

# ENERGIA WIATROWA W ARCHITEKTURZE

autor: mgr inż. arch. Aleksandra Głuchowska  
promotor: prof. dr hab. inż. arch. Waław Celadyn  
praca doktorska opracowana na Wydziale Architektury  
Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki  
Kraków 2019

Autorka była stypendystką programu stypendialnego dla doktorantów Politechniki Krakowskiej w ramach projektu „Politechnika XXI wieku – Program rozwojowy Politechniki Krakowskiej – najwyższej jakości dydaktyka dla przyszłych polskich inżynierów”, finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego i budżetu państwa w ramach Poddziałania 4.1.1 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki.



## SPIS TREŚCI

<b>I.</b>	<b>WSTĘP</b>	<b>5</b>
I.1.	GENEZA PRACY	5
I.2.	PRZEDMIOT BADAŃ I CELE PRACY	9
I.3.	ZAKRES OPRACOWANIA	11
I.4.	TEZA PRACY BADAWCZEJ	12
I.5.	STAN BADAŃ I LITERATURA PRZEDMIOT	13
I.6.	METODA PRACY	14
I.7.	TERMINOLOGIA	14
<b>II.</b>	<b>ENERGETYKA WIATROWA</b>	<b>17</b>
II.1.	WIATR I JEGO ZASOBY ENERGETYCZNE	17
II.1.1.	Cyrkulacja mas powietrza na Ziemi	18
II.1.2.	Zarys historii rozwoju energetyki wiatrowej	20
II.1.3.	Schemat działania siłowni wiatrowej	22
II.1.4.	Ekonomiczne aspekty energetyki wiatrowej	25
II.2.	WPŁYW SIŁY WIATRU NA OBIEKTY BUDOWLANE	28
II.3.	ENERGETYKA WIATROWA W UNII EUROPEJSKIEJ I W POLSCE	30
II.3.1.	Stan rozwoju i możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej	30
II.3.2.	Stan rozwoju i możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej w Polsce	34
<b>III.</b>	<b>KLASYFIKACJA TURBIN WIATROWYCH</b>	<b>41</b>
III.1.	KLASYFIKACJA OGÓLNA	41
III.1.1.	Klasyfikacja ze względu na budowę	41
III.1.2.	Klasyfikacja ze względu na moc systemu	44
III.2.	KLASYFIKACJA DOTYCZĄCA TURBIN POWIĄZANYCH Z ARCHITEKTURĄ	44
III.2.1.	Klasyfikacja ze względu na montaż	45
III.2.2.	Klasyfikacja ze względu na wpływ turbin na kształtowanie obiektu	49
<b>IV.</b>	<b>UWARUNKOWANIA DOBORU SIŁOWNI WIATROWEJ W ARCHITEKTURZE</b>	<b>53</b>
IV.1.	PODSTAWOWE ASPEKTY DOBORU	53
IV.2.	WYBRANE PRZYKŁADY TURBIN WIATROWYCH STOSOWANYCH W ARCHITEKTURZE	57
IV.3.	PROBLEMATYKA ZWIĄZANA Z ZASTOSOWANIEM TECHNOLOGII WIATROWYCH	74
<b>V.</b>	<b>WPŁYW ENERGII WIATROWEJ NA KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY</b>	<b>79</b>
V.1.	KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY WIATROWEJ W ODNIESIENIU DO TRADYCYJNEJ	79
V.2.	BADANIA MODELOWE WPŁYWU KSZTAŁTU BRYŁY BUDYNKU NA NAJKORZYSTNIEJSZĄ LOKALIZACJĘ TURBIN WIATROWYCH ORAZ ICH EFEKTYWNOŚĆ	83
V.2.1.	Metoda badawcza i aparatura pomiarowa	83
V.2.2.	Przebieg doświadczenia	86

V.2.3.	Wyniki pomiarów oraz ich analiza	91
V.2.4.	Wnioski	96
V.3.	ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW	96
V.4.	RÓŻNORODNOŚĆ ZASTOSOWAŃ ENERGII WIATRU W ARCHITEKTURZE	158
V.4.1.	Przewietrzanie i wentylacja	158
V.4.2.	Dynamiczne fasady	161
V.4.3.	Reklama	163
V.4.4.	Sztuka	164
V.4.5.	Mała architektura i przestrzenie publiczne	166
V.5.	PROGNOZY ROZWOJU ARCHITEKTURY WIATROWEJ	168
V.6.	WNIOSKI	174
<b>VI.</b>	<b>PODSUMOWANIE</b>	<b>179</b>
VI.1.	WNIOSKI	179
VI.2.	STRESZCZENIE DYSERTACJI W JĘZYKU POLSKIM	184
VI.3.	STRESZCZENIE DYSERTACJI W JĘZYKU ANGIELSKIM (SUMMARY OF THE DISSERTATION)	185
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>187</b>
<b>VIII.</b>	<b>SPIS ILUSTRACJI, RYSUNKÓW I TABEL</b>	<b>191</b>

## I. WSTĘP

### I.1. GENEZA PRACY

Energetyka jest podstawą rozwoju współczesnej cywilizacji i najważniejszą gałęzią gospodarki. Jej rozkwit zapewnia bezpieczeństwo energetyczne państw, co generuje możliwość funkcjonowania i rozwoju społeczeństwa.

Współczesna technika jest całkowicie zależna od energii elektrycznej. Nowe technologie wykorzystujące energię elektryczną otaczają nas w życiu codziennym i coraz bardziej zaczynamy się od nich uzależniać. Niestety konwencjonalne źródła energii (do których zaliczamy: węgiel kamienny i brunatny, gaz ziemny i ropę naftową) w różnym stopniu zanieczyszczają środowisko przyrodnicze, a ich ciągła eksploatacja stale zmniejsza zasoby w/w surowców na świecie.

Istotną przyczyną zintensyfikowania badań nad wykorzystaniem OZE (Odnawialnych Źródeł Energii) są niewątpliwie kwestie ekologiczne. W Polsce głównym surowcem wykorzystywanym do produkcji energii jest węgiel (w strukturze zużycia energii pierwotnej w Polsce energia pochodząca ze spalania węgla wynosi 61% (Rys. 1.2)). Wydobycie, przetwarzanie i spalanie tego surowca oddziałuje ujemnie na środowisko przyrodnicze. Globalne skutki pozyskiwania energii z węgla to emisja CO<sub>2</sub> (efekt cieplarniany). Do następstw lokalnych możemy zaliczyć powstanie lei depresyjnych w obszarach kopalń, degradację i dewastację terenów rolno-leśnych, zanieczyszczenie wód (wody pokopalniane i pochodzące z procesów wzbogacania węgla), podgrzanie wód w skutek chłodzenia kondensacyjnego elektrowni, składowanie odpadów, zapadanie terenu pod kopalniami głębinowymi, powstanie silnie toksycznego tlenku węgla CO wskutek niepełnego spalania paliw oraz emisja SO<sub>2</sub> i pyłów z elektrowni i palenisk domowych. Na świecie natomiast przeważa zużycie ropy naftowej (Rys. 1.1), której zasoby wciąż się kurczą, a jej wydobycie i przetworzenie powoduje równie ujemny wpływ na środowisko przyrodnicze. Globalnymi skutkami wykorzystania ropy naftowej są eutrofizacja, zakwaszanie gleb i wód oraz zubożenie zasobów. Możemy również wyodrębnić skutki lokalne, do których zaliczamy zmiany struktury glebowej, zanieczyszczenie powierzchni ziemi substancjami ropopochodnymi, skażenie okolicznych wód powierzchniowych w wyniku przedostania się do nich zanieczyszczeń z terenu wiertni, skażenie wód podziemnych w wyniku ucieczki płuczki, emisja hałasu z urządzeń pracujących na wiertni, emisja węglowodorów z rafinerii, emisja tlenków azotu NO<sub>x</sub>, emisja CO i CO<sub>2</sub> oraz SO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>S.

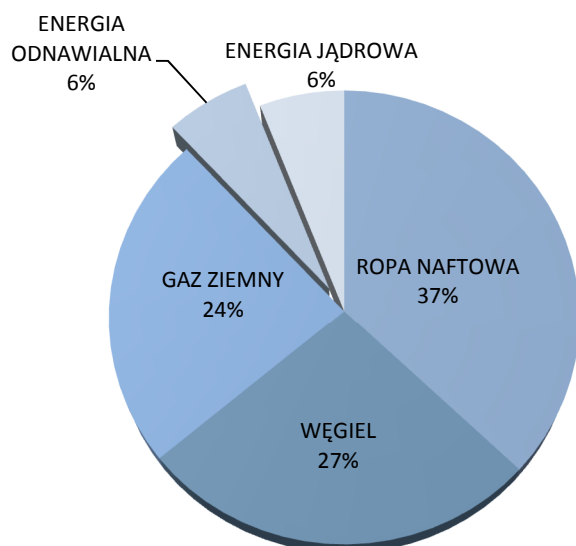
Wyżej wymienione aspekty ekologiczne nie byłyby z pewnością respektowane gdyby nie polityka państw związana z promowaniem OZE. UE (Unia Europejska) swoje plany działania i cele dotyczące niekonwencjonalnych źródeł energii zawarła w Białej i Zielonej Księdze oraz w Dyrektywie 2001/77/EC. Postanowienia w nich zawarte wymuszają na krajach członkowskich promowanie OZE poprzez działania administracyjne, prawne oraz finansowe. Ponadto międzynarodowy nacisk na rozwój alternatywnych źródeł energii stwarza konieczność realizacji zobowiązań wynikających z Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych (UN FCCC) dotyczącej zmian klimatu oraz Protokołu z Kioto odnoszącego się do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Główną przyczyną rozwoju alternatywnych źródeł energii były jednak kwestie ekonomiczne. Jako jeden z bodźców, jakie wymusiły poszukiwania nowych rozwiązań wykorzystujących energię odnawialną podaje się kryzys paliwowo-energetyczny lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Był on spowodowany embargiem na dostawy ropy naftowej nałożonym na kraje Europy Zachodniej i USA przez organizację OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) za pomoc finansową, jaką kraje te udzieliły Izraelowi w czasie wojny arabsko-izraelskiej. Mający wtedy miejsce, znaczny wzrost cen ropy naftowej (z 2,83 USD w 1973 r. za baryłkę do 14 USD w 1974 r.) stał się impulsem do

prowadzenia badań w zakresie wykorzystania energii odnawialnej<sup>1</sup>. Od tego czasu obserwuje się ciągły wzrost cen paliw (głównie ropy i gazu ziemnego). Daje to podstawy do przypuszczeń, iż w niedługim czasie niekonwencjonalne źródła energii mogą stać się korzystniejsze nie tylko pod względem ekologicznym, ale również finansowym.

