

DOI: 10.21005/pif.2024.57.C-02

USE OF WIND ENERGY OF THE GROUND ZONE IN LOW INDIVIDUAL BUILDINGS

WYKORZYSTANIE ENERGII WIATRU STREFY PRZYZIEMNEJ W NISKICH OBIEKTACH ZABUDOWY INDYWIDUALNEJ

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 issue of obtaining wind energy in individual construction facilities is associated with a change in the scope of design issues undertaken in the case of high and large-scale buildings. This is due to the limited size of the assumptions, the type of wind devices used and the need to maintain their proper relationship to the function and form of the architectural object, and the need to ensure acceptable energy efficiency in turbulent flow conditions. The currently adopted design approaches, treated as patterns and constituting the starting point in the design process, constitute a correct synthesis of the issues undertaken by the designer, but they do not fully exhaust the issues raised. This article presents a study concept of a residential facility located below ground level and equipped with an installation for obtaining wind energy.

Key words: wind energy, wind turbine, energy security, critical incident, shelter.

STRESZCZENIE

Problematyka pozyskiwania energii wiatru w obiektach budownictwa indywidualnego wiąże się ze zmianą zakresu podejmowanych zagadnień projektowych występujących w przypadku budynków wysokich i wielkoskalowych. Wynika to z ograniczonych rozmiarów założeń, rodzaju stosowanych urządzeń wiatrowych i potrzeby zachowania właściwych ich relacji do funkcji i formy obiektu architektonicznego oraz z konieczności zapewnienia akceptowalnej wydajności energetycznej w warunkach przepływu o charakterze turbulentnym. Przyjęte aktualnie podejścia projektowe, traktowane jako wzorce i stanowiące punkt wyjścia w procesie projektowym stanowią prawidłową syntezę zagadnień podejmowanych przez projektanta, lecz nie wyczerpują w pełni podejmowanej problematyki. W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję studyjną obiektu mieszkalnego, zlokalizowanego poniżej poziomu terenu i wyposażonego w instalację do pozyskiwania energii wiatru.

Słowa kluczowe: energia wiatru, turbina wiatrowa, bezpieczeństwo energetyczne, zdarzenie kryzysowe, schron.

1. INTRODUCTION

The issue of the safety of the place of residence, considered strictly in terms of shelter from physical threats, ensuring isolation and allowing separation from external conditions, including the human factor treated as a source of pathogens or the perpetrator of aggression, as well as creating lasting protection for people, property and accumulated resources allowing to ensure living needs in the assumed period has changed dramatically in recent years.

Even though the beginnings of changes in the approach to this issue can be traced back much earlier, they were not general trends and did not have significant effects in relation to architectural, planning and technical construction issues.

An event that radically changes the perception of the issue of ensuring safety in construction, and in particular in residential architecture, which has become a place of forced isolation for people using it, can be considered the global epidemic caused by the SARS-CoV-2 virus, the apogee of which fell (depending on the region) on 2019-2020. Research and detailed analyzes on the described issue in the period mentioned above revealed a number of negative trends established in the area of architectural and urban design, which are intended to contribute to the deepening of the risk associated with living in areas with high development intensity. The main one is the tendency to excessive concentration of population in urban space, resulting from erroneous or wishful interpretations of the idea of a compact city ensuring easy accessibility of residential functions, services and workplaces. This approach was particularly appreciated by development communities interested in maximizing profits by using small areas of developed areas to create high-intensity development. At the same time, with the increasing housing aspirations of potential buyers combined with their low purchasing power, the decreasing amount of residential space, communication services, recreational areas and biologically active space per inhabitant was accepted. This phenomena (...) *were accompanied by a common conviction that modern technical solutions and finishing materials could compensate the shortage of usable space in apartments and common areas. The dysfunctionality has become the characteristic feature of the Polish housing sector with its peak close to the third decade of the 21st century. This has been described by social media as "pathodevelopment" (Wojtkun 2021).* The structure of the city and the direction of its development determined according to such criteria began to pose a threat, which could be observed during the height of the COVID-19 pandemic. During this period, there was a rapid increase in interest in places that ensured increased social distancing. People were looking for the possibility of temporary residence in non-urban areas, and there was a sudden increase in demand for recreational plots, summer houses and even caravanning vehicles. Most of these activities were carried out chaotically and in an atmosphere of panic, causing unprecedented price fluctuations and disruptions in the relationship between buyers and demand. This may prove how important the issue of an individual's sense of security is and how quickly it can be disturbed.

The event that restored the weakening trend towards addressing issues related to physical survival was the beginning of the conflict in Ukraine. The armed invasion launched on February 24, 2022 left no doubt as to the need to change the current perception of issues related to ensuring security. Poland, as a country directly bordering the territory where the fighting is taking place, felt it most strongly on November 15, 2022, when a missile fell on the village of Przewodów, located in the Lublin Voivodeship, killing two of its inhabitants.

These events presented the issue of threats in a new light. The factors mentioned so far, related to the natural environment of human existence, include the need for protection against the effects of military operations. The services responsible for civilian protection introduced activities aimed at inventorying the facilities under their control, which must have caused a social reaction in the form of interest in issues related to the possibility of survival in a crisis situation and ways of ensuring a safe place to survive and, in the long run, function on one's own. In particular, given the current political situation and relations between the main spheres of influence in the world, there should be no chances for a quick improvement in relations between the parties and it can be assumed that interest in the security of the place of residence in the described scope will intensify.

The described events and their setting in time from the perspective of human perception are of a point-like nature, causing a sudden change in the current situation and causing an accumulation of emotions, which is why they are perceived as primary. A phenomenon that is currently taking place, but is not so noticeable due to its timing, is the global increase in average temperature and anthropogenic climate change. There are many indications that its effects may turn out to be much more severe and unpredictable than the temporary escalation of mass illnesses and armed conflicts. The associated threats that can currently be predicted include the irreversible melting of glaciers and ice sheets on the time scale assumed for humanity, causing an increase in water levels in the seas and oceans, an increase in the intensity and frequency of extreme weather phenomena such as strong storms, hurricanes, and heavy rainfall, and on the other hand, droughts. In the long term, these phenomena can cause disturbances in water circulation in the environment, generating droughts and floods, including flash floods. These anomalies usually occur in correlation, and often in positive feedback loops, deepening the negative consequences. In addition to the direct effects of negative physical and climatic factors, which have measurable consequences in the form of destruction, their socio-economic aspect should be mentioned, involving material losses and the loss of potential profits that are the driving force behind the development of human civilization. Moreover, in the regions most affected by negative climatic phenomena, the possibility of lack of drinking water and hunger becomes real, which may ultimately lead to mass migrations, local conflicts or the perpetuation of the state of social chaos.

In the reality outlined in this way, it should be assumed that the concept of changes in a person's immediate environment, which is the space where he lives, works and spends free time with his loved ones, is correct. Security, as a fundamental need of an individual implemented through appropriate architecture, construction that meets the adopted criteria, and finally appropriate planning, is now becoming a leading need, bringing with it the need for changes in the above-mentioned areas. Both in the general assumptions themselves and in changes in their individual areas, such as adapting legislation and updating normative sources, implementing appropriate technologies, structures and materials appropriate to the emerging new conditions and proper architectural design in the context of not only form, but above all functions.

Moving from the general description to strictly design issues, two trends should be distinguished resulting from the need to ensure safety. The first one, related to excessive concentration of people in a small area, perceived as an oppressive space, is the need to escape, reduce the intensity of social contacts, increase the distance and clearly define a private zone, inaccessible to outsiders. This trend was revealed with particular intensity during the SARS-CoV-2 virus pandemic in 2019/2020. Research conducted at that time among people living in highly developed housing estates indicated clear tendencies to perceive their place of residence as posing a threat. Respondents indicated a desire to temporarily live in non-urban areas, and in extreme cases, they decided to purchase a detached residential property (Wojtkun 2021). The study clearly associated the direction of migration undertaken so far with the desire to escape from urban concentration, pollution, the accumulation of psycho-physical stimuli or with the intention to improve one's social position, with the basic need for safety and concern for the survival of oneself and one's loved ones.

The second of the indicated trends expresses the scale of determination in striving to provide the means necessary for survival. The interest in residential buildings with varying degrees of protective features, and in extreme cases transferred from military architecture, resulted in a demand-supply response from design offices and construction companies, resulting in the appearance of numerous offers for the design, construction, or reconstruction of existing buildings into protective buildings that can ensure the survival of their users during the crisis. There are many indications that the phenomenon is present, is permanent, and its trend in crisis periods will only increase.

Pointing to the above directions, it is possible to define a set of recommendations for single-family housing that increase the level of safety of its users to the extent they expect, from ad hoc security to the construction of individual protective buildings with the necessary technical infrastructure.

The presented concept proposes a building solution with a wind power source using the wind from the lower range of its vertical profile. The designed wind device was placed in the body of the struc-

ture, creating a compact form. The rest of the article presents the conceptual outline and principle of operation of the facility.

