thistleton</b> . Obiekt apartamentowy, usługi i handel w kondygnacjach przyziemnych.
4. (3.1.4.)	<b>Technisches Rathaus</b> , Monachium, Bayern, Niemcy.	<b>Morschek &amp; GHU Architekten GmbH</b> . Siedziba administracji miejskiej.
5. (3.1.5.)	<b>Near North Apartments</b> , Chicago, Illinois, Stany Zjednoczone.	<b>Murphy &amp; Jahn</b> . Obiekt mieszkalny, budownictwo socjalne.
6. (3.1.6.)	<b>Hess Tower</b> , Houston, Teksas, Stany Zjednoczone.	<b>Gensler</b> . Budynek biurowy z obsługą handlowo-usługową.
7. (3.1.7.)	<b>Pearl River Tower</b> , Guangzhou, Chiny.	<b>Skidmore Owings &amp; Merrill</b> . Budynek biurowy o wysokim standardzie.
8. (3.1.8.)	<b>OMRF Research Tower</b> , Oklahoma, Stany Zjednoczone.	<b>Perkins &amp; Will</b> . Budynek wchodzący w skład kompleksu naukowo-badawczego.

W zakresie technicznym obiekty wykazują zróżnicowanie wysokościowe oraz w przyjętym modelu współpracy z urządzeniem wiatrowym: wysokość budynku od (SW) zabudowa średniowysoka do (WW) zabudowa wysokościowa; stopień integracji z systemem wiatrowym: BIWT (budynek zintegrowany z turbiną wiatrową, ang. *building integrated wind turbines*), BMWT (budynek z bezpośrednio montowaną turbiną wiatrową, ang. *building mounted wind turbines*), BAWT (budynek zwiększający moc turbiny wiatrowej, ang. *building augmented wind turbines*), DWT (budynki z turbinami kanałowymi, ang. *ducted wind turbines*) (tab. 2). W przypadku obiektów wykazujących cechy charakterystyczne dla więcej niż jednego sposobu integracji z turbiną wiatrową zaznaczano to w opisie właściwego obiektu. Rodzaje turbin wiatrowych zastosowane w analizowanych obiektach to: HAWT (turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu, ang. *horizontal axis wind turbines*) i VAWT (turbiny o pionowej osi obrotu, ang. *vertical axis wind turbines*).

Tab. 2. Zestawienie tabelaryczne modeli integracji instalacji wiatrowych. Źródło: Autor, opracowanie własne.

Akronim	Pełna nazwa	Opis
Model integracji turbiny z budynkiem		
<b>BIWT</b>	Budynek zintegrowany z turbiną wiatrową, ang. <i>building integrated wind turbines</i>	W tym modelu turbiny wiatrowe nie są fizycznie zintegrowane z konstrukcją budynku i znajdują się w jego najbliższym otoczeniu jako niezależne, dedykowane jednostki montowane na osobnych masztach lub konstrukcjach. Mogą dostarczać energię do budynku, jednak ich lokalizacja i sposób montażu pozwalają na elastyczne dopasowanie do różnych warunków przestrzennych i aerodynamicznych.
<b>BMWT</b>	Budynek z bezpośrednio montowaną turbiną wiatrową, ang. <i>building mounted wind turbines</i>	Turbiny są montowane bezpośrednio na budynku, np. na dachu lub fasadzie. Zaletą tego rozwiązania jest stosunkowo prosty montaż, co umożliwia wdrażanie turbin w istniejących budynkach. Wadą może być konieczność dostosowania konstrukcji do dodatkowego obciążenia.
<b>BAWT</b>	Budynek zwiększający moc turbiny wiatrowej, ang. <i>building augmented wind turbines</i>	Budynek służy jako struktura wzmacniająca przepływ powietrza, co zwiększa efektywność działania turbin. Architektura obiektu jest projektowana z myślą o kierowaniu i przyspieszaniu przepływu powietrza do napędzania turbin, co wymaga precyzyjnego dopasowania formy do wymagań aerodynamicznych.
<b>DWT</b>	Budynki z turbinami kanałowymi, ang. <i>ducted wind turbines</i>	Budynki wyposażone w DWT należą do obiektów mogących generować energię nawet przy niższych prędkościach wiatru. Dodatkową cechą charakterystyczną jest brak wizualnej manifestacji turbiny w bryle obiektu, co może być korzystne przy wybranych rozwiązaniach formalno-kompozycyjnych założonych przez architekta.

Zastosowane metody badania przyjmują analizę formalną operującą w zakresie tematycznym obejmującym aspekty związane z percepcją punktów i miejsc formalnie ważnych; rytmu w przestrzeni, kulminacji formalnej oraz zagadnienia o tendencji do form spoiстых, geometryzacji, liczby ograniczonej, formy silnej, zależności formy od jakości jej części; kierunkowości i przebiegach formalnych; wytycznej formalnej i prawie dobrego kontynuowania. Jako element istotny w kontekście badań wprowadzono opis kwalifikacji aerodynamicznej każdego z obiektów pozwalający szacować skalę wpływu wytycznych aerodynamicznych na formę architektoniczną budynku.

Z punktu widzenia rozważań podstawowych, obejmujących formalny i kompozycyjny aspekt geometrii okręgu i jej wpływu na obiekt architektoniczny wrócić należy do pojęć elementarnych takich jak: spoiłość formy, tendencja do geometryzacji i liczby ograniczonej, tendencja do formy silnej, zagadnień rytmu i kulminacji formalnej. Zakładając simplifikację urządzenia wiatrowego do postaci okręgu, przyjętą na potrzeby rozważań kompozycyjnych uzyskujemy określony zakres parametrów wynikających z jego cech fizycznych. Są to wielkość, dynamika fizyczna turbiny, jej przezierność. W stosunku do formy nadrzędnej, jaką jest obiekt architektoniczny, otrzymujemy zatem mniejszy od niego okrąg lub zespół okręgów, lokalizowane w formalnie istotnych miejscach budynku, takich jak partie szczytowe, krawędzie, bądź celowo do tego zaprojektowane otwory przechodzące przez obiekt i charakteryzujące się znacznym polem działania formalnego. Przyjmując, z kolei zasadę mówiącą o zależności formy od jakości, roli i wielkości części na nią się składających, sformułować można tezę mówiącą o turbinie wiatrowej jako o równoprawnym i integralnym elemencie kompozycji architektonicznej obiektu, podlegającemu wszystkim jej regułom. Za szczególnie istotne w kształtowaniu architektury z użyciem turbin wiatrowych uznać należy zasady mówiące o: punktach i miejscach formalnie ważnych, „intensyfikujących” działanie formy, takich jak zbiegi płaszczyzn i linii, osie symetrii czy kulminacje formalne – są one szczególnie istotne w przypadku projektowania pojedynczej turbiny wiatrowej; oraz zagadnieniach rytmu i jego zakończeniu w przestrzeni, symetrii, czy liczbie ograniczonej – przy rozpatrywaniu form złożonych z zespołów turbin (Żórawski). Opierając się na przedstawionym powyżej ogólnym zakresie interpretacyjnym co do formy turbiny wiatrowej wskazać należy na jej cechy unikalne. Będą to, w każdym przypadku, silnie zaznaczona symetria środkowa, jednoznacznie definiująca jej punkt osadzenia w przestrzeni, oraz każdy dowolny jej kontur pionowy lub poziomy przyjmujący postać osiowo symetryczną. Są to atrybuty korzystne z punktu widzenia wytycznych formalnych definiowanych w większości obiektów architektonicznych i dające się dowolnie korelować z kierunkami pionowymi i poziomymi odnajdowanymi w bryle budynku. Kolejne po symetrii środkowej i osiowej właściwości jakie można zaobserwować to, opisujące jej strukturę niewielki stopień wypełnienia zajmowanej przestrzeni (ażurowość) i czytelność ukształtowania wynikająca z obecności form elementarnych takich jak odcinek i łuk, z których jest złożona.