Niwelowanie skutków zanieczyszczenia środowiska (na które kładzie się coraz większy nacisk) wymaga licznych nakładów finansowych. W miarę rozwoju technologii OZE coraz tańsze okazuje się niedopuszczanie do powstawania zanieczyszczeń. Do wyprodukowania 1 MWh energii elektrycznej należy zużyć 500 kg węgla, co powoduje wyemitowanie do atmosfery m.in. 850 kg CO<sub>2</sub>, 10 kg SO<sub>2</sub>, 11 kg CO i 4 kg NO<sub>x</sub>. Zatem pozyskanie 1 MWh energii z odnawialnych źródeł energii pozwala uniknąć w/w emisji<sup>2</sup>.

Malejące zasoby odnawialnych źródeł energii, ich rosnące ceny, ujemny wpływ na stan środowiska naturalnego oraz coraz efektywniejsze wykorzystywanie źródeł odnawialnych wpływa na zwiększenie ich udziału w światowej produkcji energii. Całkowite zużycie energii pierwotnej na Świecie w 2017 roku wyniosło 13 511,2 Mtoe (milionów ton ekwiwalentu ropy), z czego 486,8 Mtoe pochodziło ze źródeł odnawialnych<sup>3</sup>. W bilansie zużycia energii pierwotnej na świecie (Rys. 1.1) przeważa zużycie ropy naftowej, które stanowi około 37% światowego zużycia, węgiel znajduje się na drugim miejscu (27%), następnie gaz ziemny (24%), energia jądrowa (6%). Źródła odnawialne plasują się na czwartym miejscu, stanowiąc jedynie 6% światowego zużycia energii.



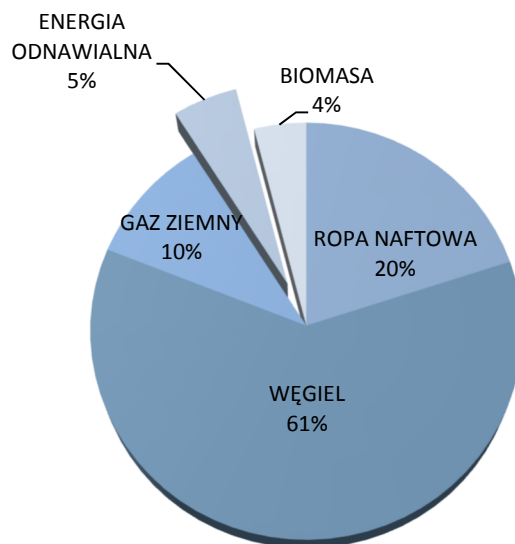
Rys. 1.1 Struktura zużycia energii pierwotnej na świecie w roku 2005, źródło: opracowanie własne na podstawie danych (IEA – International Energy Agency).

Bilans ten nieco inaczej kształtuje się w Polsce, gdzie przewagę stanowi energia wytwarzana z węgla (61%) (Rys. 1.2). Spowodowane jest to z pewnością bogatymi zasobami naturalnymi tego surowca na terenie kraju. Drugim co do ilości wytworzonej energii surowcem jest ropa naftowa, która stanowi 20%. Energia odnawialna znajduje się, tak jak w przypadku produkcji światowej, na miejscu czwartym (po gazie ziemnym), jednak stanowi zaledwie 5% produkcji energii pierwotnej w Polsce.

<sup>1</sup> Boczar T., *Wykorzystanie energii wiatru*, Wydawnictwo PAK, ISBN: 978-83-926319-6-5, Warszawa 2010

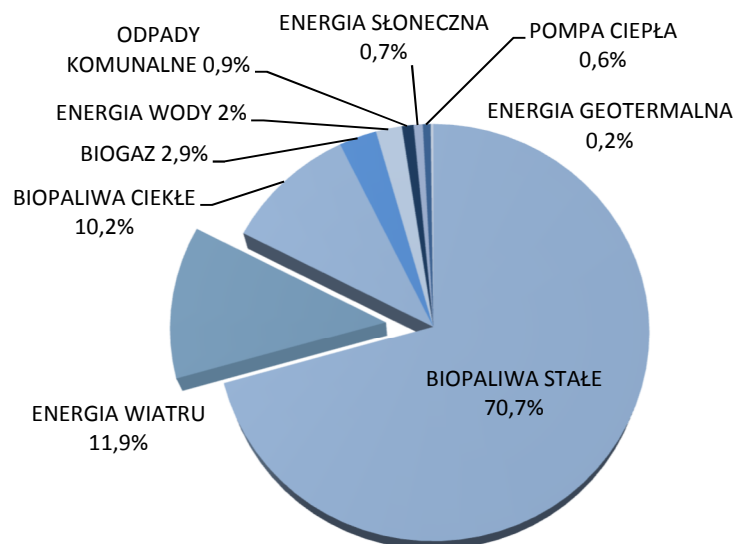
<sup>2</sup> Soliński I., Ostrowski J., Soliński B., *Energia wiatru*, Wydawnictwa AGH, ISBN: 978-83-7464-246-0, Kraków 2010, s. 13

<sup>3</sup> Dane opublikowane przez BP 13 czerwca 2018

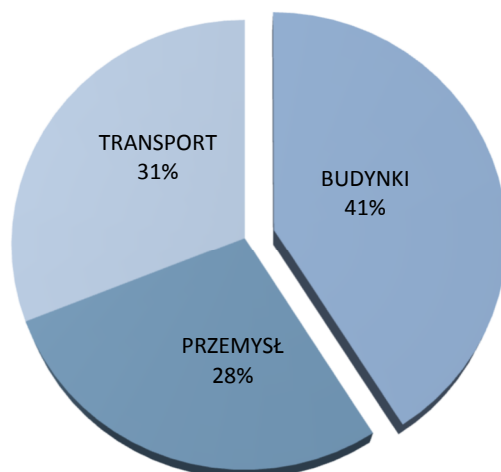


Rys. 1.2 Struktura zużycia energii pierwotnej w Polsce w roku 2006, źródło: opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT.

Z przedstawionych zestawień procentowych można wywnioskować w o ile mniejszym zakresie Polska, w stosunku do całego świata, korzysta ze źródeł odnawialnych. I choć procentowy udział energii wiatru w strukturze pozyskania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w Polsce zajmuje drugie miejsce, to wynosi tylko około 11% (Rys. 1.3). Przyczyną może być brak funduszy na rozwój technologii, polityka energetyczna państwa jak również uprzedzenia społeczne.



Rys. 1.3 Struktura pozyskania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w Polsce w roku 2016, źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 1.4 Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej, źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat.

Zapotrzebowanie na energię w ok. 40% stanowią budynki (Rys. 1.4), a ich eksploatacja ok. 30% całkowitego zużycia energii pierwotnej w krajach UE<sup>4</sup>. Z przedstawionych danych jednoznacznie wynika, że wprowadzenie do obiektów budowlanych technologii umożliwiających pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych znacznie zwiększy ich udział w światowej produkcji. Następstwem czego poprawi klimat, ograniczy emisję dwutlenku węgla i innych substancji szkodliwych do atmosfery oraz ograniczy wydobycie surowców nieodnawialnych. Ma to z kolei znaczący wpływ na tak aktualny dziś temat rozwoju zrównoważonego. W związku z tym coraz częściej podejmuje się tematykę architektury energooszczędnej, budynków pasywnych, a także obiektów plus energetycznych. Rozwijamy technologie budowlane mające na celu redukcję strat ciepła oraz pozyskiwania energii poprzez źródła odnawialne. *„Rosnąca świadomość ekologiczna rozpoczęła proces kreowania obiektów wykorzystujących energię środowiska. Jej niewyczerpalność, czystość, powszechność występowania oraz niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne przemawiają za celowością jej wykorzystania”<sup>5</sup>*. Budowa coraz bardziej ekologicznych budynków jak również modernizacja istniejących są wielką nadzieją na rozwiązanie w przyszłości problemów ze zwiększającym się zużyciem energii, a co za tym idzie nadmiernym i stale rosnącym stężeniem zanieczyszczeń w atmosferze.