2. RESEARCH AREA, METHODS

2.1. Requirements and general characteristics of the building

The general assumptions adopted for the facility are a combination of the functions of a single-family house and the requirements for a building ensuring protection against extreme natural events or those resulting from hostile human activity, including those contained in the guidelines of the National Civil Defense (Serwis Rzeczypospolitej Polskiej 2024). These include increased resistance to external factors, the ability to isolate from the environment and energy independence. These requirements indicate a compact form of construction, made using reinforced concrete technology, ensuring appropriate mechanical properties and optimal shape from the point of view of energy passivity. The body of the structure is placed completely below ground level or with a small ground floor form. Permanently elevated elements such as masts and poles, even in foldable form, are excluded due to the risk they pose. Ensuring the energy security of the facility should be considered crucial in periods of crisis events. In the event of being cut off from external supplies, the only inexhaustible energy resources remain renewable energy sources, as defined in the Act of February 20, 2015. "*On renewable energy sources*" as *renewable, non-fossil energy sources including wind energy, solar energy, aerothermal energy, geothermal energy, hydrothermal energy, hydroenergy, energy of waves, sea currents and tides, energy obtained from biomass, biogas, agricultural biogas and from biofluids* (online home page of the Sejm of the Republic of Poland 2015). Due to their universal nature and common access to them, wind energy and solar radiation energy should be considered as the recommended sources. These sources remain in a negative correlation coefficient as a function of time, acting complementarily. If technological conditions exist, the form of the facility should be subordinated to the required extent to the development of renewable energy installations - BAWT (building augmented wind turbines) and DWT (ducted wind turbines) design approaches, which are described later in the article.

2.2. Recommended location

The location of the facility meets the criteria regarding safety and comfort of use according to the premises taken in previous considerations in social and technical terms. These are low population density and lack of close proximity, as well as communication and connection accessibility to the extent indicated in the legislation for single-family housing. The surroundings and terrain facilitate the control of a large area and create favorable conditions for the operation of devices generating energy for their own needs using renewable sources. Such conditions are ensured by the location in an open area, with a negligible amount or lack of medium and high greenery in the immediate vicinity, it is advisable to have no neighboring buildings or low buildings and at a considerable distance. Very favorable wind conditions may be created by the proximity of a lake located on the windward side of the site in relation to the dominant direction of local winds. A similar effect is achieved when located on a slope or hill by locating the facility from the side consistent with the direction of the prevailing winds. Due to the absence or sporadic occurrence and the considerable distance from terrain obstacles that are a source of disturbances in laminar flow and the formation of aerodynamic shadows, the phenomenon of terrain roughness will have little impact on reducing the value of the wind speed used to drive wind devices. The conditions defined in this way exclude the occurrence of local wind anomalies, and the wind speed values remain in constant relation to the wind maps for the assumed location.

In the case of areas with terrain obstacles such as buildings and tall greenery, a reduction in the efficiency of the wind installation should be expected. An opportunity to improve it is to analyze the flow system in order to identify places with the least turbulence and maintain the laminar structure of the wind, ensuring efficient operation of the wind converter. Research conducted to determine the impact of the planned development of one of Warsaw's housing estates on the conditions of free air flow and potential changes in the existing natural ventilation system of the city can be con-

sidered as a model. (Poćwierz et al. 2017, pp. 33-40). The authors performed a multi-aspect tunnel analysis using two complementary field methods: sand saltation and oil visualization, which were supplemented with a CFD numerical study. The obtained results made it possible to precisely determine the characteristics of the wind in the housing estate and to indicate unfavorable and useful places from the point of view of the possibility of obtaining wind energy. Another possible solution to improve the yield efficiency is to modify the building's shape to improve its aerodynamics and increase the distance of the collector inlet from the ground level. It was omitted in the concept as a factor influencing the objective assessment of the installation in the study.

2.3. Wind installation

The wind installation operating with the described facility should be characterized by high energy efficiency for a wide range of wind speeds and a low take-off speed. Indications to maintain a compact form of the layout determine the design of the turbo installation, consolidated with the building's body, coherent, low in height and limited in size.

The use of the appropriate design approach to integrate wind turbines with the tested building in a way that ensures optimal use of wind energy depends on the assumed boundary conditions, and mainly on the height of the above-ground part of the facility, its geometry and local terrain. The typification of the degree of integration of a wind turbine with a building distinguishes four design approaches determining the degree of interference in the form of the object, and considering it in the context of aerodynamic phenomena occurring as a result of the flow of air masses in the vicinity of the building allows for achieving the best results (Abohela 2012). The assumed design directions are:

- BIWT (building integrated wind turbines) – assumes the installation of free-standing wind turbines with a vertical or horizontal axis of rotation, while the second type of turbines requires positioning in accordance with the wind direction. Depending on the size of the structure, positioning is performed by the control surface (tail) or by automation analyzing direction changes based on readings from the anemoscope. Structures of this type are used in places where open areas are available, such as school playgrounds, large parking lots, etc. adjacent to buildings, causing accumulation and acceleration of incoming air masses. BIWT are slightly more efficient than the BMWT design, but require a separate supporting mast.
- BMWT (building mounted wind turbines) – structures of this type are mounted directly on buildings. The installation of wind installations is a secondary activity in relation to the construction of the structure and does not affect the designed form of the facility. The building and its volume are used to accelerate the flow and as a support element to place the installation at the appropriate height and in an aerodynamically favorable location. In most cases, the installation site is the roof of the facility, or less often the edges of the building, which are places that naturally accelerate the flow. Installations designed in this way are among the most common.
- BAWT – the distinguishing feature of this design approach is the aerodynamic shape of the building. BAWT are powered by wind energy concentrated by a specially designed, aerodynamically shaped object. The building supports the installation, and its form serves as a wind collector. Designing facilities of this type requires the architect to have comprehensive knowledge of building aerodynamics, wind energy, its conversion and concentration schemes based on models of aerodynamic effects found in buildings. Before implementation, the resulting design requires validation using CFD (Computational Fluid Dynamics) tools and a wind tunnel. Facilities designed this way are extremely spectacular and arouse interest, which translates into a positive reception of wind energy located in urbanized areas.
- DWT – this is a type of turbines operating in a closed structure called a channel and acting as a concentrator of the flow collected from the surface perpendicular to the device inlet. The main distinguishing feature of the device is the increased energy efficiency compared to a turbine operating in open space, resulting from the increased speed of air masses flowing through the Venturi section, which is a narrowing of the channel with the turbogenerator located there. This property is particularly useful in locations with low winds. The characteristics of

a channel turbine result from the channel and can be modified within a very wide range. To increase the range of useful flow rates, devices are used that change the geometry of the concentrator depending on the current conditions. Architectural design emphasizes less visual inconvenience and ease of aesthetic integration with the facility.

The presented recommendations regarding the facility and the expected wind conditions in its assumed location justify the rejection of integration according to the first and second schemes. The third and fourth approaches allow for ensuring optimal operating conditions of wind devices by setting out two alternative models.

The first is the installation of a dedicated wind turbine in an open space and concentration of the flow using the above-ground part of the building - the BAWT model. The low shape of the facility indicates its limited ability to dam up the flow. The recommended form is a sloping roof with a slope of 30° in relation to the level and orientation of the ridge, perpendicular to the dominant direction of local winds. Placing a set of wind turbines directly above the ridge will allow them to operate in the area of the highest flow intensity, located at the top edge of the roof. The requirement to use small wind devices with the simultaneous ability to convert low-speed wind energy indicates Savonius turbines. The form of this type of rotors allows for operation with the axis located vertically or horizontally, and the linear form of the ridge allows the assembly of a set consisting of several devices. Current research allows for a continuous increase in the efficiency of the described devices by modifying the shape of the blades and using appropriately profiled covers. Research conducted on turbines of a size appropriate to the presented object - 0.32 m by 0.32 m, an increase in efficiency was obtained for turbines equipped with helical blades inclined at an angle of 15° and Bach-type blades of 21.4% compared to the traditional design. The test was performed at flow velocities of 1-6 m/s and at planes directing the air stream (Nachaiyaphum Photong 2023, pp. 618-625). In a separate study conducted on a model with a diameter of 0.8 m and a height of 0.6 m, after using a gap between the blades and partially covering the structure with a deflector shaping the flow lines, the efficiency of the device was achieved at the level achieved in Darrieus turbines (Müller et al., 2017) (Fig. 1a, 1b). These works prove the great development potential of the described devices and indicate the possibility of achieving satisfactory results in the presented application.

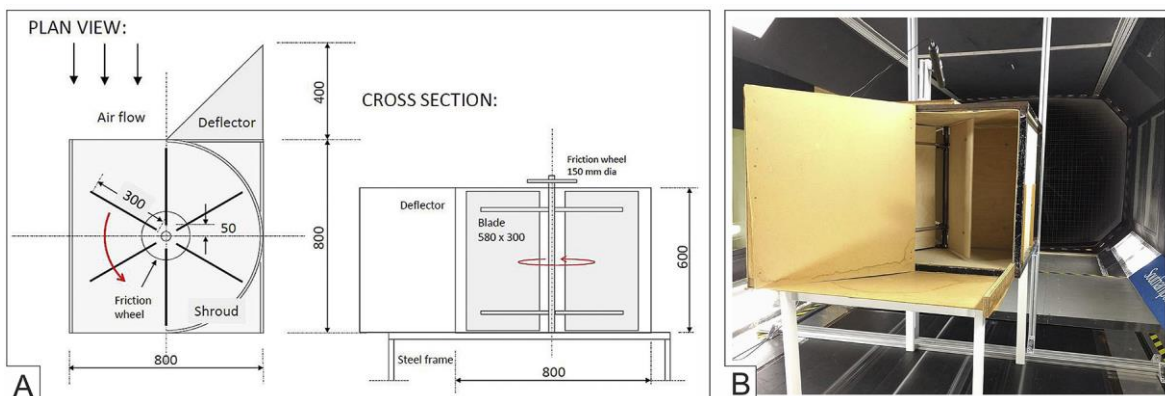


Fig. 1. Sistan-type VAWT turbine, A – model, plan view and cross section, B - model in wind tunnel. Source: Müller et al. 2017, p. 806

Ryc. 1. Turbina VAWT typu Sistan, A – model, rzut i przekrój pionowy, B - model w tunelu aerodynamicznym. Źródło: Müller i in., 2017, s. 806