Kolejnymi istotnymi formalnie cechami są zmienność prędkości obrotowej urządzenia w czasie i dyspozycja do kształtowania efektów świetlnych. Turbiny instalowane w obszarach zurbanizowanych i na obiektach architektonicznych, ze względu na oczekiwaną sprawność energetyczną należą do konstrukcji o niskim wypełnieniu przestrzennym (ażurowość) i zminimalizowanej masie, te właściwości fizyczne w połączeniu z pracą w środowisku aerodynamicznym charakteryzującym się dużą turbulencją sprawia, że prędkość urządzeń ulega dużym wahaniom. Turbina w mgnieniu oka zdolna jest do osiągnięcia znacznych obrotów, by równie szybko zatrzymać się w miejscu. Osiągany efekt wizualny polegający na nagłym przejściu z formy optycznie rozmytej do statycznej sprawia wrażenie pozbawienia jej konstrukcji masy i bezwładności fizycznej, symbolicznie można to przedstawić jako ulotność, nieuchwytność, eteryczność.

Cechy te zyskują na znaczeniu w kontekście źródła światła padającego na urządzenie. Ilustracje dynamiczne powstające pod jego wpływem na strukturze będącej w ruchu podzielić można, ze względu na źródło oświetlenia, na naturalne – będące wynikiem oświetlenia słonecznego, bezpośredniego i rozproszonego, oraz powstające w wyniku oświetlenia sztucznego, a także ze względu na lokalizację tworzonych artefaktów świetlnych – na powstające na powierzchniach turbiny, i formujące się na jej otoczeniu. Wpływ na jakość i intensywność scen mogą mieć: kształt, barwa, zdolność powierzchni do tworzenia refleksów, bądź matowa struktura pochłaniająca promienie padające na turbiny, a także na formy pozostające w obszarze bezpośredniego ich oddziaływania optycznego. Zjawiska wynikające z helioplastyki to wydobycie głębi turbin i podkreślenie ich trój-

wymiarowości, szczególnie w przypadku urządzeń o pionowej osi obrotu. Umożliwiają one na intuicyjne zdefiniowanie pory dnia i roku przez kierunek, długość, czy głębokość rzucanego cienia. Oświetlenie słoneczne pozwala na podkreślenie dynamiki ustroju poprzez wyświetlanie ruchomych cieni na ziemi i innych budynkach, tworzących nieprzewidziane w wielu przypadkach wzory; tworzenie efektów wynikających z zastosowania przezroczystych, bądź półprzezroczystych materiałów do wykonania turbin – zabieg ten, podobnie jak operowanie kolorystyką i fakturą rotorów jest nieocenionym narzędziem przy projektowaniu zabudowy zintegrowanej z turbinami wiatrowymi; wydobywanie refleksów świetlnych z obracających się z różnymi prędkościami łopat rotorów wiatrowych, potęgujących efekt dynamiki struktury; efekty halo i dyfrakcji – powstające jedynie w sprzyjających warunkach atmosferycznych (mgła, rozproszone krople wody) tworzą niemal mistyczne w odbiorze zjawiska aureoli i rozszczepienia światła wokół turbiny. Sztuczne źródła oświetlenia, używane do iluminacji urządzeń wiatrowych, realizowane obecnie za pomocą technologii LED RGB, charakteryzujące się mniejszą mocą i zasięgiem od promieniowania słonecznego, wykorzystywane jest zatem do oświetlania turbin i ich najbliższego otoczenia jedynie przy mocno ograniczonym oświetleniu naturalnym, bądź całkowitym jego braku w porze nocnej. Zalety ich zastosowania to: możliwość uzyskiwania w sposób płynny pełnej palety barw RGB; małe rozmiary pozwalające na dowolne rozmieszczenie oświetlenia; możliwość kształtowania za pomocą soczewek kąta strumienia światła, od dookólnego do wiązki równoległej; możliwość stosowania filtrów projekcyjnych wyświetlających dowolne kształty lub kontury; możliwość mikroprocesorowego sterowania natężeniem, barwą bądź czasem załączania poszczególnych spotów. Umożliwia to kreowanie rozmaitych efektów, w tym o dużej dynamice, nawet na turbinach pozostających w spoczynku. Rozwiązania takie szczególnie chętnie stosowane są przez architektów w przypadku turbin umieszczanych w otwartych wizualnie kolektorach wiatrowych, co pozwala na kształtowanie efektów światłocieniowych tworzonych przez łopaty turbin na powierzchniach mieszczących je kolektorów, np. Strata SE1, Bahrain WTC.

### 3. REZULTATY

#### 3.1. Analiza wybranych obiektów

Poniższe zestawienie zawiera osiem obiektów poddanych analizie. Dla każdego z nich przedstawiono opis ogólny, analizę formy i kwalifikację aerodynamiczną. Zamieszczone ryciny obrazują obiekty w widokach charakterystycznych oraz orientację badanych budynków względem dominujących kierunków wiatru.

##### 3.1.1. Strata SE1; Londyn, Wielka Brytania

**Opis ogólny:** Budynek Strata Tower, znany również jako Strata SE1, a potocznie *Razor*, to charakterystyczny wysokościowiec o przeznaczeniu mieszkalnym znajdujący się w dzielnicy Elephant and Castle w Londynie, w południowo-wschodniej części miasta. Wysokość obiektu wynosi 148 metrów i składają się na nią 43 piętra (Ryc. 5,6,7). Budowę budynku ukończono w 2010 roku. Jest to jeden z najwyższych budynków mieszkalnych miasta i ze względu na umieszczone na jego szczycie trzy turbiny wiatrowe jeden z najbardziej rozpoznawalnych elementów londyńskiej panoramy. Funkcja dominująca przewidziana dla obiektu to luksusowe apartamenty uzupełnione o usługi towarzyszące takie jak siłownia, przestrzeń wspólna, punkty handlowe, czy taras widokowy z dostępną panoramą Londynu. Budynek, ze względu na zastosowane rozwiązania, w tym turbogenerator pokrywający 8% zapotrzebowania na energię elektryczną zalicza się do nurtu architektury zrównoważonej.