Część instalacji konwencjonalnych źródeł energii w Polsce jest przestarzała lub nie spełnia wymogów środowiskowych. Według PSE (Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.) do roku 2020 może nastąpić konieczność wycofania z eksploatacji bloków konwencjonalnych o łącznej mocy 7 GW, a do roku 2030 – 12 GW. Dane te ukazują jak duża jest potrzeba budowy nowych mocy. Daje to jednocześnie możliwość szerszego włączenia instalacji OZE w sieć energetyki krajowej – w tym również instalacji wiatrowych.

Jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi energetyki ekologicznej są technologie pozyskujące energię z siły wiatru. Za ich rozwojem przemawia czystość wytworzonej w ten sposób energii oraz niewyczerpalność i powszechne występowanie „surowca” – wiatru. Według danych przedstawionych przez American Wind Energy Association (AWEA) oraz European Wind Energy Association (EWEA) możliwe do wykorzystania (z technicznego punktu widzenia) światowe zasoby energii wiatru wynoszą

<sup>4</sup> Źródło: Eurima, Podstawowe fakty i liczby 2006

<sup>5</sup> Praca zbiorowa pod redakcją Lisik A., Odnawialne źródła energii w Architekturze, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: 83-7335-073-X, Gliwice 2002, s.193



około 53 000 TWh/rok. Wartość ta znacznie przewyższa roczne zużycie energii na świecie. Większość tych zasobów jest wykorzystywana przez tak zwane farmy wiatrowe. Mają one jednak wiele ograniczeń związanych z przepisami determinującymi odległości farm od gospodarstw, czy też kosztami przesyłu energii wyprodukowanej z dala od miast gdzie jest najbardziej potrzebna. Duże odległości pomiędzy farmami wiatrowymi produkującymi prąd, a konsumentami (najwięcej energii zużywają duże miasta) wymagają rozbudowanego systemu przesyłu energii elektrycznej. Następstwem są znaczne straty energii, co z kolei podnosi cenę wytworzonego prądu. Z tego powodu wytwarzanie energii na obszarach miejskich mogłoby stać się bardziej opłacalne gdyż minimalizowałoby straty ponoszone w związku z przesyłem prądu.

W ostatnim czasie energia wiatrowa stała się alternatywą dla stosowanych na szeroką skalę rozwiązań wykorzystujących energię słoneczną. Pomimo iż budownictwo solarne jest bardzo rozwinięte, to w wielu strefach klimatycznych nie jest ekonomicznie atrakcyjne z uwagi na brak odpowiedniego nasłonecznienia. W takich przypadkach znacznie efektywniejsza może się okazać produkcja energii wiatrowej.

Technologie te mają szanse być coraz częściej wykorzystywane w architekturze. Wyraża staję się tendencja do projektowania i budowy obiektów smukłych, w których wymiary przekroju poprzecznego budynku są znacznie mniejsze od wysokości (takie kształtowanie powodowane jest nie tylko rozwojem technologicznym, ale również ceną gruntu i wciąż zmniejszającą się powierzchnią działek inwestorskich w miastach). Głównymi obciążeniami takich obiektów są: ciężar własny, obciążenie użytkowe oraz obciążenie wiatrem. To ostatnie ma znaczący wpływ nie tylko na sam obiekt, ale również na możliwość wytwarzania przez niego energii z siły wiatru.

## I.2. PRZEDMIOT BADAŃ I CELE PRACY

Energooszczędne projektowanie stało się bardzo popularne w ostatnich latach. Coraz częściej zwracamy uwagę na odpowiednie kształtowanie bryły budynku oraz dobór materiałów konstrukcyjnych i wykończeniowych. Aby niskoenergetyczne obiekty były ekologiczne w swym użytkowaniu niezbędne jest również ich odpowiednie wyposażenie w urządzenia ograniczające straty energii oraz produkujące energię ze źródeł odnawialnych. Wśród tego typu urządzeń możemy znaleźć między innymi turbiny wiatrowe zamieniające siłę wiatru na prąd elektryczny. Różnorodność dostępnych technologii pozwala na coraz szersze ich zastosowanie. Zarówno jako elementy autonomiczne, jak również składowe istniejącej lub projektowanej architektury. W literaturze anglojęzycznej istnieje określenie Building–Integrated Wind Energy (BIWE). Opisuje ono podejście do projektowania obiektów zintegrowanych z turbinami wiatrowymi łączące w sobie prace naukowe, projektowanie techniczne, ekologiczne oraz estetykę obiektów. To niestandardowe kształtowanie architektury jest ściśle związane z projektowaniem zrównoważonym oraz najnowszymi technologiami. Szerokie badania w tej tematyce prowadzi Profesor Ute Poerschke z Pennsylvania State University<sup>6</sup>.

Wśród turbin wiatrowych dostępnych na rynku są zarówno urządzenia wielkogabarytowe jak również tak zwane mikro turbiny o mocach nie przekraczających 1000 W. Usługi w tym zakresie świadczą także projektanci, którzy mają sposobność współpracy międzybranżowej w produkcji turbin wiatrowych tworzonych na potrzeby konkretnego obiektu architektonicznego (Il. 1.1, Il. 1.2).

Głównym celem pracy jest zbadanie i przedstawienie oddziaływań jakie zachodzą pomiędzy technologiami pozyskiwania energii poprzez siłę wiatru, a obiektami architektonicznymi. Zalicza się do nich wpływ doboru technologii na kształtowanie obiektu architektonicznego oraz wpływ obiektu na efektywność technologii. Jeden z etapów pracy stanowi klasyfikacja technologii i przyporządkowanie ich do odpowiednich rodzajów obiektów budowlanych połączonych z turbinami wiatrowymi.

---

<sup>6</sup> <http://wind.psu.edu/research/building-integrated-wind-energy>, dostęp: 08–02–2017.



Il. 1.1 Jedna z trzech turbin wiatrowych zintegrowanych z Bahrain World Trade Center, źródło: <https://www.buildinggreen.com/feature/folly-building-integrated-wind>, dostęp: 08-02-2017.



Il. 1.2 Panorama Londynu – widok na Strata SE1, źródło: <http://inhabitat.com/first-skyscraper-with-built-in-wind-turbines-opens-in-london/strata-ed01/>, dostęp: 08-02-2017.

Autorka pracy skupia się na energii wiatru w architekturze jako na temacie jeszcze dość rzadko poruszonym, a jednocześnie niezwykle interesującym i mającym ogromne znaczenie dla kształtowania obiektów architektonicznych. Ponadto tematyka energii wiatru w architekturze została podjęta przez autorkę również z uwagi na zainteresowanie projektowaniem energooszczędnym i odnawialnymi źródłami energii. Problematyka dotycząca energii słońca jest szeroko opisana w literaturze zarówno obcojęzycznej jak i polskiej. Natomiast architektura wiatrowa jest nie tylko dość nowym nurtem w projektowaniu (posiadającym jednocześnie korzenie w budownictwie historycznym), ale również przyszłościowym i mający duży potencjał rozwoju wraz z nowymi technologiami.

Praca ta nie ma na celu bezwiednego narzucania rozwiązań wiatrowych w nowych i istniejących obiektach. Są to jedne z możliwych do wykorzystania, dostępnych dziś technologii, które są z pewnością proekologiczne, przyszłościowe i mogące zapewnić interesujące efekty estetyczne.

Praca ma na celu:

- sprecyzowanie uwarunkowań doboru technologii wiatrowej,
- określenie wpływu parametrów przestrzennych obiektu architektonicznego na efektywność zastosowanych technologii,
- klasyfikację obiektów architektonicznych połączonych z turbinami wiatrowymi na podstawie analiz wybranych przypadków,
- przegląd najnowszych turbin wiatrowych stosowanych w architekturze,
- nakreślenie obszaru wykorzystania energii wiatrowej w architekturze,
- zwrócenie uwagi na problematykę związaną z zastosowaniem turbin wiatrowych w architekturze,
- przedstawienie potencjalnych kierunków rozwoju architektury wiatrowej,
- określenie cech charakterystycznych architektury wiatrowej oraz zdefiniowanie architektury zintegrowanej z turbinami wiatrowymi.

### I.3. ZAKRES OPRACOWANIA

Merytoryczny – w pracy zostały przedstawione zależności, jakie występują pomiędzy obiektem architektonicznym, a urządzeniami pozyskującymi energię z siły wiatru. Szeroko opisany został również aspekt doboru turbin wiatrowych oraz kształtowania architektury zintegrowanej z siłowniami wiatrowymi. Ważny element pracy stanowi doświadczenie przeprowadzone, w tunelu aerodynamicznym „Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji”<sup>7</sup>, mające na celu ustalenie preferencji kształtu budynku pozwalającego na najlepsze wykorzystanie energii wiatru.

Czasowy – obiekty opisane w opracowaniu zostały ograniczone do wybudowanych w przedziale od lat 90-tych do roku 2017.

Terytorialny – niezwykle ważnym aspektem technologii wiatrowych są uwarunkowania klimatyczne, dlatego też w opracowaniu pojawią się przykłady mające zastosowanie na terenie i w klimacie pozwalającym na efektywną produkcję energii z siły wiatru. W związku z powyższym prezentowanych przykładów nie ogranicza się do bezwzględnych granic terytorialnych.

---

<sup>7</sup> Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016



Rys. 1.5 Mapa świata przedstawiająca lokalizację wybranych przykładów architektury wymienionych w niniejszej pracy w rozdziale V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW (s. 96). (opracowanie własne).