The second proposed solution assumes the use of the DWT structure. The benefit is the ability to shape the flow in the desired way. By shaping the geometry of the diffuser and nozzle, optimal conditions are obtained for the operation of the wind converter both at too low and too high air mass speeds. This feature is particularly useful in the case of devices operating on surface winds, characterized by greater fluctuations in mass volume and flow direction, an increased tendency to

create turbulent aerodynamic phenomena and a low average speed value. The limited and compact volume of the designed facility makes a ducted wind installation seem to be a suitable solution. Numerous studies have shown that these devices can exceed the Betz limit determining the maximum efficiency of a wind turbine and achieve an output power that is five to six times higher than that of analogous conventional devices (Aravindhana et al. 2023). Variants of forming the geometry of a channel turbine wind collector allow its shape to be matched to the shape of the facility in which it is to be placed and comes down to creating a pressure difference between its inlet and outlet. The method of implementing this assumption is quite flexible and depends on the conditions imposed by the facility and expectations regarding the energy efficiency of the converter. One of the simplest ones presented by researchers involves placing an external ring at the diffuser outlet, introducing an area of strong turbulence at the outlet height (Hasegawa, Ohya, Kume 2012). Such an element allows you to obtain two to five times more energy compared to the original shape of the device at the same wind speed and rotor diameter. Another energy obtaining system is Invelox (Fig. 2). This technology allows for receiving air masses into a multidirectional intake in the form of a funnel and bringing them through a narrowing channel to the Venturi section housing the wind turbines, where, after absorbing the energy of the flow, they pass to the outlet that expands them (Fig. 3). This system has been designed as passive as to the reaction to the changing direction of the wind, which allows you to simplify the structure but leaves an open path to increase its efficiency. When leaving the energy aspect, the remaining values from DWT canal systems should be emphasized. These include, among others Increasing safety in the event of damage to the turbine and reduction of aeroacoustic noise propagation, resulting from the development of movable elements in the interior of the channel; Visual hermetization of the rotating rotor and also in the case of a variable geometry collector, closing and complete isolation of the system in the event of unfavorable outdoor conditions.



Fig. 2. Three coaxial wind turbines installed in the Venturi section of INVELOX. Source: Taghinezhad et al. 2019, p. 24
 Ryc. 2. Trzy współosiowe turbiny wiatrowe zainstalowane w sekcji Venturi'ego w INVELOX. Źródło: Taghinezhad i in. 2019, s. 24

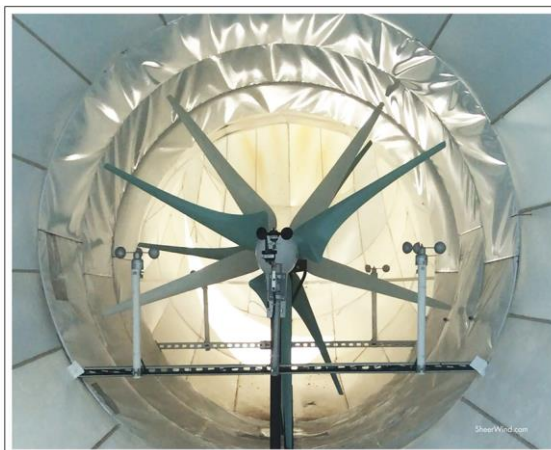


Fig. 3. INVELOX turbine. Source: Iran National Designated Entity
 Ryc. 3. Turbina INVELOX. Źródło: Iran National Designated Entity

3. ASSUMPTIONS FOR THE STUDIO FACILITY

The adopted concept uses the individual properties of the presented devices and their features, preferably suited to the conditions and requirements set by the described object. At low values of local winds, the leading assumption is to maximize wind energy achievement through the appropriate structure focusing and accelerating the flow of air masses (Fig. 4).

The structure was located in the ceiling of the building, directly below the ground. The elements responsible for the distribution of wind energy for turbines are the above-ground elements of a wind collector with variable geometry (Fig. 5a). Controlling the extermination degree of throat and the

launcher enables the regulation of flow through the Venturi section with a three-stage turbine unit (Fig. 5b), thanks to which a very wide range of use of useful wind speeds and full scalability of the device were obtained until complete switching off with complete closure of the inlet and outlet of the concentrator. This is to prevent the formation of dynamic and static overloads in the moving collector elements and the wind converter system installed in the puncture of the nozzle during the periods of too intense winds that could lead to damage to the structure. In order to increase the efficiency of the device, a correction of directional characteristics was used, directing its inlet according to the current wind direction, carried out by turning the whole around the centrally located axis, thus obtaining optimal performance for winds from other than prevailing directions. The required efficiency of the wind converter used was obtained by compiling the three coaxial Hawt Propellery, placed in the narrowing of the Venturi section (Fig. 5c, d). This location ensures the most efficient conversion of flow energy due to its highest speed and pressure difference occurring in this area. Experimental research conducted on Invelox tunnel turbines indicated an increase in the achieved power in the case of two and three-turbine systems, with this growth of a non-linear nature, 52% and 72%, respectively, and the addition of the second and third turbine has a negligible impact on the first (Taghinezhad et al. 2019, p. 24). A further increase in the number of turbines did not bring the expected results. This phenomenon has been confirmed in the study on the numeric model introducing the hypothetical porous body corresponding to the turbine aerodynamic resistance in place of the turbine. At its value, a critical level was achieved above which the power released in the system began to fall (Ranjbar et al. 2022, p. 2).

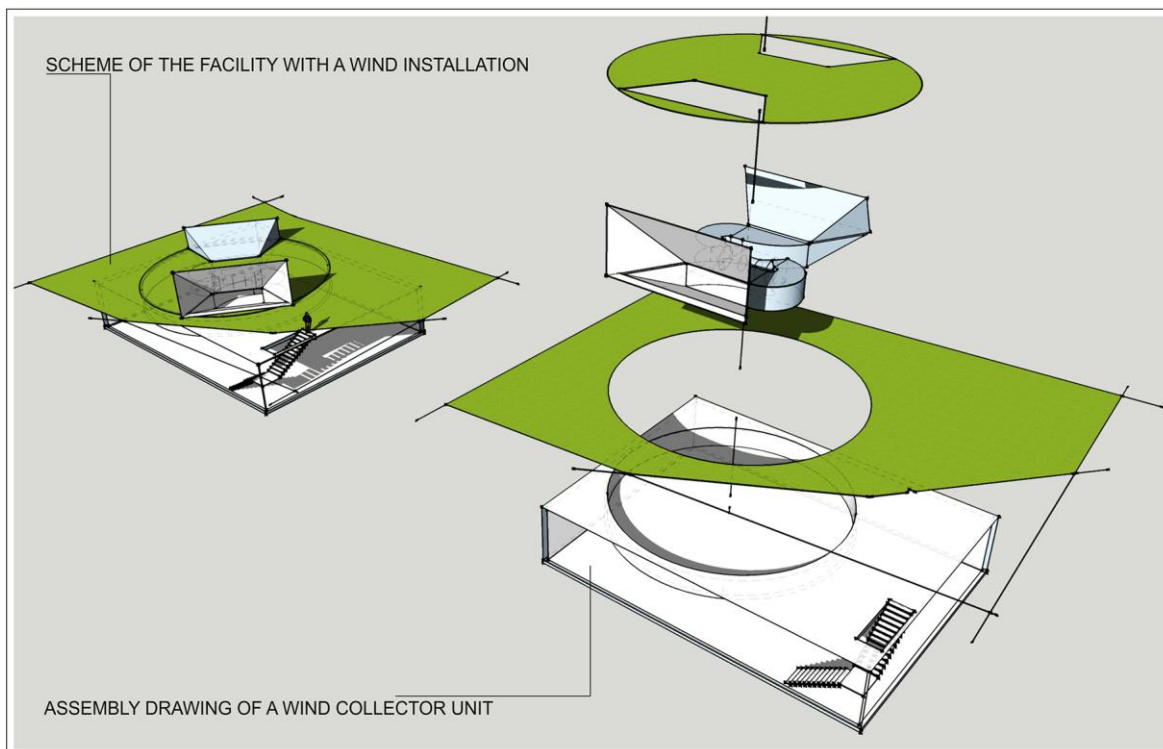


Fig. 4. Assembly drawing of the concept of a building integrated with a ducted wind turbine. Source: author.

Ryc. 4. Rysunek złożeniowy koncepcji budynku zintegrowanego z kanałową turbiną wiatrową (DAWT). Źródło: autor.

In the relationship and construction relationships in the integration of the DWT system with the building, there was a need to reduce the dimensions of the wind collector, which in classic systems takes on a linear form, or similar to linear. The problem resulting from the restriction was solved by designing the axis channel in the form of the letter „S”. This reduced the amount of space occupied, which enabled the implementation of the installation positioning mechanism. From the point of view

of the building's protective role, the installation placed in the ceiling plays the role of an additional barrier against external factors.