**Forma:** smukłą, strzelistą, ze zwieńczeniem przebiegającym według linii prostych, wycinku okręgu i paraboloid powstałych w wyniku przecięcia ścian bocznych ze spadzistą połącją dachu, tworzących kąty ostre w dwóch skrajnych punktach elewacji (współczesna ewokacja iglic). Plan budynku przybiera formę trapezoidalną, z wklęsłą podstawą, eliptycznymi bokami i cofniętym wierzchołkiem. Wytyczne formalne założenia jako podstawę kompozycji przyjmują dominację pionu, będącego głównym atrybutem budowli z będącymi do nich w opozycji wyraźnymi liniami poziomymi ze zmniejszającymi się wraz z wysokością odległościami międzymodułowymi. Na tak zbudowanej

bryle architekt przeprowadza dwie transformacje. Pierwsza to wytlóczenie formy wzdłuż pionowej osi obiektu za pomocą trapezoidalnego profilu o aerodynamicznej charakterystyce, druga to cięcie płaszczyzny dachu pod kątem  $60^\circ$  równoległe do linii elewacji frontowej. Zabiegi te mają ścisły związek z aerodynamiką bryły budynku i nadają mu indywidualny charakter, w kontekście estetycznym oparty o linie przenikania ścian i dachu, powtórzone w uskokach elewacji. Obiekt oglądany z dwóch zasadniczych kierunków rysuje się jako: od strony frontowej, smukły równoległobok wycięty u szczytu fragmentem okręgu; oglądany z boku, to równoległobok z ostro ściętym zwieńczeniem. Plastykę bryły podkreślają eliptyczne linie przenikania krzywizn ścian bocznych z płaszczyzną dachu, podkreślone poprzez powtórzenia w elewacji. Surowy i industrialny charakter elewacji obiektu uwydatniają użyte materiały i kolorystyka. Czerni, szarości i srebra to środki wystarczające by podkreślać, a nie konkurować z efektem wynikającym z formy kubaturowej budynku. Ostatnim elementem definiującym obiekt są trzy pięciopłatowe, dziewięciometrowe turbiny HAWT zainstalowane w oddzielnych kanałach o okrągłym przekroju, zlokalizowane w pryzmatycznym zwieńczeniu i nadające mu ażurową formę i przejrzystość. Całość kompozycji scharakteryzować można jako dynamiczną, opartą o jasno zdefiniowane formy geometryczne, śmiałą i nowoczesną.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Budynek zrealizowano jako obiekt BAWT. Głównymi cechami obiektu, jakie decydują o wydajności energetycznej zespołu wiatrowego są jego wysokość, znacznie przekraczająca wzniesienie sąsiadującej zabudowy i orientacja zgodna z dominującym kierunkiem lokalnie występujących wiatrów. Pozwala to na pracę turbin w środowisku o znikomym udziale turbulencji powodowanych wpływem nieregularnej struktury tkanki miejskiej i w przepływie o największej prędkości. Geometria obiektu podporządkowana jest aerodynamice. Wklęsła ściana czołowa powoduje spiętrzenie przepływu i wzrost ciśnienia statycznego przed budynkiem, eliptyczny na planie kształt po stronie zawietrznej minimalizuje strefę turbulencji powstających z budynkiem mogącą tworzyć obszary intensywnych zaburzeń. Tak ukształtowane środowisko pozwala na stworzenie kontrolowanych warunków pracy kolektora mieszczącego trzy pięciopłatowe turbiny.

### 3.1.2. World Trade Center; Manama, Bahrajn

**Opis ogólny:** Bahrain World Trade Center jest jednym z najbardziej charakterystycznych obiektów w stolicy Bahrajnu, Manamie, jednocześnie prekursorem kierunku inżynierii związanej z integracją systemów do pozyskiwania energii wiatru z budynkami (Ryc. 8,9,10). Obiekt ukończony w 2008 roku składa się z dwóch bliźniaczych wież o wysokości 240 metrów połączonych trzema pomostami będącymi elementami konstrukcyjnymi, ale również pełniącymi funkcję wsporników dla zainstalowanych na nich turbogeneratorów wiatrowych. Warunki wietrzne wynikające z bezpośredniej lokalizacji nad brzegiem Zatoki Perskiej sprawiają że urządzenia o średnicy dwudziestu dziewięciu metrów pokrywają około 11-15% całkowitej energii niezbędnej do funkcjonowania budynku, co stawia go w czołówce obiektów tego typu. Przewidziana funkcja zawiera nowoczesne przestrzenie biurowe, hotelowe wraz z zapleczem gastronomicznym, konferencyjnym i rekreacyjnym, u podstawy wież zlokalizowano luksusowe centrum handlowe.

**Forma:** smukłą, osiowo symetryczną formą podzieloną na dwie bryły. Z punktu widzenia zagadnień fizycznych i funkcjonalnych obiektu będące od siebie niezależnymi. Poza łączącymi je pomostami i partią przyziemia o relatywnie niewielkiej wysokości obiekty mogłyby funkcjonować niezależnie. W znaczeniu wizualnym, ze względu na symetrię stają się nierozzerwalne, szczególnie w kontekście trzech turbin wiatrowych o poziomej osi obrotu, tworzących element łączący w postaci trzech okręgów zakreślanych przez łopaty wirników. Geometria założenia zbudowana jest w oparciu o linie proste pionowe, linie ukośne, symetryczne względem siebie i tworzące zarys bryły obiektu, oraz wycinki okręgów opisujące kształt planu budynku. W celu uzyskania na kolejnych kondygnacjach zmniejszającego się przekroju poziomego wież architekt użył zabiegu transformacji precyzinając zbieżnymi do siebie płaszczyznami pierwotną formę wynikającą z rzutu znajdującą się na wysokości parteru. Uzyskano w ten sposób pochylone ściany boczne o wydłużonych zarysach rzutów wież. Z punktu widzenia percepcji wizualnej założenia intrygujące jest położenie fizycznego i optycznego punktu ciężkości. Znajduje się on poza właściwą strukturą fizyczną budynku, w przestrzeni operowania urządzeń do konwersji energii wiatru. Łączy optyczną dynamikę bryły z rzeczywistym ruchem turbin wiatrowych.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Sposób integracji, zgodnie z którym zrealizowano obiekt to BAWT. Forma budynku jest całkowicie podporządkowana zjawiskom aerodynamicznym. Orientacja założenia zgodna z dominującym kierunkiem wiatru wiejącego z nad Zatoki Perskiej. Cały obiekt, składający się z dwóch opływowych i symetrycznie zlokalizowanych wież, tworzy strukturę kolektora wiatrowego skupiającego przepływ na centralnie zlokalizowanych w szyku pionowym trzech turbin wiatrowych. Elementy mogące generować przepływ turbulentny zredukowano do minimum. Zwraca uwagę rezygnacja z założenia zlokalizowania instalacji wiatrowej w najwyższym punkcie obiektu na rzecz zwiększenia jej powierzchni czynnej, zapewniającej maksymalizację strumienia powietrza przechodzącego przez turbiny.

### 3.1.3. Kinetica Building; Londyn, Wielka Brytania

**Opis ogólny:** Budynek Kinetica znajduje się w Londynie, w dzielnicy Dalston, która od początku XXI wieku przeszła znaczną transformację obejmującą przebudowę i rewitalizację obszaru (Ryc. 11,12,13). Kontekst urbanistyczny w jaki wpisano ukończony w 2010 roku nowoczesny obiekt to sąsiedztwo arterii komunikacyjnej i tradycyjna zabudowa historyczna o znacznie mniejszej od niego wysokości, co miało wpływ na możliwość integracji budynku z systemem do konwersji energii wiatru. Na południowej ścianie budynku zaprojektowano instalację wiatrową składającą się z czterech turbin Darieusa będących w stanie pokryć 15% zapotrzebowania na energię elektryczną. Ze względu na potrzebę minimalizacji oporu przepływu mas powietrza wokół budynku nadano mu charakterystyczny, spłaszczony kształt, a jego rzut poziomy przyjmuje postać trójkąta z mocno wydłużonymi ramionami i wyoblonymi wierzchołkami. Budynek przeznaczony na apartamenty mieszkalne i funkcje biurową i handlową zlokalizowaną w przyziemiu.