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wybrane przykłady wykorzystania energii wiatru w architekturze. Ponadto opisano podstawowe założenia prawne, stan obecny oraz możliwości rozwoju Odnawialnych Źródeł Energii na terenie Unii Europejskiej oraz Polski. W pracy poruszono temat zasobów energetycznych wiatru, jego wpływu na obiekty budowlane, a także wpływ wytwarzania energii wiatrowej na środowisko naturalne. Omówione przykłady pochodzą z całego świata – ze szczególnym uwzględnieniem możliwości aplikacji w klimacie i na terenie Polski. Opisane i sklasyfikowane przykłady dotyczą zarówno obiektów projektowanych w integracji z turbinami wiatrowymi jak i realizacji, w których turbiny zostały dodane w czasie modernizacji. Po dokładnej analizie dokonano klasyfikacji wybranych przykładów według podziałów znanych z literatury przedmiotu. Ustalono również autorskie klasyfikacje wynikające z analizy, obserwacji przypadków oraz krytyki piśmiennictwa. Jeden z rozdziałów został poświęcony tematyce związanej z doбором technologii wiatrowych w obiektach budowlanych. Ważnym aspektem pracy, a zarazem wynikiem końcowym przeprowadzonych badań stał się rozdział poświęcony wpływowi technologii wiatrowych na kształtowanie obiektu architektonicznego. Praca w szerokim zakresie porusza również kwestie estetyki budynków połączonych z turbinami wiatrowymi. Zaznaczone zostały również inne zastosowania energii wiatru w architekturze, takie jak przewietrzanie i wentylacja oraz dynamiczne fasady.

#### I.4. TEZA PRACY BADAWCZEJ

Praca ma na celu udowodnienie następującej tezy badawczej:

**Wśród obiektów architektonicznych powiązanych z turbinami wiatrowymi istnieje możliwość wyodrębnienia trzech grup różniących się między sobą stopniem oddziaływania turbin na architekturę obiektu.**

**Dobór urządzeń wytwarzających prąd z energii wiatru oraz sposób ich zintegrowania z obiektem architektonicznym wpływa znacząco na estetykę danego obiektu.**

**Forma obiektu oraz usytuowanie turbiny wiatrowej mają istotny wpływ na jej efektywność.**

## I.5. STAN BADAŃ I LITERATURA PRZEDMIOTU

Energetyka wiatrowa w architekturze nie jest dobrze rozpowszechniona w Polsce. Literatura dotycząca tej tematyki jest dość skromna. Podstawowe materiały źródłowe pracy stanowią:

- prace naukowe w języku polskim,
- prace naukowe anglojęzyczne,
- informacje uzyskane od firm zajmujących się dystrybucją urządzeń pozyskujących energię przez siłę wiatru,
- strony internetowe instytutów rozwojowo–badawczych, ośrodków naukowych, stowarzyszeń związanych z energetyką wiatrową,
- konferencje o tematyce poświęconej energetyce wiatrowej, energii odnawialnej oraz zagadnieniach pokrewnych,
- własne badania realizacji obiektów wykorzystujących siłę wiatru,
- Raport z pracy naukowo–badawczej wykonanej w Laboratorium Wiatrowym Politechniki Krakowskiej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej w imieniu autorki pracy, Kraków 2016.

Dostępność turbin wiatrowych możliwych do zintegrowania z obiektami budowlanymi jest w Polsce nadal niewielka. Pomimo pojawiania się nowych – także krajowych producentów, oferowane produkty pozostawiają wiele do życzenia w kwestiach estetycznych. Na taki stan rzeczy ma wpływ niewątpliwie brak zainteresowania inwestorów odnawialnymi źródłami energii. Jest to zazwyczaj spowodowane wysokim kosztem zakupu urządzeń i brakiem gwarancji szybkiego zwrotu zainwestowanego kapitału. Na rozwój energetyki wiatrowej w Polsce swój negatywny wpływ ma niewątpliwie również brak wiedzy na jej temat, częściej fałszywe informacje i negatywne opinie jakie zakorzeniły się w społeczeństwie. Niewielka jest również literatura naukowa dotycząca tej tematyki. Najbliższe tematowi są opracowania profesora Tomasza Boczara – między innymi „Energetyka wiatrowa aktualne możliwości wykorzystania” czy „Wykorzystanie energii wiatru”. Szeroki zakres wyżej wymienionych publikacji dostarcza ogólną wiedzę w dziedzinie energetyki wiatrowej. Na szczególną uwagę zasługują pozycje dotyczące głównie aspektów typowo inżynierskich, które zawierają wiele interesujących informacji, wnikliwych badań, trafnych przykładów oraz spostrzeżeń związanych z systemami turbin wiatrowych połączonych z budynkami. Opracowania te były niezwykle przydatne w czasie powstawania niniejszej pracy doktorskiej. Podejmują wiele aspektów energetyki wiatrowej. Obecnie wydają się najważniejszymi publikacjami w języku polskim dotyczącymi tej tematyki.

Teoretyczne podstawy dotyczące tematyki energii wiatru w architekturze dostarczyły autorce opracowania Profesora Andrzeja Flagi. W szczególności „Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania.”, a także „Siłownie wiatrowe”. Pozycje te w sposób wyczerpujący opisują między innymi zagadnienia związane z oddziaływaniem wiatru na obiekty budowlane, wykorzystaniem wiatru jako źródła energii oraz zagadnienia związane z siłowniami wiatrowymi. Zostały w nich również opisane liczne przykłady badań aerodynamicznych.

Systemy tego typu są najlepiej rozpowszechnione na terenie Stanów Zjednoczonych i Europy Zachodniej. Wiele rozwiązań można obserwować również w innych krajach wysoko rozwiniętych. Z tego względu znaczna część opracowań na temat turbin wiatrowych połączonych z architekturą jest w języku angielskim. W większości dotyczą one jednak małych turbin wiatrowych instalowanych na budynkach (tzw. small scale wind turbines). Wśród ważnych publikacji anglojęzycznych dotyczących tej tematyki możemy wyróżnić prace profesor Ute Poerschke

z Pennsylvania State University. Prowadzi ona szerokie badania w zakresie integracji architektury z turbinami wiatrowymi czego wynikiem są liczne konferencje, artykuły a także zajęcia o w/w tematyce jakie prowadzi ze studentami. Building–Integrated Energy Wind (BIWE) jest projektem badawczym przeprowadzonym w 2010 roku przez profesor Ute Poerschke we współpracy z interdyscyplinarnym zespołem inżynierów. BIWE łączy ze sobą badania projektowe, inżynieryjne, ekologiczne, a także estetyczne.

## I.6. METODA PRACY

Podczas pisania pracy stosowane zostały metody badawcze oparte na analizie i krytyce piśmiennictwa, metodzie porównawczej oraz obserwacji, dedukcji i statystyce.

Analizie zostały poddane publikacje związane bezpośrednio z tematem pracy. Były to nie tylko książki, ale również publikacje pokonferencyjne, artykuły naukowe oraz informacje zawarte na stronach internetowych producentów turbin wiatrowych, pracowni projektowych oraz organizacji i stowarzyszeń zajmujących się energią wiatrową w Polsce i na świecie. Niektóre opracowania nie zostały umieszczone w bibliografii ze względu na ich pośredni związek z głównym tematem pracy.

W celach badawczych rozprawy została również przeprowadzona analiza realizacji architektonicznych. Wybrane obiekty ściśle nawiązują do tematu pracy. Są to realizacje z całego świata, których niewątpliwym wyróżnikiem jest połączenie obiektu z turbinami wiatrowymi. W pracy zostały opisane nie tylko nowe budynki projektowane wraz z turbinami, ale również obiekty starsze, zmodernizowane, w których urządzenia wiatrowe zostały zainstalowane podczas modernizacji. Przeprowadzona analiza realizacji architektonicznych została przedstawiona i podsumowana w pracy, w formie opracowanych szczegółowo kart.

Opisane w pracy doświadczenie przeprowadzone w Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, również stało się istotnym elementem rozprawy. Zebranie i analiza wyników prędkości przepływów uzyskanych dla wybranych modeli budynków było niezwykle ważne w procesie potwierdzania tezy pracy oraz zrealizowania założonych celów pracy.

## I.7. TERMINOLOGIA

Podrozdział przedstawia terminologię związaną z zagadnieniem energii wiatru i architekturą wiatrową. Wiele spośród użytych nazw i sformułowań zostało przytoczonych z literatury anglojęzycznej i z uwagi na brak odpowiednika w języku polskim zostały one w tym rozdziale sprecyzowane.

– Atlas wiatru – metodyka tworzenia podstaw oceny zasobów energetycznych wiatru. Powstaje z uwzględnieniem precyzyjnych pomiarów prędkości i kierunku wiatru, dokonywanych przy pomocy profesjonalnych systemów pomiaru i ciągłej rejestracji parametrów energetycznych wiatru.

– Architectural Wind – nowa kategoria małych, modułowych turbin wiatrowych, stawiająca na równi kwestie efektywnej produkcji energii oraz estetykę urządzeń. Prekursorem jest firma AeroVironment.

– Architektura ekologiczna – jest to nurt we współczesnym projektowaniu architektonicznym mający na celu takie kształtowanie obiektów i przestrzeni, by jak najbardziej zbliżyć człowieka do przyrody. Wykorzystuje ona w sposób efektywny odnawialne źródła energii oraz zastane środowisko naturalne.