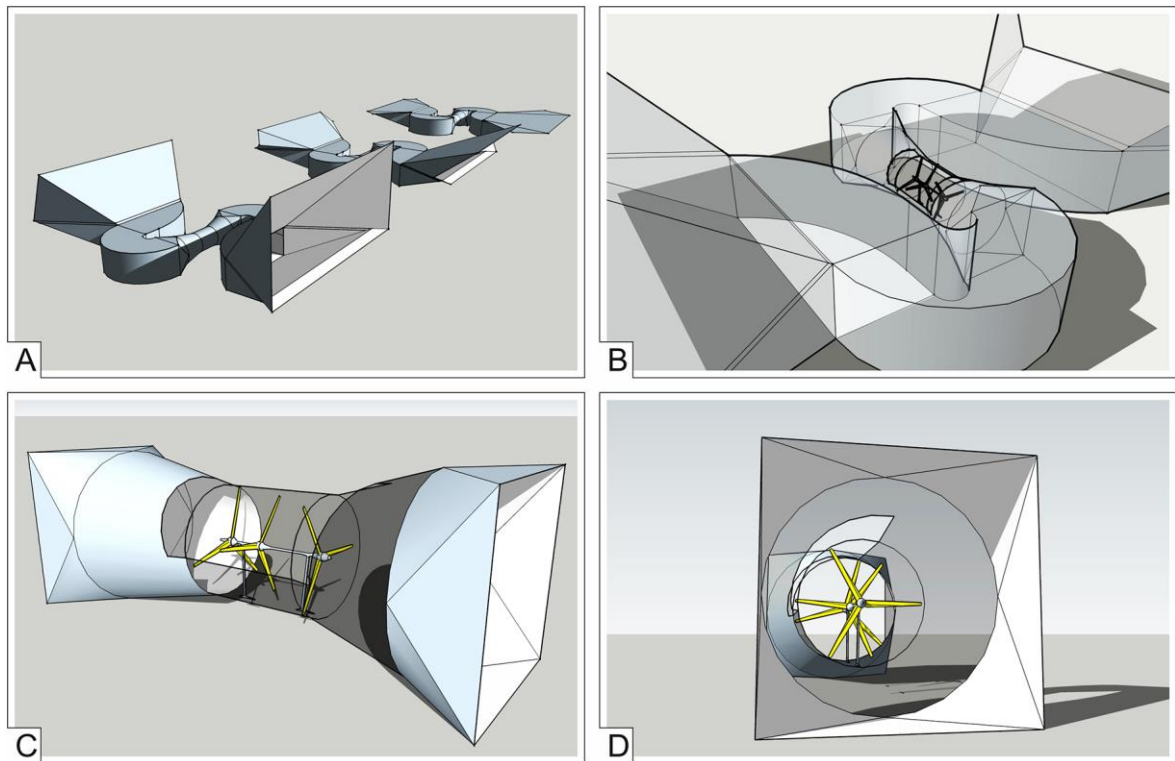


Fig. 5. Scheme of the tested ducted wind turbine installation. A – mechanism for adjusting the level of air mass flow in the instalation (100%, 50%, 0%); B – location of the Venturi section in the collector structure; C,D – Venturi narrowing (section of the turbine set), view. Source: author.

Ryc. 5. Schemat badanej kanałowej instalacji wiatrowej. A – mechanizm regulacji poziomu przepływu mas powietrza w instalacji (100%, 50%, 0%); B – lokalizacja sekcji Venturi’ego w konstrukcji kolektora; C,D – przewężka Venturi’ego (sekcja turbozespołu), widok. Źródło: autor.

4. FLOW RESEARCH

The presented study is of a qualitative nature and cannot be the basis for estimating the quantitative energy performance of the assumption. Introduced variables in the form of adjustable geometry and positioning of the device expand the scope of tests required for quantitative description. The ideological assumptions of the wind installation presented in the studial facility have universal features.

The numerical imaging showed an increase in the velocity of air masses in the channel and the inlet and outlet of the wind collector. The characteristic cross-sections examined are: a horizontal cross-section at the height of the axis of the turbo section of the set and a vertical cross-section through the central part of the Venturi constriction and the inlet and outlet of the installation (Fig. 6). The effect of device geometry changes on flow scalability was presented in triplicate, with throat opening degrees of 100%, 66%, and 33%, respectively. The correlation of the flow velocity in the turbine location area with the cross-sectional surfaces of the inlet and outlet showed a relationship close to linear. When the collector was fully opened, the maximum increase in flow speed was achieved at the level of 350% of the undisturbed flow value.

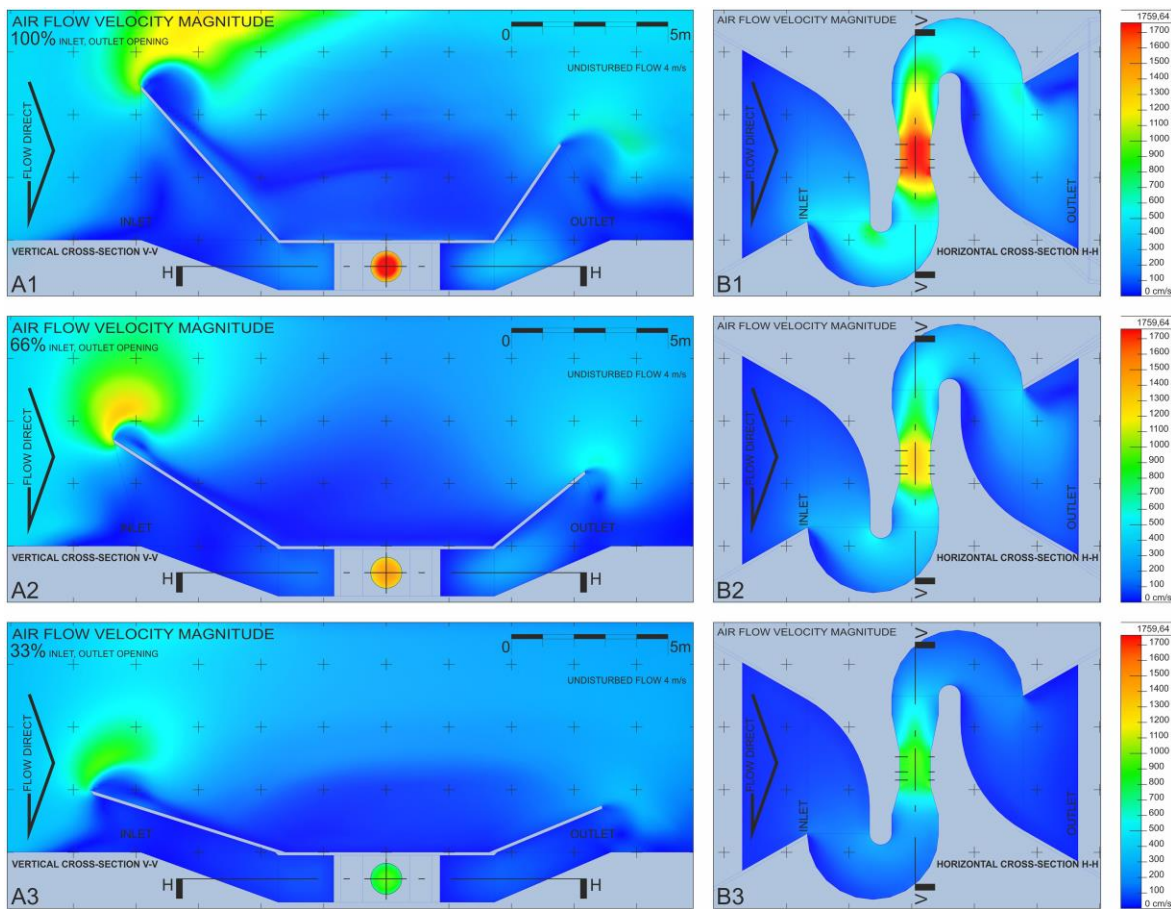


Fig. 6. Simulation of air mass flow velocities for three degrees of opening of the wind collector inlet and outlet at characteristic cross sections through the turbine section. Source: author.

Ryc. 6. Symulacja prędkości przepływu mas powietrza dla trzech stopni otwarcia wlotu i wylotu kolektora wiatrowego w przekrojach charakterystycznych przez sekcję turbozespołu. Źródło: autor.

Imaging of the static pressures prevailing in the collector space revealed an area of negative pressure developing in the end part of the wind converter section (Fig. 7). It is related to the Bernoulli effect and may find practical application in supporting the ventilation of a facility.

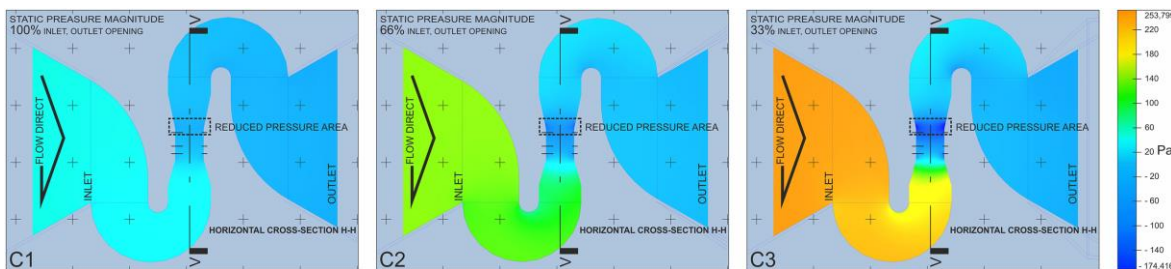


Fig. 7. Simulated static pressure values with indication of the area of vacuum. Horizontal cross-section at the height of the turbine axis. Source: author.

Ryc. 7. Symulacja wartości ciśnienia statycznego z oznaczeniem obszaru występowania podciśnienia. Przekrój poziomy na wysokości osi turbozespołu. Źródło: autor.

5. CONCLUSIONS

The results obtained in the study confirmed the thesis about the possibility of effective use of wind energy occurring at low altitudes. A necessary condition for this is the appropriate selection and design of the device for converting the energy of air masses. The presented concept uses a set of channel turbines coupled to a collector with variable concentrator and outlet geometry, and their positioning in line with the wind direction. The solution allowed to increase the range of useful wind speeds and avoid losses resulting from the directional characteristics of the collector. The feasibility of integrating the wind installation with a facility with a small volume and a structure located entirely below ground level was also confirmed.