**Forma:** wąski, wydłużony graniastosłup na planie trójkąta o niewielkiej wysokości i znacznej długości podstawy, przy zachowaniu podobnej długości ramion do niej przylegających. W wierzchołki wpisano okręgi wprowadzające łagodne przejścia płaszczyzn bryły. Taki sposób kształtowania obiektu wynika z jego integracji z instalacją wiatrową i koniecznością zapewnienia jej optymalnego środowiska aerodynamicznego. Odbiór wizualny obiektu w dużym stopniu zależy od miejsca obserwacji i zmieniać się może od wrażenia smukłości potęgowanego pionowym rytmem balkonów na planie okręgu, tworzących zakończenie po obydwu stronach dłuższego boku, po planarność tworzoną przez najdłuższą ścianę o podobnym wymiarze wysokości i szerokości. W elewacji silnie zaznaczony podział kondygnacyjny poprzez podkreślenie ciemnymi pasami międzyokiennymi poziomów na tle białych ścian budynku. Monotonię poziomych podziałów przełamuje brak powtarzalności otworów okiennych na poszczególnych poziomach. Od strony południowej, w miejscu przewidzianym na instalację wiatrową projektant pozostawił gładki obszar pozbawiony otworów okiennych i jakichkolwiek innych elementów mogących zakłócać przepływ powietrza, podkreślając go dodatkowo inną barwą wykończenia elewacji. Całość kompozycji sprawia wrażenie minimalistycznej. Kwintesencją formy jest plan założony na kształcie o aerodynamicznej charakterystyce, podniesiony wzdłuż pionowej osi obiektu aż do jego dachu.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Klasyfikacja rodzaju integracji z turbozespołem, w którym zrealizowano budynek może wykazywać rozbieżności. Pierwsza ocena wskazuje na BMWT ze względu na pozornie znaczną autonomiczność turbozespołu w stosunku do obiektu. Jednak po analizie bryły otrzymujemy wskazanie na strukturę BAWT. Forma budynku jest mocno spłaszczonym graniastosłupem z wyoblonymi krawędziami pionowymi, którego podstawa przypomina profil lotniczy. Uzyskano w ten sposób zwiększenie prędkości wiatru w górnej jego części, a pionowy zespół turbin Darieusa umieszczono w obszarze największego przyspieszenia strugi laminarnej, tuż przed jej przejściem w formę przepływu turbulentnego. Dla zwiększenia skuteczności aerodynamicznej profilu budynku zrezygnowano z otworów okiennych na wysokości turbin wiatrowych. Wszystkie cechy struktury obiektu wykazują na działanie intencjonalne w kierunku poprawy jego właściwości aerodynamicznych, co jednoznacznie kwalifikuje go do obiektów BAWT.

### 3.1.4. Technisches Rathaus; Monachium, Bayern, Niemcy

**Opis ogólny:** Zaprojektowany przez architekta Helmuta Jahna Technisches Rathaus München został oddany do użytku w 2004 roku (Ryc. 14,15). Obiekt pełni funkcję użyteczności publicznej



będąc siedzibą wydziałów technicznych miasta Monachium. W skład zespołu budynków wchodzi cztery sześciokondygnacyjne biurowce na planie czworoboku z zielonym dziedzińcem wewnątrz kompleksu i zlokalizowana w północnym narożniku założenia cylindryczna wieża. Na szczycie konstrukcji na wysokości 45. metrów zainstalowano centralnie umieszczoną, pojedynczą turbinę wiatrową typu Darieusa o średnicy 2,5 metra i mocy 2 kW, zdolną wygenerować około 3500 kWh rocznie, w zależności od warunków wiatrowych.

**Forma:** forma budynku środkowo symetryczna, na planie okręgu. Zwieńczenie stanowią dwie kondygnacje techniczne o zmniejszających się ku górze średnicach i turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu, pokrywającej się z osią budynku. Wielkość rzutu poziomego okręgu określanego przez łopaty turbiny wiatrowej jest zbliżona do średnicy budynku w jego partii szczytowej co jest korzystne z punktu widzenia wiatrowych warunków pracy urządzenia. Założenie w formie smukłego, pionowego walca ma charakter typowo punktowy i stanowi silny akcent w otaczającej go przestrzeni urbanistycznej. Ze względu na symetrię względem środka i wieńczącą turbinę wiatrową o pionowej osi obrotu budynek widziany z każdej strony przedstawia się jednakowo, co dodatkowo wzmacnia jego oddziaływanie formalne i czyni doskonałym akcentem urbanistycznym i punktem orientacyjnym.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Cylindryczna bryła budynku może stanowić element przyspieszający przepływ w swojej szczytowej partii, będącej miejscem lokalizacji turbiny wiatrowej. Jednocześnie stanowi element wyniesienia instalacji w strefę zwiększonej prędkości wiatru gradientowego. Stąd obiekt można zakwalifikować jako noszący cechy obydwu modeli współpracy z turbiną wiatrową: BAWT i BMWT. Przy czym umieszczenie turbiny na dużej wysokości jest w tym wypadku kluczowym czynnikiem mającym wpływ na korzystne środowisko wiatrowe.

### 3.1.5. Near North Apartments; Chicago, Illinois, Stany Zjednoczone

**Opis ogólny:** Near North Apartments to posiadający pięć kondygnacji obiekt zaprojektowany przez biuro architektoniczne JAHN (Ryc. 16,17). Budynek wzniesiono z myślą o osobach o niskich dochodach, jako mający zapewnić mieszkania socjalne wraz z ich obsługą obejmującą recepcję, pomieszczenia biurowe, sale spotkań, pralnię, przechowalnię rowerów i komórki lokatorskie. Celem inwestora było stworzenie budynku przy użyciu niewielkich nakładów finansowych i w jak najkrótszym czasie z jednoczesną możliwością obniżenia kosztów jego eksploatacji z wykorzystaniem „zielonych” technologii.

**Forma:** Forma obiektu prosta, przypominająca leżący na dłuższym boku prostopadłościan, cechy charakterystyczne ujawniają się w szczegółach. Zamknięcie obiektu po obydwu jego krótszych bokach stanowią cofnięte do wnętrza, w całości przeszklone ściany z pionowo biegnącą linią załamania w środkowej płaszczyźnie budynku. Dłuższe ściany boczne, biegnące równoległe do ulicy, przy której zlokalizowano założenie odchylają się nieco na zewnątrz, a w szczytowej partii przechodzą płynnie w płaszczyznę dachu zwieńczonego zespołem turbin wiatrowych w formie transparentnego, cylindrycznego pasa.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Budynek średniej wysokości, zlokalizowany w obszarze zurbanizowanym, o podobnym wzniesieniu budynków sąsiednich. Korzystny układ aerodynamiczny zapewniają kanion szerokiej ulicy przy której stoją równoległe do niej budynki, tworzące zwarty pas elewacji i duży plac parkingowy pobliskiego marketu. W połączeniu z dominującym kierunkiem wiatru, tworzącym kąt ostry z osią ulicy. Układ taki jest typowy dla zjawiska aerodynamicznego określanego jako efekt wydłużonego budynku (ang. *bar effect*), (Flaga 2008). W rezultacie masy powietrza napotykając budynek spiętrzają się przepływając nad nim i opadają po stronie zawietrznej, powodując miejscowy wzrost prędkości strugi i liczne zawirowania. Uwagę zwraca nietypowy montaż turbin VAWT, będących urządzeniami o pionowej osi obrotu i dookólnej charakterystyce kierunkowej. W opisywanym przypadku zdecydowano się na montaż poziomy, łącząc ze sobą jednocześnie dwa rodzaje turbin wiatrowych: Darieusa i Savoniusa, posiadających inną zasadę działania i inną charakterystykę pracy w kontekście zakresów użytecznych prędkości wiatru. Świadczy to o bardzo przemyślanym podejściu do kwestii instalacji do konwersji energii wiatru, zaprojektowanej dla budynku. Założenie można uznać za modelowe ze względu na wykorzystanie cech ae-

rodynamicznych otoczenia urbanistycznego, bryłę budynku, korelację przestrzenną z panującymi lokalnie warunkami wiatrowymi i zastosowaną turboinstalacją.