- Architektura energooszczędna – architektura, której metoda kształtowania oraz użyte materiały pozwalają na zmniejszenie energochłonności obiektu, przy równoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego.
  
- Architektura solarna (słoneczna) – sposób kształtowania obiektu pozwalający na maksymalne wykorzystanie zysków słonecznych w danej lokalizacji, przy równoczesnym zapobieganiu przegrzewania wewnątrz. Wykorzystuje również instalacje pozwalające pozyskać energię słoneczną (ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne).
  
- Bilans energetyczny – pojęcie to oznacza różnicę pomiędzy stratami ciepła, a zyskami energii doprowadzanej do budynku. Bilans energetyczny jest najkorzystniejszy gdy zyski energii przewyższają straty. Jest on niewątpliwie miarą efektywności energetycznej obiektu.
  
- Building-Integrated Wind Energy (BIWE) – opisuje podejście do projektowania obiektów zintegrowanych z turbinami wiatrowymi łączące w sobie prace naukowe, projektowanie techniczne, ekologiczne oraz estetykę obiektów.
  
- Dynamic architecture – Czyli tak zwana architektura dynamiczna – zmieniająca się w czasie. Określenie to dotyczy głównie budynków wysokościowych (choć nie tylko). Charakterystyczną cechą obiektów należących do dynamic architecture jest możliwość pozyskiwania energii elektrycznej z siły wiatru, w przypadku gdy turbinę stanowią one same (lub ich znaczna część). Posiada zmienny kształt, produkcję czystej energii oraz samowystarczalność energetyczną. Twórcą koncepcji dynamicznej wieży jest architekt David Fisher.
  
- Energia wiatrowa – określenie użyte już w samym tytule pracy mówi o energii kinetycznej poruszających się mas powietrza, którą możemy zamienić (używając w tym celu najczęściej turbin wiatrowych) na energię elektryczną.
  
- Eutrofizacja – termin oznaczający przeżyźnianie zbiorników wodnych wskutek nadmiernego ich wzbogacania w pierwiastki biofilne (związki azotu i fosforu). Proces ten występuje w naturze, ale został nadmiernie przyspieszony poprzez działania człowieka (np. zrzuty ścieków, intensyfikacja rolnictwa). W wyjątkowo ciężkich przypadkach może dojść nawet do niemal całkowitego zaniku organizmów żywych w danym zbiorniku. W morzach jednym z głównych objawów eutrofizacji jest zakwit sinic. Obecnie powierzchnia martwych stref w Morzu Bałtyckim zajmuje około 14% jego powierzchni.
  
- Nieodnawialne źródła energii – źródła energii których czas wykorzystania jest znacznie szybszy niż czas odnowienia ich zasobów. Należą do nich przede wszystkim paliwa kopalne takie jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, uran, torf, ropa naftowa czy gaz ziemny.
  
- Odnawialne źródła energii (OZE) – źródła energii których zasoby odnawiają się w krótkim czasie. Należą do nich wiatr, promieniowanie słoneczne, opady, pływy i fale morskie oraz geotermia.
  
- Turbina wiatrowa – urządzenie zamieniające energię kinetyczną poruszających się mas powietrza na energię mechaniczną obracającego się wirnika. Stanowi jedną z części elektrowni wiatrowej.
  
- Elektrownia wiatrowa – urządzenie zamieniające energię wiatru na energię elektryczną. Jedną z jej części jest turbina wiatrowa.

- Zjawiska aeroelastyczne – lub aerosprężyste są wynikiem wzajemnej interakcji pomiędzy siłami aerodynamicznymi, a siłami bezwładności oraz siłami elastycznymi obiektów odkształcalnych znajdujących się pod wpływem przepływu gazu (np. podmuchy wiatru). W pracy pojęcie to zostało użyte przy opisie interakcji pomiędzy przepływem powietrza a budynkiem.
- LEED – jest to uznany na całym świecie system certyfikacji ekologicznej budynków, który został opracowany przez U.S. Green Building Council (USGBC). Świadczy on o proekologicznych rozwiązaniach obiektu w zakresie jego projektowania, budowy, użytkowania, a także konserwacji.
- DGNB – Niemiecki Certyfikat Budownictwa Zrównoważonego został opracowany przez Niemieckie Stowarzyszenie Budownictwa Zrównoważonego (DGNB). Jest to system ocen posiadający trzy kategorie (złotą, srebrną i brązową) obejmujące min.: ekologię, ekonomię i funkcjonalizm.
- BREEAM – wielokryterialny system oceny jakości oraz wpływu budynków na środowisko. Kryteria nadania certyfikatu BREEAM obejmują między innymi: jakość środowiska wewnętrznego, efektywność energetyczną, dostępność transportową, materiały i konstrukcję, zarządzanie eksploatacją i realizacją, gospodarkę wodą i odpadami.
- Biomimicry architecture – kierunek w projektowaniu architektonicznym wzorujący się na istniejących w przyrodzie jednostkach i procesach biologicznych. Stosował ją z powodzeniem architekt Mick Pearce w Eastgate Center w Harare oraz Council House 2 w Melbourne.
- Instalacja OFF – GRID – jest to instalacja nie podłączona do sieci elektrycznej i tym samym stanowiąca samodzielny system energetyczny. Zazwyczaj obiekty posiadające instalacje tego typu nie są energetycznie samowystarczalne i potrzebują dodatkowego źródła prądu. Jest to dobre rozwiązanie dla niewielkich, odizolowanych obiektów (np. domków letniskowych, systemów pomiarów, znaków drogowych itp.) lub jako dodatkowe źródło prądu.
- Instalacja ON – GRID – jest to instalacja podłączona do ogólnej sieci energetycznej. Poza standardowymi urządzeniami takimi jak inwerter prądu posiada również licznik produkcji i zużycia prądu. Liczniki wskazują zarówno ilość prądu wyprodukowanego i odesłanego do sieci ogólnej jaki również ilość prądu z niej pobranego.
- Elektrownie wiatrowe HAWT – Horizontal-axis wind turbine – są to turbiny wiatrowe posiadające poziomą oś obrotu. Ich zaletą jest duża wydajność w warunkach większych prędkości wiatru. Są zdecydowanie tańsze niż turbiny tej samej mocy o pionowej osi obrotu. Wśród nich znajdują się turbiny posiadające jedno, dwa lub trzy skrzydła oraz tzw. wielopłatowe.
- Elektrownie wiatrowe VAWT – Vertical-axis wind turbine – są to turbiny wiatrowe posiadające pionową oś obrotu. Na rynku znajduje się wiele turbin tego typu. Do najpopularniejszych zaliczamy turbiny Savoniusa oraz Darrieusa.
- Przepływ laminarny – Jest to przepływ uwarstwiony, w którym płyn lub powietrze przepływają w równoległych warstwach bez występowania zakłóceń pomiędzy nimi. Gdy takie zakłócenia się pojawią przepływ laminarny przechodzi w turbulentny.



## II. ENERGETYKA WIATROWA

### II.1. WIATR I JEGO ZASOBY ENERGETYCZNE

Obliczono, że farma wiatrowa o mocy 1 MW, może wytworzyć energię jaką wytworzyłoby spalanie węgla emitujące jednocześnie 2233,8 ton/rok CO<sub>2</sub>, 26,3 ton/rok SO<sub>2</sub>, 28,9 ton/rok CO oraz 10,5 ton/rok NO<sub>x</sub>. Daje to efekt ekologiczny, który może zostać realnie wyceniony<sup>8</sup>.

Polska ze względu na swoje położenie geograficzne i wynikający z niego klimat posiada dobre warunki wietrzne i powinna wykorzystywać to odnawialne źródło energii.

Podstawową wartością, pozwalającą na określenie warunków wiatrowych w danym obszarze (a co za tym idzie opłacalności inwestycji) jest średnia roczna lub sezonowa prędkość wiatru. Określa się ją na podstawie wieloletnich pomiarów. Aby była użyteczna pod względem produkcji energii musi przekraczać 4 m/s. Ważnym aspektem jest również sezonowa zmienność prędkości wiatru. W Polsce średnie prędkości wiatrów w sezonie letnim stanowią 50 – 70% średnich prędkości rocznych. Natomiast w sezonie zimowym wartości te stanowią 150 – 170% średnich prędkości rocznych. Większość krajów europejskich posiada szczegółowe mapy cyfrowe obejmujące wyjątkowo wartościowe obszary pod względem potencjału energetycznego wiatru. Są one podstawą do kształtowania strategii energetycznych tych państw w zakresie OZE.

W Polsce brak tych map jest sporym utrudnieniem dla potencjalnych inwestorów. Dotychczas wykonywane oceny zasobów energii wiatru są sporządzone głównie na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW). Wykonane w 60 stacjach meteorologicznych pomiary pochodzą ze standardowych anemostatów umieszczonych na jednakowej efektywnie wysokości nad poziomem gruntu (z uwzględnieniem klasy szorstkości terenu). Stanowiły one podstawę do stworzenia mapy wietrzności Polski<sup>9</sup>.

W tabeli (Tab. 2.1) przedstawiono średnioroczne prędkości wiatru dla wybranych miejscowości w Polsce. Zestawianie to może po części sugerować w których z tych miejscowości warto przemyśleć zastosowanie turbin wiatrowych połączonych z budynkami w środowisku miejskim. Oczywiście w każdym z takich przypadków należy jednocześnie indywidualnie przeanalizować przepływy wiatru i ich turbulencje wynikające z kształtu budynku, obiektów sąsiednich oraz umiejscowienia turbin wiatrowych.