WYKORZYSTANIE ENERGII WIATRU STREFY PRZYZIEMNEJ W NISKICH OBIEKTACH ZABUDOWY INDYWIDUALNEJ

1. WSTĘP

Kwestia bezpieczeństwa miejsca zamieszkania rozpatrywanego ściśle w kategoriach schronienia przed zagrożeniem fizycznym, zapewniającym izolację i pozwalającym odseparować się od warunków zewnętrznych, w tym czynnika ludzkiego traktowanego jako źródło patogenów lub sprawcę agresji, a także tworzącego trwałą ochronę dla osób, mienia oraz zgromadzonych zasobów pozwalających na zapewnienie potrzeb bytowych w założonym okresie w ciągu ostatnich lat uległa diametralnej zmianie.

Pomimo tego, że początków zmian zachodzących w podejściu do tego zagadnienia można doszukiwać się znacznie wcześniej nie były to tendencje o charakterze ogólnym i nie niosły ze sobą znaczących skutków w odniesieniu do zagadnień architektonicznych, planistycznych oraz techniczno-budowlanych.

Wydarzeniem radykalnie zmieniającym postrzeganie kwestii zapewnienia bezpieczeństwa w budownictwie, a w szczególności w architekturze mieszkaniowej, która stała się miejscem przymusowej izolacji dla użytkujących ją osób można przyjąć światową epidemię spowodowaną wirusem SARS-CoV-2, której apogeum przypadło (w zależności od regionu) na lata 2019-2020. Badania i szczegółowe analizy dotyczące opisywanego zagadnienia w przytoczonym okresie ujawniły szereg negatywnych tendencji ugruntowanych w obszarze projektowania architektonicznego i urbanistycznego, mających przyczyniać się do pogłębiania ryzyka związanego z zamieszkiwaniem na obszarach o wysokiej intensywności zabudowy. Jako główną z nich podaje się trend do nadmiernej koncentracji ludności w przestrzeni miejskiej wynikającej z błędnych lub życzeniowych interpretacji idei miasta zwartego (ang. *Compact City*), zapewniającego łatwą dostępność funkcji mieszkalnej, usług i miejsca pracy. Podejście to znajdowało szczególne uznanie w środowiskach deweloperskich zainteresowanych maksymalizacją zysków przez możliwość wykorzystania niewielkich powierzchni terenów uzbrojonych do tworzenia zabudowy o wysokiej intensywności. Jednocześnie przy wzroście aspiracji mieszkaniowych potencjalnych nabywców w połączeniu z ich niewielką siłą nabywczą akceptowana była zmniejszająca się ilość powierzchni mieszkalnej, obsługi komunikacyjnej, terenów służących rekreacji i powierzchni biologicznie czynnej, przypadającej na jednego mieszkańca. Zjawiskom tym (...) *towarzyszyło dość rozpowszechnione przekonanie, że nowoczesnymi rozwiązaniami technicznymi oraz takimi materiałami wykończeniowymi można skompensować niedostatek powierzchni użytkowej mieszkań oraz przestrzeni wspólnie użytkowanych. W ten sposób dysfunkcyjność polskiego mieszkalnictwa nabrała cech systemowych osiągając punkt krytyczny u progu trzeciego dziesięciolecia XXI wieku. Wówczas to w mediach społecznościowych pojawiło się określenie „patodeweloperka” (Wojtkun 2021). Określona według takich kryteriów struktura miasta i kierunek jej rozwoju zaczęły stwarzać zagrożenie, co można było obserwować w okresie apogeum pandemii COVID-19. W okresie tym wystąpił lawinowy wzrost zainteresowania*

miejscami zapewniającymi zwiększenie dystansu społecznego. Szukano wtedy możliwości czasowego zamieszkania na terenach pozamiejskich, wystąpił nagły wzrost popytu na działki rekreacyjne, domy letniskowe, a nawet pojazdy do caravanningu. Większość tych działań prowadzona była chaotycznie i w atmosferze paniki, powodując niespotykane wahania cen i zaburzenia w relacjach podarzy i popytu. Świadczyć to może jak ważnym jest zagadnienie poczucia bezpieczeństwa jednostki i w jak krótkim czasie może zostać zakłócone.

Wydarzeniem, przywracającym słabnący z czasem trend do podejmowania kwestii związanych z przetrwaniem fizycznym był początek konfliktu na terytorium Ukrainy. Inwazja zbrojna rozpoczęta w dniu 24 lutego 2022 roku nie pozostawiła złudzeń co do konieczności podjęcia zmian w dotychczasowym postrzeganiu kwestii związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa. Polska jako kraj bez-pośrednio graniczący z terytorium, na którym toczą się walki odczuła to najsilniej w dniu 15 listopada 2022 r., kiedy to na miejscowość Przewodów położoną w województwie lubelskim spadł pocisk zabijając dwóch jej mieszkańców.

Zdarzenia te przedstawiły problematykę zagrożeń w nowym świetle. Do czynników dotychczas wymienianych, związanych z naturalnym środowiskiem bytowania człowieka dołączyła potrzeba ochrony przed skutkami działań militarnych. Służby odpowiedzialne za ochronę cywilów wprowadziły działania mające na celu inwentaryzację podlegających im obiektów, co musiało spowodować reakcję społeczną w postaci zainteresowania się zagadnieniami związanymi z możliwością przetrwania w sytuacji kryzysowej i sposobami zapewnienia sobie bezpiecznego miejsca przetrwania, a w dalszej perspektywie funkcjonowania, we własnym zakresie. W szczególności, że przy obecnej sytuacji politycznej i stosunkach panujących między głównymi strefami wpływów na świecie nie należy upatrywać szans na szybką poprawę relacji pomiędzy stronami i można przyjąć, że zainteresowanie bezpieczeństwem miejsca zamieszkania w opisanym zakresie będzie ulegać nasileniu.

Opisane zdarzenia i ich osadzenie w czasie z perspektywy zdolności postrzegania przez człowieka mają charakter punktowy, powodujący nagłą zmianę w dotychczasowym położeniu i wywołują spiętrzenie emocji przez co percypowane są jako pierwszoplanowe. Zjawiskiem obecnie zachodzącym, a nie będącym tak zauważalnym ze względu na rozłożenie w czasie jest globalny wzrost średniej temperatury i zmiana klimatu o podłożu antropogenicznym. Wiele wskazuje na to, że jego skutki mogą okazać się dużo bardziej dotkliwe i nieprzewidywalne od mających przejściową postać eskalacji masowych zachorowań i konfliktów zbrojnych. Zagrożenia z nim związane, jakie w chwili obecnej daje się przewidzieć to nieodwracalne w skali czasowej przyjętej dla ludzkości topnienie lodowców i lądolodów powodujące wzrost poziomu wody w morzach i oceanach, zwiększenie natężenia i częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych takich jak silne burze, huragany, gwałtowne opady, a z drugiej strony susze. Zjawiska te w dłuższym okresie są w stanie wywoływać zaburzenia obiegu wody w środowisku generując susze i powodzie, w tym powodzie błyskawiczne. Anomalia te z reguły występują w korelacji, a nierzadko w dodatnich sprzężeniach zwrotnych pogłębiając negatywne następstwa. Obok bezpośrednich skutków działania negatywnych czynników fizyko-klimatycznych, mających wymierne następstwa w postaci zniszczeń wymienić należy ich aspekt społeczno-gospodarczy wiążący się ze stratami materialnymi i utratą potencjalnych zysków będących motorem rozwoju cywilizacji ludzkiej. Ponadto w regionach najbardziej dotkniętych negatywnymi zjawiskami klimatycznymi realna staje się możliwość braku wody pitnej i wystąpienia głodu, co w konsekwencji prowadzić może do masowych migracji, lokalnych konfliktów lub utrwalenia stanu chaosu życia społecznego.

W tak zarysowanej rzeczywistości należy przyjąć, że koncepcja zmian w najbliższym otoczeniu człowieka, jakim jest przestrzeń jego zamieszkania, pracy i spędzania wolnego czasu z bliskimi jest słuszna. Bezpieczeństwo, jako fundamentalna potrzeba jednostki realizowana za pomocą odpowiedniej architektury, budownictwa spełniającego przyjęte kryteria, a wreszcie odpowiednia planistyka stają się obecnie potrzebą wiodącą, niosącą ze sobą konieczność zmian w wymienionych dziedzinach. Zarówno w samych założeniach ogólnych, jak i zmian w poszczególnych ich obszarach takich jak dostosowanie ustawodawstwa i aktualizacja źródeł normatywnych, wdrażanie właściwych technologii, konstrukcji i materiałów odpowiednich do pojawiających się nowych warunków oraz właściwego projektowania architektonicznego w kontekście nie tylko formy, lecz przede wszystkim funkcji.

Przechodząc od opisu ogólnego do zagadnień ściśle projektowych należy wyróżnić dwie tendencje wynikające z potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa. Pierwsza, związana z nadmierną koncentracją ludzi na niewielkim obszarze, odbieranym jako przestrzeń opresyjna, to potrzeba ucieczki, obniżenia intensywności kontaktów społecznych, zwiększenia dystansu i czytelnego określenia strefy prywatnej, niedostępnej osobom postronnym. Tendencja ujawniła się ze szczególną intensywnością podczas pandemii wirusa SARS-CoV-2 w 2019/2020 roku. Prowadzone wtedy badania wśród osób zamieszkujących w osiedlach mieszkaniowych o dużej intensywności zabudowy wskazywały na wyraźne tendencje do postrzegania miejsca zamieszkania jako stwarzającego zagrożenie. Respondenci wskazywali na chęć tymczasowego zamieszkania na terenach pozamiejskich, a w skrajnych przypadkach podejmowali decyzję o zakupie nieruchomości mieszkalnej wolnostojącej (Wojtkun 2021). Badanie skojarzyło jednoznacznie kierunek migracji podejmowany do tej pory z chęci ucieczki przed miejską koncentracją, zanieczyszczeniem, spiętrzeniem bodźców psychofizycznych lub z zamiaru podniesienia swojej pozycji społecznej, z podstawową potrzebą bezpieczeństwa i troski o przetrwanie własne i swoich najbliższych.