### 3.1.6. Hess Tower; Houston, Teksas, Stany Zjednoczone

**Opis ogólny:** Hess Tower to nowoczesny budynek wysokościowy znajdujący się w Houston, w stanie Teksas (Ryc. 18,19). Budynek został ukończony w 2010 roku, ma dwadzieścia dziewięć kondygnacji i wznosi się na wysokość 149 metrów. Funkcja obiektu głównie biurowa z obsługą obejmującą przestrzenie wspólne dla pracowników, sale konferencyjne, restauracje i centrum fitness. Budynek spełnia standardy budownictwa zrównoważonego i posiada certyfikat LEED Gold. Na szczycie budynku zaprojektowano kolektor wiatrowy przeznaczony dla dziesięciu turbin o pionowej osi obrotu VAWT, jednak na skutek problemów technicznych i mniejszej niż zakładana wydajności energetycznej zespołu zdecydowano o ich usunięciu.

**Forma:** Obiekt w formie spłaszczonego sześcianu o dużej wysokości i smukłej sylwetce. Fasada szklana o wysokiej przejrzystości podkreśla lekkość konstrukcji i umożliwia wizualną manifestację horyzontalnych podziałów międzykondygnacyjnych tworzących rytm i wzbogacających estetykę. W formie obiektu złamano jego symetrię wprowadzając w południowym narożniku załamanie i wycofanie fragmentu elewacji. Zabieg dodaje formie dynamiki i wpływa na jej charakterystykę aerodynamiczną. Zwieńczenie budynku stanowi kolektor wiatrowy skomponowany w oparciu o linie proste i płaszczyzny, będący kontynuacją założeń estetycznych obiektu.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Smukła, wysoka i spłaszczona bryła budynku oraz forma kolektora wiatrowego umieszczonego na szczycie, współpracującego z liniowym zespołem turbin VAWT są korzystne w przypadku założeń zorientowanych frontalnie do dominującego kierunku wiatru lokalnego. Warunki takie sprzyjają wzrostowi ciśnienia statycznego przed obiektem i jego spadkowi za nim, co w opisie ogólnym zjawiska niemal zawsze prowadzi do zwiększenia prędkości przepływu wokół, prostopadłego do kierunku wiatru, obrysu obiektu. Zderzenie wiatru z prostopadłą przeszkodą doprowadza do zmiany jego kierunku, a wzrost prędkości dochodzić może do 300% prędkości nominalnej (Zielonko s.45). Opisany budynek nie spełnia jednak tych założeń z powodu niewłaściwej orientacji. Kierunek wiatru przeważającego tworzy z elewacją frontową kąt ostry, co powoduje jedynie zmianę jego kierunku i wzrost prędkości na wysokości zachodniej krawędzi obiektu. Hess Tower jest przykładem jak nieprawidłowe określenie jednego założenia wstępnego kształtującego aerodynamikę struktury może wpłynąć na rezultat całego przedsięwzięcia.

### 3.1.7. Pearl River Tower; Guangzhou, Chiny

**Opis ogólny:** Pearl River Tower jest budynkiem wysokościowym zlokalizowanym w Guangzhou, w Chinach (Ryc. 20,21,22). Zaprojektowany przez Skidmore, Owings & Merrill i ukończony w 2011 roku. Budynek ma 71 kondygnacji i osiąga wysokość 309,7 metra. Obiekt wpisuje się w nurt architektury zrównoważonej i jest certyfikowany na poziomie LEED Platinum. Posiada liczne systemy oszczędzania i pozyskiwania energii, w tym wiatrowej. Jest to jedyny budynek wielkoskalowy, w którym zastosowano turbozespoły kanałowe wbudowane w jego strukturę.

**Forma:** Znaczna wysokość budynku podkreśla jego smukłość. Pomimo wertykalnej sylwetki, sugerującej przyjęcie wytycznych formalnych obiektu wynikających z form prostych i pionowych, jego bryłę zbudowano w oparciu o zasady geometrii krzywoliniowej. Podzielono ją za pomocą dwóch horyzontalnych pasów na trzy sekcje pełniące funkcje eliptycznych powłok kierujących strumień wiatru do okien czterech turbin kanałowych zlokalizowanych na dwóch poziomach budynku. Szklana, lustrzana elewacja frontowa budynku, o wypukłej formie sprawia wrażenie soczewki, zniekształcając padający na nią obraz sąsiednich zabudowań i nieba. Na płaskich ścianach bocznych, o eliptycznym zarysie podkreślono miejsca, w których znajdują się kondygnacje turbin wiatrowych. Forma budynku robi wrażenie niezwykle lekkiej i dynamicznej, co podkreśla jej ekologiczny charakter.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** ściana nawietrzna budynku tworzy, dla prostopadle do niej skierowanego wiatru, przeszkodę o znacznej powierzchni i dużej wysokości. Są to warunki korzystne do wystąpienia różnicy ciśnień statycznych przed i za obiektem. Elementami łączącymi te obszary są

cztery, przechodzące wskrośnie przez budynek, kanały z zainstalowanymi w nich turbinami wiatrowymi. Rozwiązanie jest typowe dla obiektu DWT. Dodatkowym elementem zwiększającym prędkość przepływu mas powietrza w kanałach jest odpowiednio profilowana elewacja budynku.

### 3.1.8. OMRF Research Tower; Oklahoma, Stany Zjednoczone

**Opis ogólny:** Oklahoma Medical Research Foundation Research Tower to oddany do użytku w 2011 roku nowoczesny budynek znajdujący się w Oklahoma City, stanowiący część kampusu OMRF (Oklahoma Medical Research Foundation) (Ryc. 23,24,25). Obiekt wchodzi w skład zabudowań zapewniających bazę lokalową do prowadzenia działalności statutowej fundacji. W obiekcie przewidziano laboratoria, sale konferencyjne i inne przestrzenie wspomagające działalność badawczą oraz pomieszczenia techniczne zapewniające jego bieżące funkcjonowanie. Budynek zaprojektowano jako przyjazny dla środowiska implementując liczne rozwiązania techniczne typowe dla budownictwa zrównoważonego, w tym turbiny wiatrowe.

**Forma:** Budynek średniej wielkości, oparty w swej kompozycji o kierunki pionowe i poziome. Geometria sześcienna o typowo addytywnym charakterze może sprawiać wrażenie nieco zbyt chaotycznej. Ze względu na swój proekologiczny charakter budynek został wyposażony w szklane, transparentne ściany, pozwalające w ciągu dnia na swobodne operowanie światła naturalnego, a po zmierzchu pozwalające rozświetlić jego bryłę oświetleniem używanym wewnątrz. Kubaturę budynku objęto pionowymi i poziomymi pasami elewacyjnymi wprowadzając rytm i definiując dominujący kierunek w bryle na planie zbliżonym do kwadratu. Podkreślono w ten sposób lokalizację elewacji frontowej i poprzez wyniesienie konstrukcji powyżej poziom dachu stworzono formę kolektora wiatrowego, mieszczącego zespół turbin helikalnych, o pionowej osi obrotu. Forma turbin, jako jedyna w całym obiekcie implementuje do kompozycji elementy krzywoliniowe, a w połączeniu z ruchem urządzeń wprowadza silny akcent w partii szczytowej budynku. Pomimo zastosowania pasów elewacyjnych budynek sprawia wrażenie dość przypadkowo połączonych modułów, a zastosowanie transparentnych ścian i zbyt rozbitego detalu może powodować odczucie dezorganizacji.