Powołując się na opinię profesora Tomasza Boczara można stwierdzić iż Polska nie ma wyjątkowo dużych zasobów energetycznych wiatru w porównaniu do innych państw europejskich. Natomiast posiada potencjał techniczny, naukowo-badawczy i wdrożeniowy, dzięki którym wiatr może stać się dla Polski bardzo wydajnym, odnawialnym źródłem energii elektrycznej. Oczywiście niezwykle ważne jest w tym przypadku właściwe planowanie oraz odpowiednia polityka państwa.

---

<sup>8</sup> Analizę i ocenę efektu ekologicznego z uwzględnieniem polskich warunków przeprowadzono w pracy doktorskiej Solińskiej M. pt. „Ocena ekonomiczna efektywności wykorzystania energii odnawialnej z uwzględnieniem efektu ekologicznego”, Akademia Ekonomiczna, Katowice 2002

<sup>9</sup> IV.1. PODSTAWOWE ASPEKTY DOBORU URZĄDZEŃ WIATROWYCH, Rys. 4.2 Mapa przedstawiająca potencjał energii wiatrowej na terenie Polski, s. 55

	ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ WIATRU W CIĄGU ROKU, M/S		ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ WIATRU W CIĄGU ROKU, M/S		ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ WIATRU W CIĄGU ROKU, M/S
Białystok	2,9	Lesko	3,2	Sulejówek	3,5
Bielsko-Biała	3,4	Leszno	3,3	Słubice	3,1
Chojnice	3,4	Lublin	3,1	Suwałki	4,2
Częstochowa	3,5	Łeba	4,8	Szczecin	3,9
Elbląg	3,7	Łódź	4,0	Szczecinek	3,6
Gorzów	3,7	Mikołajki	3,0	Świnoujście	4,3
Hel	5,3	Mława	4,1	Tarnów	2,5
Jelenia Góra	2,5	Nowy Sącz	4,1	Terespol	3,2
Kalisz	3,3	Olsztyn	3,0	Toruń	3,8
Katowice	3,0	Opole	3,0	Ustka	4,5
Kętrzyn	3,6	Ostrołęka	2,8	Warszawa	4,4
Kielce	2,6	Płock	3,9	Wieluń	3,6
Kłodzko	2,6	Poznań	4,0	Włodawa	3,7
Koło	3,8	Przemyśl	3,7	Wrocław	3,0
Kołobrzeg	3,9	Racibórz	2,6	Zamość	3,1
Koszalin	4,4	Rzeszów	3,9	Zielona Góra	4,1
Kraków	2,8	Sandomierz	3,7		
Legnica	3,1	Siedlce	3,5		

Tab. 2.1 Zestawienie wybranych miejscowości w Polsce z występującymi średniorocznymi prędkościami wiatru. Na podstawie: Boczar T., Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania. Wydanie drugie zmienione. Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, Gliwice, 2008, ISBN: 978-83-926319-8-9, s. 64, Tab. 4.3.

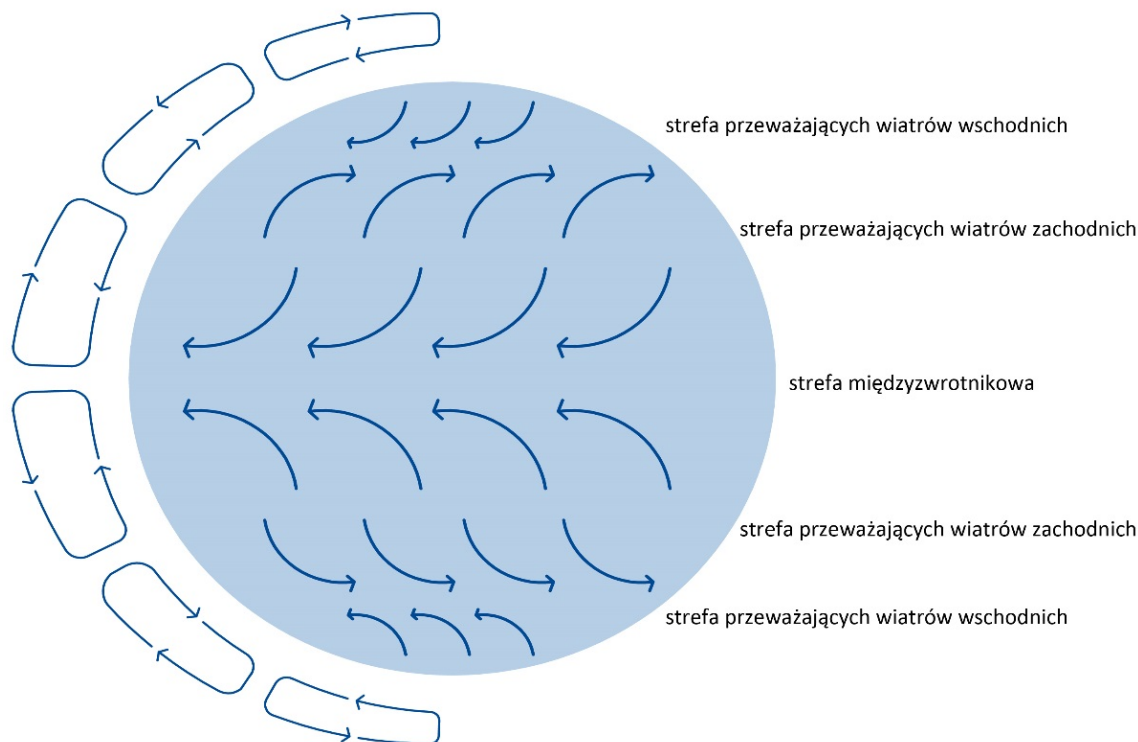
### II.1.1. Cyrkulacja mas powietrza na Ziemi

Przemieszczanie mas powietrza w atmosferze spowodowane jest intensywną konwekcją nad równikiem. Jej przyczyną jest mniejsza gęstość unoszących się nad równikiem ciepłych mas powietrza, w porównaniu do powietrza oziębionego nad biegunami, poruszającego się blisko powierzchni Ziemi. W ten sposób powstają dwa, przeciwne kierunki ruchu mas powietrza: w górnej i dolnej części atmosfery. Przyczyną różnicy ciśnień na kuli ziemskiej jest energia promieniowania słonecznego – jej nierównomierny dopływ do powierzchni Ziemi. Znaczny wpływ na kształtowanie się cyrkulacji powietrza mają także:

- nierównomierne ukształtowanie powierzchni Ziemi,
- ruch obrotowy Ziemi – siły Coriolisa,
- rozkład zbiorników wodnych i kontynentów,
- powstałe zawirowania mas powietrza,
- zderzanie się i nakładanie prądów powietrznych.

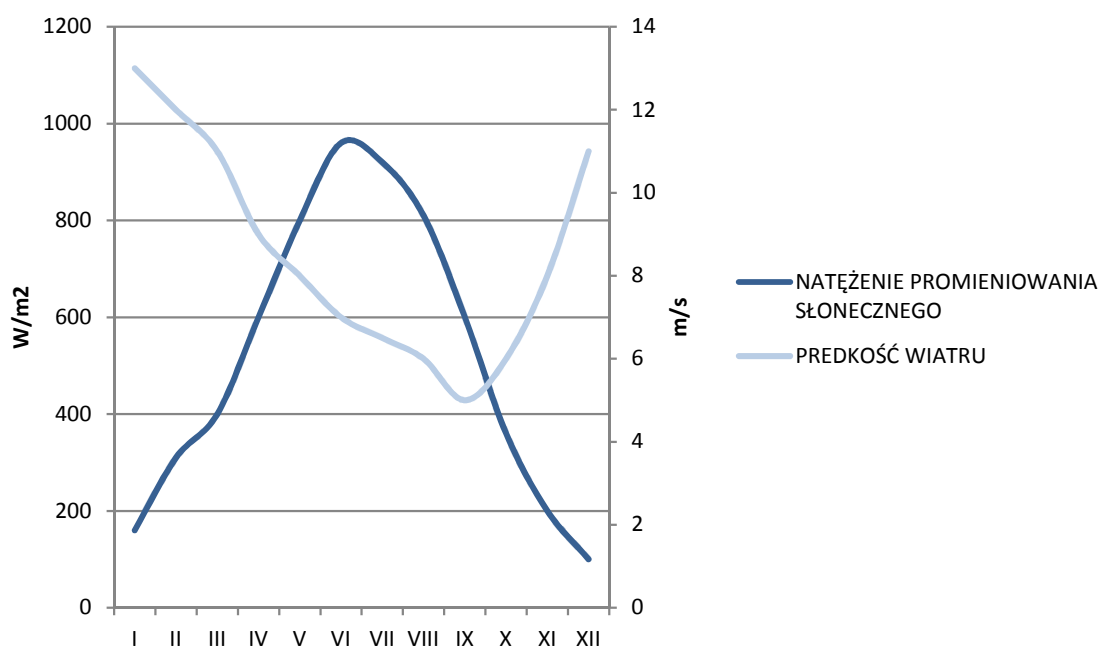
Siła i kierunek wiatru stanowią zatem wypadkową wielu uwarunkowań. Najczęściej, wiatr wywołany jest konwekcyjnym przewodnictwem ciepła w atmosferze i osiąga prędkość do 40 km/h<sup>10</sup>. Ruchy te można w przybliżeniu opisać w postaci systemu komórek cyrkulacyjnych pomiędzy którymi wymiana mas powietrza jest niewielka. W meteorologii stosowany jest następujący podział ruchów cyrkulacyjnych występujących w atmosferze: cyrkulacja ogólna (planetarna), cyrkulacja atmosfery, cyrkulacja makrometeorologiczna, cyrkulacja mezometeorologiczna oraz cyrkulacja mikrometeorologiczna. Schemat ogólnej cyrkulacji atmosfery wokół Ziemi przedstawia rys. 2.1.