Drugi ze wskazywanych trendów wyraża skalę determinacji w dążeniu do zapewnienia środków niezbędnych do przetrwania. Zainteresowanie obiektami mieszkalnymi, posiadającymi w różnym stopniu cechy ochronne, a w skrajnym przypadku przeniesione z architektury militarnej spowodowało reakcję w relacji popyt – podaż ze strony biur projektowych i firm wykonawczych skutkującą pojawieniem się licznych ofert na projektowanie, budowę, względnie przebudowę budynków już istniejących na budynki o charakterze ochronnym mogące zapewnić przetrwanie ich użytkownikom w okresie wystąpienia kryzysu. Wiele wskazuje na to, że zjawisko jest obecne, ma charakter trwały, a jego trend w okresach kryzysowych będzie tylko rosnący.

Wskazując na powyższe kierunki można określić zbiór rekomendacji dla budownictwa jednorodzinnego podnoszących poziom bezpieczeństwa jego użytkowników w oczekiwanym przez nich stopniu, od zabezpieczeń doraźnych do budowy indywidualnych budynków ochronnych z niezbędną infrastrukturą techniczną.

W przedstawionej koncepcji zaproponowano rozwiązanie budynku z wiatrowym źródłem zasilania wykorzystującym wiatr z dolnego zakresu jego profilu pionowego. Zaprojektowane urządzenie wiatrowe umieszczono w bryle założenia tworząc zwartą formę. W dalszej części artykułu przedstawiono zarys koncepcyjny i zasadę działania obiektu.

2. OBSZAR BADAŃ, METODY

2.1. Wymogi i charakterystyka ogólna budynku

Założenia ogólne jakie przyjęto dla obiektu są połączeniem funkcji domu jednorodzinnego i wymogów stawianych budowlom zapewniającej ochronę przed ekstremalnymi zdarzeniami naturalnymi lub wynikającymi z wrogiej działalności człowieka, w tym zawartych w wytycznych Obrony Cywilnej Kraju (Serwis Rzeczypospolitej Polskiej 2024). Są to zwiększona odporność na działanie czynników zewnętrznych, zdolność izolacji od środowiska oraz niezależność energetyczna. Wymogi te wskazują na zwartą formę założenia, wykonaną w technologii żelbetowej, zapewniającą odpowiednie właściwości mechaniczne i optymalny kształt z punktu widzenia pasywności energetycznej. Bryła założenia umieszczona całkowicie poniżej poziomu terenu lub z niewielką nadbudową w zwartej formie. Wyklucza się elementy trwale wyniesione typu maszty, słupy, nawet w formie składanej ze względu na stwarzane przez nie zagrożenie. Za kluczowe w okresach wystąpienia zdarzeń kryzysowych należy przyjąć zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego obiektu. W przypadku odcięcia od dostaw zewnętrznych jedynymi niewyczerpalnymi zasobami energetycznymi pozostają odnawialne źródła energii, zdefiniowane w ustawie z dnia 20 lutego 2015 r. „O odnawialnych źródłach energii” jako *odnawialne, niekopalne źródła energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerothermalną, energię geothermalną, energię hydrothermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z bioptynów* (Sejm, 2015). Ze względu na uniwersalny charakter i powszechny do nich dostęp, jako źródła rekomendowane przyjąć należy energię wiatru i energię promieniowania słonecznego. Źródła te w funkcji czasu pozostają w ujemnym współczynniku korelacji działając komplementarnie. W przypadku zaistnienia przesłanek technologicznych

forma obiektu powinna być podporządkowana w wymaganym zakresie zabudowie instalacji OZE – podejście projektowe BAWT (ang. *building augmented wind turbines*), oraz DWT (ang. *ducted wind turbines*), co opisane zostało w dalszej części artykułu.

2.2. Zalecana lokalizacja

Położenie obiektu spełnia kryteria dotyczące bezpieczeństwa i komfortu użytkowania według przesłanek podejmowanych we wcześniejszych rozważaniach w kategoriach społecznych i technicznych. Są to niewielka gęstość zaludnienia i brak bliskiego sąsiedztwa oraz dostępność komunikacyjna i przyłącza w zakresie wskazanym w ustawodawstwie dla zabudowy jednorodzinnej. Otoczenie i ukształtowanie terenu sprzyja kontroli znacznego obszaru oraz stwarza korzystne warunki dla pracy urządzeń generujących energię na potrzeby własne przy wykorzystaniu źródeł odnawialnych. Warunki takie zapewnia lokalizacja na terenie otwartym, ze znikomą ilością lub brakiem zieleni średniej i wysokiej w najbliższym otoczeniu, wskazany brak zabudowy sąsiadującej lub niska i w znacznej odległości. Bardzo korzystne warunki wietrzne może stwarzać sąsiedztwo jeziora znajdującego się od strony nawietrznej założenia w relacji z dominującym kierunkiem wiatrów lokalnych. Podobny efekt uzyskuje się przy lokalizacji na skarpie lub wzniesieniu lokując obiekt od strony zgodnej z kierunkiem wiatrów przeważających. Ze względu na brak lub sporadyczne występowanie oraz znaczna odległość od przeszkód terenowych będących źródłem zakłóceń przepływu laminarnego i powstawania cieni aerodynamicznych zjawisko szorstkości terenu będzie miało niewielki wpływ na obniżenie wartości prędkości wiatru wykorzystywanego do napędu urządzeń wiatrowych. Tak określone warunki wykluczają powstawanie miejscowych anomalii wietrznych, a wartości prędkości wiatrów pozostają w stałej relacji z mapami wietrzności dla przyjętej lokalizacji.

W przypadku obszarów z występującymi przeszkodami terenowymi w postaci zabudowy i zieleni wysokiej należy liczyć się ze zmniejszeniem sprawności instalacji wiatrowej. Szansą na jej poprawę jest analiza układu przepływów prowadzona pod kątem wskazania miejsc o najmniejszych turbulencjach i zachowania laminarnej struktury wiatru zapewniających wydajną pracę konwertera wiatrowego. Jako modelowe można przyjąć badania prowadzone na potrzeby określenia wpływu projektowanej zabudowy jednego z warszawskich osiedli na warunki swobodnego przepływu powietrza i potencjalne zmiany w istniejącym układzie naturalnej wentylacji miasta (Poćwierz i in. 2017, s. 33-40). Autorzy wykonali wieloaspektową analizę tunelową za pomocą dwóch komplementarnych metod polowych: saltacji piasku i wizualizacji olejowej, które zostały uzupełnione o badanie numeryczne CFD. Otrzymane wyniki pozwalają na dokładne określenie cech wiatru w przestrzeni osiedla i wskazanie miejsc niekorzystnych oraz użytecznych z punktu widzenia możliwości pozyskiwania energii wiatrowej. Innym z możliwych rozwiązań poprawiających skuteczność uzysku jest modyfikacja bryły budynku idąca w kierunku poprawy jej aerodynamiki i zwiększenia odległości umieszczenia wlotu kolektora od poziomu gruntu. W koncepcji zostało ono pominięte jako czynnik wpływający na obiektywną ocenę instalacji w przeprowadzonym badaniu.

2.3. Instalacja wiatrowa

Instalacja wiatrowa, dedykowana omawianemu obiektowi charakteryzować się powinna wysoką efektywnością energetyczną dla szerokiego zakresu prędkości wiatru oraz niską wartością prędkości startowej. Wskazania do zachowania zwartej formy założenia determinują konstrukcję turboinstalacji skonsolidowanej z bryłą budynku, spoiłą, o niewielkiej wysokości i ograniczonym gabarycie.

Zastosowanie właściwego podejścia projektowego do integracji turbin wiatrowych z badanym budynkiem w sposób zapewniający optymalne wykorzystanie energii wiatru zależy od zakładanych warunków brzegowych, a w głównej mierze od wysokości części nadziemnej obiektu, jej geometrii i lokalnego ukształtowania terenu. Typizacja stopnia integracji turbiny wiatrowej z budynkiem wyróżnia cztery podejścia projektowe określające stopień ingerencji w formę obiektu, a rozpatrywanie jej w kontekście zjawisk aerodynamicznych zachodzących wskutek przepływu mas powietrza w sąsiedztwie budynku pozwala na osiągnięcie najlepszych rezultatów (Abohela 2012). Przyjmowane kierunki projektowe to:

- BIWT (ang. *building integrated wind turbines*) – zakłada instalację wolno stojących turbin wiatrowych z pionową lub poziomą osią obrotu, przy czym drugi typ turbin wymaga pozycjono-

wania zgodnie z kierunkiem wiatru. W zależności od wielkości konstrukcji pozycjonowanie realizowane jest powierzchnią sterującą (ogonem) lub automatyką analizującą zmiany kierunku na podstawie odczytów z anemoskopu. Konstrukcje tego typu znajdują zastosowanie w miejscach gdzie dostępne są tereny otwarte takie jak boiska szkolne, parkingi wielkopowierzchniowe itp. sąsiadujące z zabudową powodującą spiętrzenie i przyspieszenie napływających mas powietrza. Turbiny BIWT charakteryzują się nieco większą wydajnością od konstrukcji BMWT lecz wymagają samodzielnego masztu wsporczego.