**Kwalifikacja aerodynamiczna:** Elewację frontową Budynku zorientowano zgodnie z dominującym kierunkiem występujących lokalnie wiatrów. Zespół wiatrowy obiektu podzielono na dwie grupy turbin umieszczonych w kolektorach wiatrowych znajdujących się na płaskim dachu po jego przeciwnych stronach. Rozmieszczenie takie pozwoliło uniknąć wzajemnego przesłaniania urządzeń powstającym podczas ich pracy cieniem aerodynamicznym. Zastosowano helikalne, podwójnie skręcone turbiny o pionowej osi obrotu i niewielkiej średnicy, pracujące z wykorzystaniem zasady parcia przepływu powietrza. Znaczne odległości międzyosiowe konwerterów wiatrowych pozwalają zachować dość swobodny przepływ i niewielkie zakłócenia wzajemne. Pomimo, że wątpliwości budzi fragmentacja kolektora wiatrowego, wynikająca ze względów estetycznych, zastosowane w obiekcie rozwiązania posiadają wiele cech uniwersalnych i mogą być implementowane w budynkach o podobnym charakterze.

### 3.2. Zidentyfikowane cechy

Przeprowadzone analizy indywidualne dla każdego z obiektów pozwoliły na określenie cech charakterystycznych będących podstawą do sformułowania wniosków. Wybrane cechy i ich deskrypcję przedstawiono w tabeli 3. Obejmują one smukłość obiektu, jako cechę mającą szczególne znaczenie w przypadku obiektów typu BAWT; korelację ze strukturą urbanistyczną, mającą ścisły związek z modelem aerodynamicznym otoczenia obiektów pozostających w bezpośredniej relacji wysokościowej z obiektami sąsiadującymi; miejsce instalacji zespołu wiatrowego w bryle budynku oraz rodzaj urządzeń do konwersji energii wiatru i model integracji turbin wiatrowych z obiektem, według obowiązującej w literaturze przedmiotu klasyfikacji.

Tab. 3. Opis cech przyjętych w badaniu. Źródło: Autor, opracowanie własne.

Cecha	Opis
Smukłość obiektu	Stosunek szerokości podstawy do wysokości budynku. W opisie przyjmowano bok podstawy mający kluczowe znaczenie dla analizy formy.
Korelacja z otoczeniem	Wybrane obiekty przyjmowały dwie formy korelacji z otoczeniem. Mała – dla obiektów wysokościowych, charakteryzujących się dużą niezależnością formalną od otoczenia; duża – dla obiektów wpisanych w tkankę urbanistyczną lokalnej zabudowy.
Rodzaj formy	Przyjęto podział w kontekście wytycznych formalnych budowy bryły w oparciu o linie proste horyzontalne i wertykalne, odcinki krzywoliniowe i proste o dowolnych kierunkach. W klasyfikacji oznaczono cechę dominującą w kompozycji: prostoliniowe, krzywoliniowe, mieszane.
Miejsce instalacji turbin	Dwie wartości: szczyt obiektu, instalacja pośrednia: szczytowa/pośrednia.
Rodzaj turbin	Turbiny o poziomej osi obrotu HAWT; turbiny o pionowej osi obrotu VAWT.
Rodzaj integracji budynku z turbiną	BMWT; BAWT; DWT. Wybór obiektów nie uwzględnia integracji typu BIWT.

Tabela 4 przedstawia komparatywne zestawienie ustalonych cech z badanymi obiektami i stanowi materiał porównawczy dla przyjętych przez autora wniosków.

Tab. 4. Zestawienie porównawcze cech z badanymi obiektami. Źródło: Autor, opracowanie własne.

		Obiekt							
		Strata SE1	Bahrain WTC	Kinetica London	Technisches Rathaus, München	Near North Apartments	Hess Tower, Houston	Pearl River Tower	Oklahoma OMRF Research Tower
Cecha	Smukłość obiektu	duża	duża	średnia	duża	małą	duża	duża	mała
	Korelacja z otoczeniem	mała	mała	średnia	mała	duża	mała	mała	duża
	Rodzaj formy	krzywoliniowa	krzywoliniowa	krzywoliniowa	mieszana	prostoliniowa	prostoliniowa	krzywoliniowa	prostoliniowa
	Miejsce instalacji turbin	szczytowa	pośrednia	pośrednia	szczytowa	szczytowa	szczytowa	pośrednia	szczytowa
	Rodzaj turbin	HAWT	HAWT	VAWT	VAWT	VAWT	VAWT	DWT	VAWT
	Rodzaj integracji budynku z turbiną	BAWT	BAWT	BAWT	BAWT/BMWT	BMWT	BAWT	BAWT	BMWT

Zestawienie obiektów ujawniło cechy trudne lub niemożliwe do porównania, każdy przypadek i zastosowane w nim rozwiązania należałoby traktować indywidualnie. Rozpatrując cechy formalne architektury, jako determinanty jej kształtowania przyjmujemy reguły dotyczące budowy kompozycji architektonicznej, warsztat, wrażliwość i intencje twórcy. W przypadku architektury wiatrowej zyskujemy nową warstwę zależności aerodynamicznych. Multiplikacja możliwych zestawień powodu-

je trudność w kategoryzacji rozwiązań. Przeprowadzona analiza pozwoliła zaobserwować zbiór cech uniwersalnych:

- Wraz ze wzrostem skali obiektu obserwuje się tendencję do całkowitej integracji bryły budynku z instalacją wiatrową (struktura BAWT), w niewielkich realizacjach cecha ta ujawnia się mniejszym stopniu.
- Obiekty małoskalowe wykazują większą zależność od otoczenia urbanistycznego. Zarówno w kontekście formalnym, jak i aerodynamicznym.
- W obiektach wielkoskalowych łatwiejsza jest implementacja form krzywoliniowych, budynki niewielkie z reguły kształtowane są w oparciu o geometrie prostoliniową horyzontalno-wertykalną.
- mniejsze obiekty dają się łatwiej kształtować jako formy niesymetryczne, w obiektach wielkoskalowych trudno jest odejść od zasad symetrii. Ich monumentalna bryła w naturalny sposób koresponduje z symetrią, będącą cechą form silnych.
- obiekty wielkoskalowe wykazują większą autonomię stylistyczną i formalno-estetyczną.
- bardziej wydajny energetycznie rodzaj turbin HAWT jest częściej spotykany w obiektach dużych. Obiekty mniejsze lepiej adaptują turbiny VAWT będące przystosowane do pracy przy niższych prędkościach wiatru i w środowisku turbulentnym. Wyjątek stanowią niewielkie urządzenia HAWT montowane jako wieloturbinowe zespoły krawędziowe na szczytach budynków o znacznej długości.

Z przedstawionej obserwacji wyłania się podział przebiegający na linii wyznaczającej skalę obiektu. Nie należy go jednak traktować kategorycznie, lecz jako jeden z kierunków prowadzonych rozważań. Istotnym byłoby potwierdzenie powyższych cech, dotyczących budynków zintegrowanych z wiatrowymi źródłami energii odnawialnej, w korelacji z innymi obszarami badań, obejmującymi na przykład aerodynamikę czy konstrukcję.