<sup>10</sup> Szumanowska M., Szumanowski A., *Fotoogniwa i turbiny wiatrowe w systemach energetycznych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN: 83-87012-18-1, Warszawa, 1997, s.37



Rys. 2.1 Schemat ogólnej cyrkulacji atmosfery wokół Ziemi. Opracowanie własne na podstawie: [http://geographic.cba.pl/ogolna\\_cyrkulacja.html](http://geographic.cba.pl/ogolna_cyrkulacja.html), dostęp: 10-02-2017.

Prędkość wiatru jest zmienna zarówno w czasie doby, roku jak i w odniesieniu do okresów wieloletnich. W związku z cyklicznością nagrzewania się i ochładzania powierzchni ziemi w ciągu doby następuje powtarzalność zmian prędkości wiatru. Wynikający z w/w cyklu ruch mas powietrza wywołuje ogólny wzrost prędkości wiatru w ciągu dnia i spadek nocą. Ponadto amplituda wahań średniej prędkości wiatru w ciągu dnia jest większa w punktach zlokalizowanych w głębi lądu (np. Warszawa) niż w obszarach nadmorskich (np. Kołobrzeg).



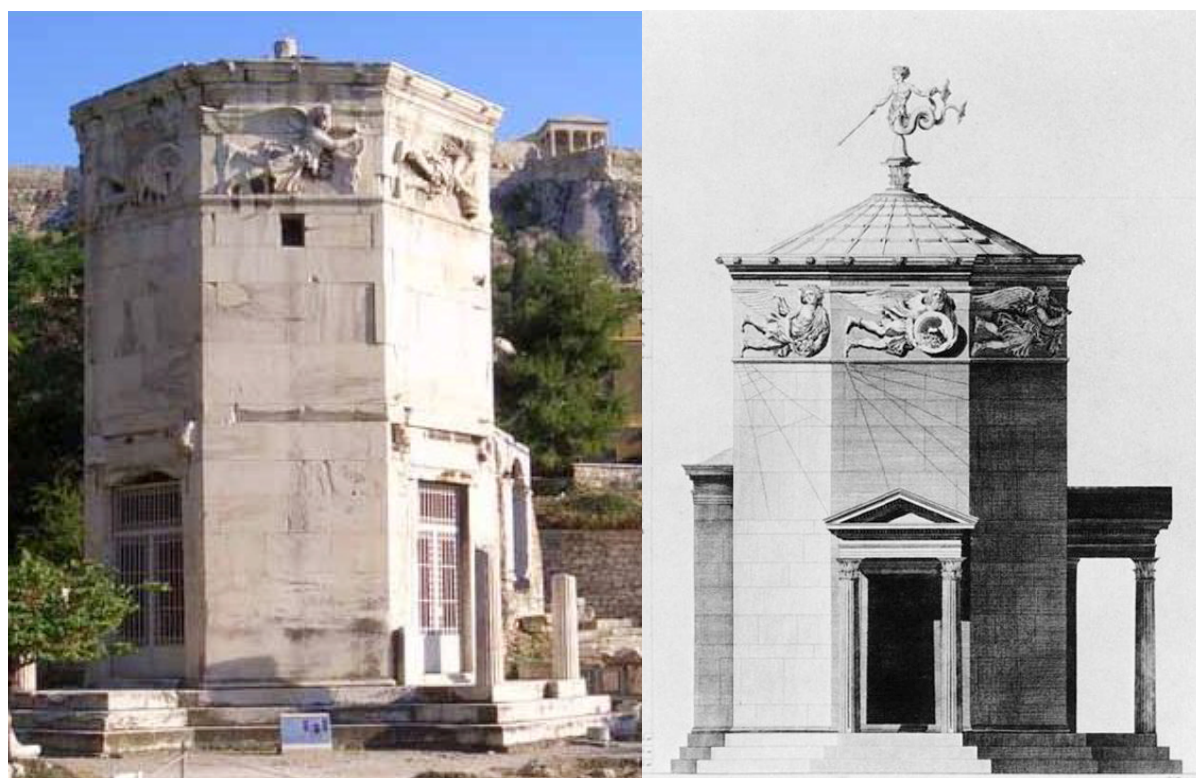
Rys. 2.2 Prędkość wiatru i natężenie promieniowania słonecznego (przykład dla obszaru Kanady). Opracowanie własne na podstawie rys.3.25. s.129, Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010

Cykliczność zmian prędkości wiatru jest również obserwowana w odniesieniu do okresu całorocznego. W Polsce średnia prędkość wiatru jest najwyższa w okresie jesienno-zimowym (od grudnia do lutego). Biorąc pod uwagę fakt, iż w okresach wiosenno-letnich energia słoneczna występuje w największym natężeniu, połączenie urządzeń wiatrowych z solarnymi do produkcji energii w okresie całorocznym może być rozwiązaniem optymalnym (Rys. 2.2).

### II.1.2. Zarys historii rozwoju energetyki wiatrowej

Energia wiatru jest wykorzystywana przez człowieka od tysiącleci. Już w starożytnym Egipcie używano siły wiatru jako napędu jednożaglowych łodzi. Starożytni Babilończycy korzystali z niej w celu nawadniania i osuszania pól. Wiele przekazów pisemnych zachowanych do naszych czasów mówi o wykorzystywaniu przez starożytne cywilizacje siły wiatru w urządzeniach i konstrukcjach inżynierskich (pompujących wodę, mielących zboże, nawadniających tereny zielone itp.). Najstarsze przekazy opisujące urządzenia wykorzystujące energię wiatru można znaleźć w kodeksie Hamurabiego (ok. 1750 rok p.n.e.) oraz hinduskiej księdze Arthasatha of Kastylia (ok. 400 rok p.n.e.).

Natomiast jedną z pierwszych budowli, zachowanych do dzisiejszych czasów, wykorzystujących siłę wiatru, jest murowana Wieża wiatrów zbudowana na forum rzymskim w Atenach. Przypuszcza się, że została ona wybudowana około pierwszego wieku p.n.e. na podstawie projektu Andronikosa z Kyrros. 12 metrowa wieża jest jedną z najlepiej zachowanych budowli starożytnych Aten. Budynek o podstawie ośmiokąta pełnił funkcję zegara miejskiego (na ścianach znajdowały się zegary słoneczne) oraz wiatrowskazu. Zwieńczony był 8 metrowym wskaźnikiem kierunku wiatru. Ruchomy element wskaźnika spełniał nie tylko funkcje użyteczne, ale i estetyczne – został wykonany jako posążek Trytona (według mitologii Greckiej syn Posejdona).



II. 2.1 Stan istniejący oraz osiemnastowieczna rekonstrukcja Wieży Wiatrów ze starożytnych Aten, źródło: <http://www.crystalinks.com/clocks.html>, [http://en.wikipedia.org/wiki/Tower\\_of\\_the\\_Winds#mediaviewer/File:StuartRevetv Tower\\_v2.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Tower_of_the_Winds#mediaviewer/File:StuartRevetv Tower_v2.jpg), dostęp: 11-02-2017.

Ateńska wieża wiatrów wykorzystywała wiatr jedynie w celu wskazania jego kierunku. Natomiast jednymi z pierwszych budynków wyposażonych w urządzenia zamieniające siłę wiatru w siłę kinetyczną były perskie młyny wiatrowe z VI wieku naszej ery. Na terenach dzisiejszego Iranu i Afganistanu zachowały się ruiny wiatraków tego typu. Najczęściej były to małe, lokalne siłownie wiatrowe, będące często jednozadaniowymi źródłami napędu. Zazwyczaj były to tradycyjne wiatraki. Obiekty drewniane, rzadziej murowane, posiadające skrzydła napędzające wewnętrzny mechanizm poprzez siłę wiatru. Wiatraki o poziomej osi obrotu zaczęto stosować na terenie wschodniej Persji w IX wieku. W Europie pojawiły się pod koniec XII wieku. Początkowo służyły głównie do mielenia zboża, jednak z czasem znalazło wiele innych zastosowań. Popularne stały się wiatraki tartaczne, wiatraki służące jako mieszalniki, rozdrabniacze, wiatraki służące do plecenia sznurów konopnych, czy wyciskania oleju.

Pierwsze czteroskrzydłowe wiatraki o poziomej osi obrotu pojawiły się w Europie w VIII wieku. Wykorzystywane były głównie do wypompowywania wody z polderów położonych poniżej powierzchni morza, mielenia zboża, produkcji prochu strzelniczego itp. W XVII wieku pojawiły się w Europie wiatraki o budowie pozwalającej na ustawienie powierzchni skrzydeł prostopadle do kierunku wiatru. Miały one nieruchomą podstawę, natomiast górna część bryły obracała się wokół własnej osi. Rozwiązanie to pozwalało na efektywniejsze wykorzystanie siły wiatru. Konstrukcje wiatraków o różnej formie rozwijały się prężnie w Europie do XVIII wieku<sup>11</sup>.