- BMWT (ang. *building mounted wind turbines*) – konstrukcje tego typu montowane są bezpośrednio na budynkach. Montaż wiatroinstalacji jest działaniem wtórnym w stosunku do budowy założenia i nie ma wpływu na zaprojektowaną formę obiektu. Budynek i jego kubatura wykorzystywane są do przyspieszenia przepływu i jako element wsporczy do umieszczenia instalacji na odpowiedniej wysokości i w korzystnym aerodynamicznym miejscu. W większości przypadków miejscem montażu jest dach obiektu, rzadziej krawędzie budynku, będące miejscami w sposób naturalny przyspieszającymi przepływ. Projektowane w ten sposób instalacje należą do najbardziej rozpowszechnionych.
- BAWT (ang. *building augmented wind turbines*) – wyróżnikiem tego podejścia projektowego jest aerodynamiczna bryła budynku. Turbiny wiatrowe BAWT zasilane są energią wiatru skoncentrowaną przez specjalnie zaprojektowaną kubaturę obiektu o aerodynamicznym kształcie. Budynek stanowi podporę dla instalacji, a jego forma pełni rolę kolektora wiatrowego. Projektowanie obiektów tego typu wymaga od architekta wszechstronnej wiedzy z zakresu aerodynamiki budynków, energii wiatrowej, jej konwersji i schematów koncentracji opartych o modele efektów aerodynamicznych spotykanych w zabudowie. Powstały projekt przed wdrożeniem wymaga walidacji narzędziami CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*) i tunelem aerodynamicznym. Obiekty tak projektowane należą do niezwykle spektakularnych i wzbudzających zainteresowanie, co przekłada się na pozytywny odbiór energetyki wiatrowej lokalizowanej na obszarach zurbanizowanych.
- DWT (ang. *ducted wind turbines*) – jest to rodzaj turbin pracujących w zamkniętej konstrukcji zwanej kanałem i pełniącej rolę koncentratora przepływu zbieranego z powierzchni prostopadłej do wlotu urządzenia. Głównym wyróżnikiem urządzenia jest podwyższona w stosunku do turbiny pracującej w przestrzeni otwartej efektywność energetyczna wynikająca ze zwiększonej prędkości mas powietrza przepływającego przez sekcję Venturiego będącą przewężeniem kanału ze zlokalizowanym w nim turbogeneratorem. Właściwość ta jest szczególnie przydatna w lokalizacjach z wiatrami o niewielkim natężeniu. Charakterystyka turbiny kanałowej wynika z kanału i może być modyfikowana w bardzo szerokim zakresie. Dla zwiększenia zakresu użytecznych prędkości przepływu stosuje się urządzenia zmieniające geometrię koncentratora w zależności od aktualnie panujących warunków. W projektowaniu architektonicznym wskazuje się na mniejszą uciążliwość wizualną i łatwość integracji estetycznej z obiektem.

Przedstawione rekomendacje dotyczące obiektu i przewidywane warunki wietrzne panujące w zakładanej jego lokalizacji uzasadniają odrzucenie integracji według pierwszego i drugiego schematu. Na zapewnienie optymalnych warunków pracy urządzeń wiatrowych pozwalają podejście trzecie i czwarte wytyczając dwa alternatywne modele.

Pierwszym z nich jest instalacja dedykowanej turbiny wiatrowej w otwartej przestrzeni i koncentracja przepływu za pomocą nadziemnej części budynku – model BAWT. Niska bryła obiektu wskazuje na jego niewielkie możliwości spiętrzenia przepływu. Zalecana jest forma dachu spadzistego o nachyleniu połaci pod kątem 30° w stosunku do poziomu i orientacji kalenicy prostopadle do dominującego kierunku wiatrów lokalnych. Umieszczenie zespołu turbin wiatrowych bezpośrednio nad kalenicą pozwoli na ich pracę w obszarze przepływu o największej intensywności, znajdującym się przy krawędzi szczytowej dachu. Wymóg zastosowania niewielkich urządzeń wiatrowych z jednoczesną zdolnością do konwersji energii wiatrów o niewielkich prędkościach wskazuje na turbiny Savoniusa. Forma rotorów tego typu pozwala na pracę z osią sytuowaną w pionie lub poziomie, a liniowa forma kalenicy umożliwi zestawienie zespołu składającego się z kilku urządzeń. Prowadzone obecnie badania pozwalają na ciągły wzrost wydajności opisywanych urządzeń poprzez modyfikację kształtu łopat i stosowanie odpowiednio profilowanych osłon. W badaniach przeprowadzonych na turbinach o wielkości adekwatnej do przedstawionego obiektu – 0,32 m na 0,32 m uzyskano zwiększenie wydajności dla turbin wyposażonych w łopaty helikalne pochylone

pod kątem 15° oraz łopaty typu Bacha wynoszące 21,4% w stosunku do konstrukcji tradycyjnej. Badanie wykonano przy prędkościach przepływu 1-6 m/s oraz przy płaszczyznach kierujących strumień powietrza (Nachaiyaphum Photong 2023, s. 618-625). W odrębnym badaniu prowadzonym na modelu o średnicy 0,8 m i wysokości 0,6 m po zastosowaniu szczeliny pomiędzy łopatami i częściowym osłonięciu konstrukcji deflektorem kształtującym linie przepływu uzyskano sprawność urządzenia na poziomie osiąganym w turbinach Darrieusa (Müller i in. 2017) (Ryc. 1a, 1b). Prace te świadczą o dużym potencjale rozwojowym opisywanych urządzeń i wskazują na możliwość uzyskania zadowalających efektów w przedstawionej aplikacji.

Drugie z proponowanych rozwiązań zakłada zastosowanie konstrukcji DWT. Korzyść z niego wynikająca to możliwość formowania przepływu w pożądanym sposób. Kształtując geometrię dyfuzora i dyszy uzyskuje się optymalne warunki dla pracy konwertera wiatrowego zarówno przy zbyt niskiej, jak i zbyt wysokiej wartości prędkości mas powietrza. Jest to cecha szczególnie użyteczna w przypadku urządzeń pracujących na wiatrach przyziemnych, charakteryzujących się większymi fluktuacjami objętości masowej i kierunku przepływu, zwiększoną tendencją do powstawania zjawisk aerodynamicznych o specyfice turbulentnej i niskiej wartości prędkości średniej. Ograniczona i zwarta kubatura projektowanego obiektu sprawiają, że kanałowa instalacja wiatrowa wydaje się być rozwiązaniem dla niego odpowiednim. Liczne badania wskazały na możliwość przekroczenia przez te urządzenia granicy Betza wyznaczającej maksymalną sprawność turbiny wiatrowej i osiągnięcia mocy wyjściowej na poziomie wyższym od pięć do sześć razy od analogicznych urządzeń konwencjonalnych (Aravindhan i in. 2023). Warianty formowania geometrii kolektora wiatrowego turbiny kanałowej pozwalają na dobór jego bryły do bryły obiektu, w którym ma być umieszczony i sprowadzają się do wytworzenia różnicy ciśnień pomiędzy jego wlotem i wylotem. Sposób realizacji tego założenia jest dość elastyczny i zależy od warunków jakie narzuca obiekt i oczekiwań co do sprawności energetycznej konwertera. Jeden z najprostszych przedstawiony przez badaczy zakłada umieszczenie przy wylocie dyfuzora pierścienia zewnętrznego, wprowadzającego na wysokości wylotu obszar silnych turbulencji (Hasegawaa, Ohya, Kume 2012). Element taki pozwala na uzyskanie dwa do pięciu razy więcej energii w stosunku do pierwotnego kształtu urządzenia przy tej samej prędkości wiatru i średnicy wirnika. Kolejnym systemem uzyskiwania energii jest Invelox (Ryc. 2). Technologia ta pozwala na przyjmowanie mas powietrza do wielokierunkowej czepni w formie lejka i sprowadzanie ich przez zwięzający się kanał do sekcji Venturiego mieszczącej turbiny wiatrowe, gdzie po przejęciu energii przepływu przechodzą do rozprężającego je wylotu (Ryc. 3). System ten został zaprojektowany jako pasywny co do reakcji na zmieniający się kierunek wiatru, co pozwala uprościć konstrukcję lecz pozostawia otwartą drogę do zwiększania jego wydajności. Pozostawiając aspekt energetyczny podkreślić należy pozostałe wartości płynące z systemów kanałowych DWT. Należą do nich, m.in. podniesienie bezpieczeństwa w razie uszkodzenia turbiny i obniżenie propagacji hałasu aero-akustycznego, wynikające z zabudowy elementów ruchomych we wnętrzu kanału; wizualna hermetyzacja obracającego się wirnika a także, w przypadku kolektora o zmiennej geometrii, zamknięcie i całkowite odizolowanie układu w przypadku wystąpienia niekorzystnych warunków panujących na zewnątrz.

3. PRZYJĘTA KONCEPCJA – OBIEKT STUDYJNY

Przyjęta koncepcja wykorzystuje poszczególne właściwości przedstawionych urządzeń i ich cechy, najlepiej dopasowane do warunków i wymagań jakie stawia opisywany obiekt. Przy niewielkich wartościach prędkości wiatrów lokalnych założeniem wiodącym jest maksymalizacja uzysku energii wiatrowej przez odpowiednią konstrukcję skupiającą i przyspieszającą przepływ mas powietrza (Ryc. 4).