#### 4. DYSKUSJA

Dotychczasowe badania nad formą budynków ze zintegrowanymi instalacjami wiatrowymi skupiają się nad ich kwalifikacją aerodynamiczną. Zależności powstające na linii: efektywność aerodynamiczna – estetyka obiektu są pomijane, a wnioski z nich wynikające można formułować pośrednio. Przedstawia to, wprowadzony przez I. Abohele (2012), podział ze względu na przyjętą relację budynku do instalacji wiatrowej. Zakłada on cztery rodzaje budynków współpracujących z instalacjami: BIWT – wolnostojące turbiny wiatrowe pracujące w pobliżu budynków i wykorzystujące wzrost prędkości przepływu wiatru spowodowany otaczającą zabudową – nie wybrano obiektu w tej klasyfikacji projektowej; BMWT – systemy wiatrowe bezpośrednio montowane na obiekcie będącym dla nich podstawą i służącym do zwiększenia energii wiatru trafiającego do turbin; BAWT – rodzaj integracji podporządkowujący architekturę budynku maksymalizacji wydajności energetycznej instalacji wiatrowej; DWT – rodzaj turbin zabudowanych, pracujących w specjalnie zaprojektowanym kanale zintegrowanym konstrukcyjnie i aerodynamicznie z budynkiem, stosowane tam, gdzie mamy do czynienia z dużą różnicą ciśnień w miejscach wlotu i wylotu kanału. Na tej podstawie Abochela określa w swoich badaniach optymalne dla energetyki wiatrowej kształty dachów, co stanowi rekomendację do sposobu kształtowania formy architektonicznej obiektu. Inny rodzaj rozważań prowadzonych na płaszczyźnie sztuk plastycznych i mogący znaleźć odniesienie do form reprezentowanych przez turbiny wiatrowe przedstawia Wassily Kandinsky. W prowadzonych badaniach definiuje pojęcie siły łączącej punkt z odcinkiem lub łukiem, i nadającej im charakter dynamiczny. Badacz określa linię jako przekształcenie punktu, będącego pod wpływem napięcia (siły) i kierunku. Różne konfiguracje tych dwóch wartości tworzą gwiazdę zorganizowaną z linii znajdujących swój początek w jednym punkcie. W miarę wzrastania liczby linii układ tworzy coraz bardziej zwarty środek, w którym wydaje się rosnać punkt środkowy aż do powstania nowej formy – płaszczyzny w kształcie koła. Analogiczną dedukcję możemy przeprowadzić w przypadku łuku, będącego przesuniętym pod wpływem siły i zmieniającego się w czasie kierunku punktem. Pomimo że prowadzone

rozważania odbywają się na gruncie sztuk plastycznych i w kontekście statycznym, a ich dynamika może wpływać jedynie z symboliki i percepcji ludzkiego oka nie sposób nie dostrzec analogii do formy turbiny wiatrowej, będącej ustrojem fizycznie dynamicznym. Można tu zauważyć szczególną cechę: podobnie jak w przypadku linii przedstawianych przez Kandinskiego i mających zdolność do tworzenia płaszczyzny, tak rozpatrując postać turbiny wiatrowej stwierdzimy, że obracające się z dużą prędkością urządzenie będzie tworzyć trójwymiarową, przezierną strukturę obrotową z różnym stopniem wypełnienia, zależnym od odległości od jej osi obrotu i objętości bryły tworzącej obiekt w poszczególnych miejscach zajmowanej przestrzeni (Kandinsky 1976). Strukturę postrzeżaną i tworzoną przez zmysły perceptora, nieistniejącą jednak w statycznym opisie fizycznego obiektu jakim jest turbina wiatrowa. Dualizm ten, wynikający z uzależnienia od siły napędzającej turbinę jaką jest wiatr, należy przyjąć jako immanentną cechę jej formy. Niezmienne pozostają tylko linia prosta wyznaczająca oś obrotu urządzenia i wyimaginowane okręgi do niej prostopadłe, zakreślane przez konstrukcję łopat. Pozostałe atrybuty strukturalne takie jak linearność, objętość, przezierność wykazują zależność od wartości siły napędowej rozłożonej stochastycznie w czasie. W opisanym ujęciu turbina wiatrowa zintegrowana z obiektem architektonicznym przedstawia się jako obiekt reaktywny, a jej oddziaływanie wizualne stoi w kontraście do statyki budynku. Przytoczone badania nie odnoszą się w sposób bezpośredni do tematyki formy architektonicznej budynków ze zintegrowanymi instalacjami wiatrowymi, lecz mogą być podstawą do badań prowadzonych w tym zakresie.

## 5. PODSUMOWANIE

Obiekty przyjęte w badaniu stanowią grupę o dużym zróżnicowaniu formalnym i skalowym. Zastosowane w nich turbiny wiatrowe przedstawiają przekrój dostępnych, dobrze zbadanych i powszechnie stosowanych urządzeń do konwersji wiatru co pozwala wskazać na dużą uniwersalność otrzymanych rezultatów (z badania wykluczono ustroje eksperymentalne i prototypowe). Otrzymane wnioski operują w kilku aspektach. Są to: skala obiektu, jego forma architektoniczna, aerodynamika oraz kontekst turbiny wiatrowej jako dynamicznej formy przestrzennej.

Wpływ skali obiektu na cechy formy architektonicznej wprowadza dwa kierunki rozwiązań projektowych. Budynki wielkoskalowe, wysokościowe pozwalają na wykorzystanie ich konstrukcji do umieszczenia instalacji wiatrowej w strefie o niewielkich turbulencjach i znacznym wzroście prędkości przepływu. Będąc najczęściej obiektami o dużej smukłości podlegają innym regułom kształtowania aerodynamiki i nie występują w ich przypadku problemy z przesłanianiem wiatru przez budynki sąsiednie. Stosowane w nich instalacje wiatrowe mają często charakter skupiony, punktowy. Aerodynamika obszaru urządzeń wiatrowych kształtowana jest przez sam obiekt, będący jednocześnie miejscem ich lokalizacji. Ze względu na znaczną wysokość pozwalającą ograniczyć wpływ zabudowy sąsiedniej kształtowanie bryły budynku w kontekście aerodynamicznym odbywa się pod kątem zakłóceń jakie generuje ona sama dla siebie. Pozwala to na większą swobodę projektową i szerszy wybór rozwiązań technicznych oraz formalno-estetycznych. Powstające obiekty wpisują się w założenia projektowe obiektów BAWT, a ich formę architektoniczną cechują krzywizny zgodne z determinantą aerodynamiczną, często symetria i kulminacja, bądź kulminacje formalne tworzone przez turboinstalacje. Na poziomie detalu i wykończenia budynku dominuje nowoczesna stylistyka aspirująca w kierunku awangardy.