Konstrukcję zlokalizowano w stropie budynku, bezpośrednio pod powierzchnią gruntu. Elementami odpowiedzialnymi za dystrybucję energii wiatrowej dla turbin są nadziemne elementy kolektora wiatrowego o zmiennej geometrii (Ryc. 5a). Sterowanie stopniem rozwarcia gardzieli i wyrzutni umożliwia regulację przepływu przez sekcję Venturiego z trójstopniowym zespołem turbin (Ryc. 5b), dzięki czemu uzyskano bardzo szeroki zakres prędkości użytecznych wiatru i pełną skalowalność urządzenia, aż do całkowitego wyłączenia przy pełnym zamknięciu wlotu i wylotu koncentratora. Ma to na celu zapobieganie powstawaniu przeciążeń dynamicznych i statycznych w ruchomych elementach kolektora i układzie konwertera wiatrowego zainstalowanego w przewężeniu

dyszy w okresach występowania zbyt intensywnych wiatrów, mogących prowadzić do uszkodzenia konstrukcji. W celu zwiększenia wydajności urządzenia zastosowano korektę charakterystyki kierunkowej, kierując jego wlot zgodnie z aktualnym kierunkiem wiatru, realizowaną poprzez obrót całości wokół centralnie położonej osi, uzyskując dzięki temu optymalną wydajność dla wiatrów z kierunków innych niż przeważający. Wymaganą sprawność zastosowanego konwertera wiatrowego uzyskano zestawiając trzy współosiowe propellery HAWT, umieszczone w przewężeniu sekcji Venturiego (Ryc. 5c,d). Lokalizacja ta zapewnia najwydajniejszą konwersję energii przepływu ze względu na najwyższą jego prędkość i różnicę ciśnień występującą w tym obszarze. Badania eksperymentalne prowadzone na turbinach tunelowych Invelox wskazały na wzrost osiągniętych mocy w przypadku systemów dwu i trzyturbinowych, przy czym wzrost ten ma charakter nieliniowy, odpowiednio 52% i 72%, a dodanie drugiej i trzeciej turbiny ma znikomy wpływ na pracę pierwszej (Taghinezhad i in. 2019, s. 24). Dalszy wzrost liczby turbin nie przynosił oczekiwanych rezultatów. Zjawisko to zostało potwierdzone w badaniu na modelu numerycznym wprowadzającym w miejsce turbozespołu hipotetyczne ciało porowate odpowiadające rezystancji aerodynamicznej turbin. Przy określonej jej wartości osiągnęto poziom krytyczny, powyżej którego moc wydzielana w układzie zaczęła spadać (Ranjbar i in. 2022, s. 2).

W relacjach funkcji i konstrukcji w integracji systemu DWT z budynkiem wystąpiła konieczność redukcji wymiarów kolektora wiatrowego, który w układach klasycznych przybiera postać liniową, lub też zbliżoną do liniowej. Problem wynikający z ograniczenia został rozwiązany poprzez zaprojektowanie kanału o przebiegu osi w formie litery „S”. Pozwoliło to na zmniejszenie ilości zajmowanej przestrzeni, przez co umożliwiło realizację mechanizmu pozycjonowania instalacji. Z punktu widzenia pełnienia przez budynek roli ochronnej instalacja umieszczona w stropie pełni rolę dodatkowej bariery przed czynnikami zewnętrznymi.

4. BADANIE PRZEPLÝWU

Przedstawione badanie ma charakter jakościowy i nie może być podstawą szacowania ilościowego wydajności energetycznej założenia. Wprowadzone zmienne w postaci regulowanej geometrii i pozycjonowania urządzenia rozszerzają zakres badań wymaganych do deskrypcji ilościowej. Przedstawione w obiekcie studialnym założenia ideowe instalacji wiatrowej mają cechy uniwersalne.

W obrazowaniach numerycznych wykazano wzrost prędkości mas powietrza w przebiegu kanału oraz wlocie i wylocie kolektora wiatrowego. Badane przekroje charakterystyczne to: przekrój poziomy na wysokości osi sekcji turbozespołu i przekrój pionowy przez środkową część przewężenia Venturiego oraz wlot i wylot instalacji (Ryc. 6). Wpływ zmian geometrii urządzenia na skalowalność przepływu przedstawiono w trzech powtórzeniach, przy stopniach rozwarcia gardzieli wynoszących odpowiednio 100%, 66% i 33%. Korelacja prędkości przepływu w obszarze lokalizacji turbin z powierzchnią poprzeczną wlotu i wylotu wykazała zależność zbliżoną do liniowej. Przy całkowitym otwarciu kolektora uzyskano maksymalny wzrost prędkości przepływu na poziomie 350% wartości przepływu niezakłóconego.

Obrazowanie ciśnień statycznych panujących w przestrzeni kolektora ujawniło obszar tworzącego się w końcowej części sekcji konwertera wiatrowego podciśnienia (Ryc. 7). Jest ono związane ze zjawiskiem Bernoulliego i może znaleźć praktyczne zastosowanie we wspomaganium wentylacji obiektu.

5. WNIOSKI

Rezultaty otrzymane w badaniu dynamiki przepływu wybranej koncepcji zabudowy potwierdziły założoną tezę o możliwości efektywnego wykorzystania energii wiatru występującego na niewielkich wysokościach. Warunkiem niezbędnym do tego jest odpowiedni dobór i konstrukcja urządzenia do konwersji energii mas powietrza. W przedstawionej koncepcji zastosowano zespół turbin kanałowych sprzężonych z kolektorem o zmiennej geometrii koncentratora i wylotu, oraz ich pozycjonowanie zgodne z kierunkiem wiatru. Rozwiązanie pozwoliło na zwiększenie zakresu prędkości użytecznych wiatru i uniknięcie strat wynikających z kierunkowej charakterystyki kolektora. Po-

twierdzono również wykonalność integracji instalacji wiatrowej z obiektem o niewielkiej kubaturze i bryle zlokalizowanej w całości poniżej poziomu terenu.

BIBLIOGRAPHY

- Abohela I. (2012), *Effect of Roof Shape, Wind Direction, Building Height and Urban Configuration on the Energy Yield and Positioning of Roof Mounted Wind Turbines*, Newcastle University, School of Architecture, Planning and Landscape.
- Aravindhan N., Bibin C., Kumar R. A., Kalyan K. S., Balaji K., Kugan R., Rajesh K., Arunkumar S. (2023), Performance analysis of various types of ducted wind turbines – A Review, *Elsevier Ltd. Materials Today: Proceedings*, vol. 80, issue 1, pp. 188-194, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.240>
- Hasegawaa M., Ohya Y., Kume H. (2012), 'Numerical Studies of Flow around a Wind Turbine Equipped with a Flanged-Diffuser Shroud Using an Actuator-Disk Model', *Wind Engineering*, Vol: 36 Issue: 4, DOI: 10.1260/0309-524X.36.4.455.
- I.R.Iran National Designated Entity (NDE), [online] <https://irannde.com/en/?p=882>, (Accessed: 22-02-2024)
- Müller G., Chavushoglu M., Kerri M., Tsuzaki T. (2017), 'A resistance type vertical axis wind turbine for building integration', *Elsevier Ltd., Renewable Energy*, vol. 111, pp. 803-814, doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.017
- Nachaiyaphum K., Photong C., (2023), 'An electric power generation improvement for small Savonius wind turbines under low-speed wind', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 29, issue 2, pp. 618-625, ISSN: 2502-4752, DOI: 10.11591/ijeecs.v29.i2.pp618-625
- Poćwierz M., Gumowska K., Józwiak K., Piechnia J., (2017), *Wpływ projektowanej zabudowy na warunki wiatrowe otoczenia na przykładzie inwestycji przy ul. Powązkowskiej w Warszawie, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, vol. 9, issue 3, pp. 33-40, ISSN: 1734-4891
- Ranjbar M. H., Mashouf H., Gharali K., Rafiei B., Al-Haq A., Nathwani J., (2022), *Power augmentation of ducted wind turbines for urban structures: Experimental, numerical, and economic approaches*, *Energy Science & Engineering*, vol. 10, issue 10, pp. 3893-3907, <https://doi.org/10.1002/ese3.1252>
- Serwis Rzeczypospolitej Polskiej (2022) *Odnawialne źródła energii* Edukacja Ekologiczna <https://www.gov.pl/web/edukacja-ekologiczna/odnawialne-zrodla-energii-czym-sa-i-co-nalezy-o-nich-wiedziec>, (Accessed: 07-08-2023).
- Serwis Rzeczypospolitej Polskiej (2024) 'Wytyczne szefa obrony cywilnej kraju z dnia 04.12.2018 r.', [online] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiD0t6NrdGEAxWjSfEDHUn7CpMQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.gov.pl%2Fattachment%2Ffea024d89-f32d-4964-b16a-73fe46c27ef8&usq=AOvVaw1D7cAoci19369xuubnHdFN&opi=89978449>, (Accessed: 22-02-2024).
- Sejm (2015) Strona główna Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej, Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/home.xsp>, (Accessed: 03-08-2023)
- Taghinezhad J., Alimardani R., Mosazadeh H., Masdari M. (2019) 'Ducted Wind Turbines. A Review', *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, vol. 5 issue 4, pp. 19 – 25, ISSN: 2454-4248.
- Wojtkun G. (2021), 'Epidemiczne determinanty w mieszkalnictwie', *Space&form / Przestrzeń i FORMA '47*, pp. 9-28, DOI: 10.21005/pif.2021.47.A-01.

AUTHOR'S NOTE

The author is a PhD student at the Faculty of Architecture of the West Pomeranian University of Technology, Szczecin.

O AUTORZE

Autor jest doktorantem na Wydziale Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Contact | Kontakt: rafal.ob@interia.pl