Drugi kierunek rozwiązań dotyczy obiektów o mniejszej skali, pozostającej w bezpośredniej relacji do ich otoczenia. Dla kontekstu aerodynamicznego tych założeń kluczowe znaczenie ma lokalny układ urbanistyczny. Projektowanie profilu aerodynamiki w tym przypadku opiera się w większym stopniu na uwzględnianiu występowania lokalnych efektów aerodynamicznych powodowanych przez otoczenie i odnajdowaniu stref o podwyższonej prędkości przepływu. Trudności nastręcza również fakt większej turbulencji środowiska. Z drugiej strony projektowanie takie daje możliwość uzyskiwania synergii otrzymanej z odpowiedniego wykorzystania cech aerodynamicznych otoczenia i formy budynku, co pozwala na osiągnięcie zadowalającej sprawności aerodynamicznej układu, rozumianej jako wydajność energetyczna instalacji wiatrowej przedmiotowego obiektu. Wchodząc w zagadnienia zależności omawianych obiektów od zastanego otoczenia przypomnieć należy większy wpływ na nie, niż to ma miejsce przy obiektach wielkoskalowych, zapisów prawa

miejscowego, które mogą stać się kolejnym czynnikiem wywierania presji na formę zabudowy. Kształtowanie formy architektonicznej w tak opisanych warunkach może stać się wyzwaniem wymagającym znacznej kreatywności i zdolności twórczych, co może przynieść zaskakujące efekty. Najlepszym tego przykładem jest budynek londyńskiej Kinetiki, przybierający w swym rzucie poziomym kształt profilu aerodynamicznego. Podsumowując wpływ skali obiektu na jego formę należy zauważyć, że w każdym z rozpatrywanych obiektów znaleziono odmienny sposób jej kształtowania, przy czym żaden z nich nie wykazuje cech nadrzędnych, a niejednokrotnie dopiero dokładna i wielopłaszczyznowa ich analiza ujawnia intencje projektantów, zarówno co do formy estetycznej, jak i aerodynamicznej.

Wracając do wpływu samej turbiny wiatrowej na formę architektoniczną budynku należy stwierdzić, że pomimo powodowanego przez nią bardzo silnego oddziaływania formalnego, będącej wynikiem jej struktury przestrzennej, a co z tym się wiąże, optycznej i fizycznej dynamiki, trudno znaleźć typowe rozwiązania kompozycyjne przyjmowane w obiektach, jakie pojawiałyby się wyłącznie pod wpływem jej obecności. Cechy charakterystyczne, pojawiające się na skutek jej obecności, takie jak znaczna wysokość budynków, krzywoliniowość w przekrojach czy symetryczne podziały odnaleźć można w budownictwie nie stosującym technik energetyki wiatrowej. W przypadku budynków zintegrowanych z wiatrowymi OZE nabierają one jednak odmiennego znaczenia – reprezentują walor energetyczny. I w tym kontekście, ruchu, dynamiki, energii, można odczytywać jej wpływ na formę obiektu.

## BIBLIOGRAPHY:

- Abohela I., Effect of Roof Shape, Wind Direction, Building Height and Urban Configuration on the Energy Yield and Positioning of Roof Mounted Wind Turbines, (2012), School of Architecture, Planning and Landscape, Newcastle University 2012
- Arch Daily, Strata SE1 / BFLS [online] <https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls>, (Accessed: 05-09-2024).
- Architizer, O House [online] <https://architizer.com/projects/o-house1/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Builder, Case study [online] [https://www.builderonline.com/building/case-study-home-depot-foundation-award-winner-rental-project\\_o](https://www.builderonline.com/building/case-study-home-depot-foundation-award-winner-rental-project_o), (Accessed: 05-09-2024).
- CNN Style, Tokyo's iconic Nakagin Capsule Tower to be demolished [online] <https://edition.cnn.com/style/article/japan-nakagin-capsule-tower-being-demolished-intl-hnk/index.html>, (Accessed: 05-09-2024).
- Dbox, Madison Avenue 550 [online] <https://dboxglobal.tumblr.com/post/137412768978/the-penthouse-at-550-madison-avenue-550-madison>, (Accessed: 05-09-2024).
- Façade Technology, Pearl River Tower [online] <https://www.mfacade.com/projects/pearl-river-tower/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Flaga A., Inżynieria wiatrowa, podstawy i zastosowania, (2008), Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2008, ISBN 978-83-213-4526-0
- Glassdoor, Oklahoma Medical Research Foundation [online] <https://www.glassdoor.ie/Photos/Oklahoma-Medical-Research-Foundation-Office-Photos-IMG627239.htm>, (Accessed: 05-09-2024).
- Google Arts & Culture, Bad Wimpfen [online] [https://artsandculture.google.com/incognito/asset/bad-wimpfen-protestant-town-parish-church/rgHoiwfd\\_EEhrA](https://artsandculture.google.com/incognito/asset/bad-wimpfen-protestant-town-parish-church/rgHoiwfd_EEhrA), (Accessed: 05-09-2024).
- Jon Martin Designs, Kinetica E8 [online] <http://www.blog.jonmartindesigns.com/2010/05/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Kandinsky W., Point and line to plane, (1976), Dover Publications, Inc., 1976, ISBN: 0-486-23808-3
- Killa Design, Bahrain World Trade Centre [online] <https://www.killadesign.com/portfolio/bahrain-world-trade-centre/>, (Accessed: 05-09-2024).

- Medical Construction & Design, Oklahoma Medical Research Foundation Celebrates Opening of New Tower [online] <https://mcdmag.com/2011/04/perkinswill-celebrates-grand-opening-of-research-tower-in-oklahoma/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Muenchen.de, Über das Baureferat [online] <https://stadt.muenchen.de/infos/portrait-baureferat.html>, (Accessed: 05-09-2024).
- Oklahoma Medical Research Foundation (OMRF), report [online] <http://www.energime.com/downloads/OMRFphase2.1.pdf>, (Accessed: 05-09-2024).
- Spark [online] [https://i.ytimg.com/vi/Bo4f\\_5vozC8/maxresdefault.jpg](https://i.ytimg.com/vi/Bo4f_5vozC8/maxresdefault.jpg), (Accessed: 05-09-2024).
- UK Property Finder [online] <https://uk-property-finder.com/en-4/3%2Bbed%2Bflat---Kinetica%2BApartments%252C%2BHackney%252C%2BLondon%2BE8--3--66561919/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Wikipedia, Hess Tower [online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Hess\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Hess_Tower), (Accessed: 05-09-2024).
- Wikipedia, Strata SE1 [online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Strata\\_SE1](https://en.wikipedia.org/wiki/Strata_SE1), (Accessed: 05-09-2024).
- WordPress, Cultivando, Una figura moderna [online] <https://arabatarqunab.wordpress.com/2014/08/19/>, (Accessed: 05-09-2024).
- Zielonko-Jung K., Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Seria Architektura, zeszyt 9 (2013) Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013, ISSN 1896-1630
- Żórawski J. O budowie formy architektonicznej. Arkady, Warszawa 1973

## AUTHOR'S NOTE

The author is a PhD student at the Faculty of Architecture of the West Pomeranian University of Technology. His research focuses on the optimization of the architectural form of buildings integrated with wind installations, with particular emphasis on shaping aerodynamics supporting the efficient use of wind energy. His research includes the analysis of the structure and shapes of buildings in relation to air flow and the assessment of the effectiveness of different types of wind turbine integration with buildings.

## O AUTORZE

Autor jest doktorantem na Wydziale Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. Swoje badania koncentruje na optymalizacji formy architektonicznej budynków zintegrowanych z instalacjami wiatrowymi, ze szczególnym uwzględnieniem kształtowania aerodynamiki wspierającej efektywne wykorzystanie energii wiatrowej. Jego prace badawcze obejmują analizę struktury i kształtów budynków w relacji do przepływu powietrza oraz ocenę skuteczności różnych typów integracji turbin wiatrowych z budynkami.

Contact | Kontakt: rafal.ob@interia.pl