Pierwsza siłownia wiatrowa wytwarzająca energię elektryczną została zbudowana przez Charlesa F. Brusha w latach 1887 – 1888. Wirnik o średnicy 17 m składał się ze 144 łopat wykonanych z drewna cedrowego. Pomimo dużych gabarytów moc instalacji wynosiła zaledwie 12 kW.

Kolejnym krokiem na drodze do współczesnych turbin wiatrowych były (prowadzone w pierwszym na świecie prototypie tunelu aerodynamicznego) badania przeprowadzone przez duńskiego wynalazcę Poula la Cour. Odkrył on, iż wirniki siłowni wiatrowych wyposażone w kilka łopat są znacznie efektywniejsze dla produkcji energii elektrycznej. Zaprojektował i wybudował w 1891 roku w Askov (Dania) instalację testową. W 1897 roku na podstawie wyżej wymienionych badań wybudowano siłownię wiatrową, która produkowała prąd służący do oświetlania szkoły. Natomiast pierwsza turbina wiatrowa posiadająca wszystkie komponenty współczesnych siłowni została zbudowana przez Johanna Juula w 1957 roku w Danii. Turbina o mocy 200 kW posiadała trójłopatowy wirnik zwrócony przodem do kierunku wiatru (upwind), generator asynchroniczny, mechanizm ustawiania kierunku, hamulce aerodynamiczne oraz regulację mocy poprzez zmianę kąta natarcia łopat. W kolejnych latach następowały okresy malejącego lub wzrastającego zainteresowania energetyką wiatrową (w zależności od kształtowania się cen paliw na świecie). Prowadzone w tym czasie badania nad unowocześnieniem urządzeń wiatrowych doprowadziły do pojawienia się w latach dziewięćdziesiątych turbin produkujących energię na skalę przemysłową, których koszty produkcji i eksploatacji były akceptowalne. Od tego czasu zaczęto wprowadzać na rynek coraz bardziej opłacalne ekonomicznie urządzenia wiatrowe nie tylko jako autonomiczne siłownie, ale również turbiny wiatrowe połączone z architekturą.

---

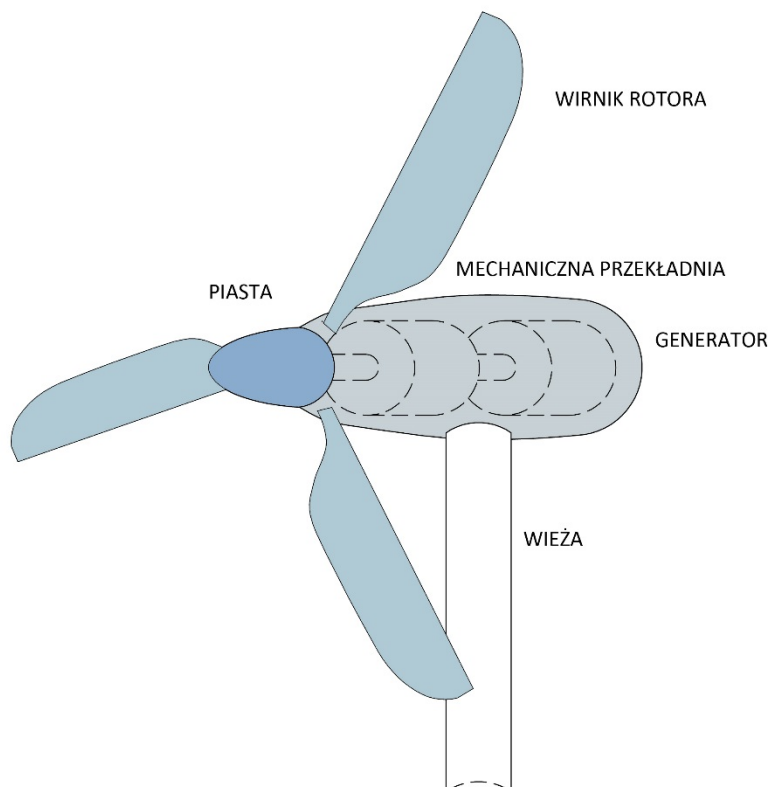
<sup>11</sup> Damska E., *Budownictwo i architektura młynów wietrznych w Polsce*, Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Nr 6, 1967. Seria „Architektura”, ISSN 0137-1371

PRZEDZIAŁ CZASOWY	1955-1985	1985-1989	1989-1994	1994-2005
ŚREDNICA WIRNIKA (x)	$x < 15 \text{ m}$	$x < 30 \text{ m}$	$30 \text{ m} < x < 50 \text{ m}$	$X > 50 \text{ m}$
MOC GENERATORA (P)	$P < 50 \text{ kW}$	$P < 300 \text{ kW}$	$P < 600 \text{ kW}$	$600 \text{ kW} < P < 5 \text{ MW}$
UWAGI	POSZUKIWANIE ROZWIĄZAŃ PROBLEMÓW TEORETYCZNYCH	ROZPOCZĘCIE PRODUKCJI SERYJNEJ; WPROWADZENIE PIERWSZYCH STANDARDÓW PRZEMYSŁOWYCH	PRODUKCJA MASOWA SIŁOWNI WIATROWYCH	INTENSYFIKACJA ROZWOJU TECHNOLOGICZNEGO

Tab. 2.2 Umowne etapy rozwoju współczesnych elektrowni wiatrowych ze względu na rozmiary wirnika i moc generatora. Źródło: opracowanie własne na podstawie: Boczar T., *Energia wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*, Wydawnictwo PAK, s.18, ISBN:978-83-926319-8-9, Warszawa 2008

### II.1.3. Schemat działania siłowni wiatrowej

Spotykamy różne rozwiązania techniczne, które determinują rodzaj zastosowanych silników wiatrowych. W zależności od położenia osi obrotu rozróżniamy silniki o poziomej lub pionowej osi obrotu. Natomiast w zależności od prędkości obrotowej możemy podzielić silniki na wolnobieżne i szybkobieżne<sup>12</sup>. Najczęściej spotykamy siłownie wiatrowe o poziomej osi obrotu. W ich skład wchodzi: wirnik (przetwarzający energię kinetyczną wiatru na energię mechaniczną, najczęściej zbudowane z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem), mechaniczna przekładnia i generator elektryczny (Rys. 2.3).



Rys. 2.3 Schemat budowy typowej siłowni wiatrowej (opracowanie własne).

<sup>12</sup> Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010, s.110

W architekturze często wykorzystywane są turbiny wiatrowe dostosowane do efektywnego wykorzystania słabszych wiatrów rozpoczynające pracę nawet przy wietrze o prędkości 2 m/s.

Moc poszczególnych siłowni wiatrowych jest ograniczona ze względu na wielkość łopatek wirnika (zarówno tych o poziomej, jak i o pionowej osi obrotu). Wirnik może ulec uszkodzeniu z powodu znacznej zmienności sił wytwarzanych na łopatach. Może to nastąpić przy zbyt dużej powierzchni łopat oraz nieprzewidzianej, zbyt dużej prędkości wiatru. Oczywiście każda dopuszczona do użytku siłownia wiatrowa ma system zabezpieczeń mechanicznych. Umieszczenie w jednej lokalizacji elektrowni wiatrowej o dużej mocy wymaga montażu wielu turbin ze wspólnym systemem elektroenergetycznym. Instaluje się więc wiele wirników, generatorów elektrycznych i urządzeń rozdzielczo–sterujących. Znacznie zwiększa to koszty w porównaniu z teoretyczną jedną, dużą turbiną. Czynnikiem decyzyjnym w takich przypadkach są najczęściej ograniczenia techniczne. Natomiast montaż siłowni wiatrowych w postaci zespołu energetycznego jest ekonomiczny ze względu na rozdział i akumulację energii.

Jednym z najważniejszych aspektów, jakie trzeba wziąć pod uwagę przy konstrukcji turbin wiatrowych jest wszechstronna analiza prędkości wiatru. Moc wiatru zależy wprost proporcjonalnie od potęgi jego prędkości.

Moc turbiny możemy opisać następującą zależnością:

$$E = \frac{1}{2}mv^2, \quad m = \rho Avt, \quad N = \frac{1}{2}\rho Av^3 [W]$$

gdzie:

$\rho$  – gęstość powietrza zawartego w objętości wyznaczonej przez wirujące łopatki turbiny,

$m$  – masa powietrza zawartego w objętości wyznaczonej przez wirujące łopatki turbiny,

$v$  – prędkość powietrza zawartego w objętości wyznaczonej przez wirujące łopatki turbiny,

$E$  – energia kinetyczna powietrza zawartego w objętości wyznaczonej przez wirujące łopatki turbiny i poruszającego się z prędkością  $v$ ,

$t$  – czas,

$A$  – powierzchnia określona przez wirujące łopatki turbiny,

$N$  – moc turbiny.

Przedstawiony powyżej wzór obrazuje nam jak zmiana poszczególnych parametrów działa na moc turbiny, a co za tym idzie ilość energii przez nią wytworzonej w danych warunkach wietrznych. Jednym z głównych parametrów turbiny wiatrowej jest promień wirnika. Podwojenie długości promienia wirnika zwiększa czterokrotnie moc turbiny. Znacząca jest również sama prędkość wiatru, której podwojenie zwiększy siłę wiatru ośmiokrotnie.

W warunkach naturalnych prędkość wiatru, a zatem i jego moc, są zmienne. Należy więc przyjąć, że moc turbiny i prędkość wiatru są funkcjami czasu.

$$N(t) = \frac{1}{2}\rho A(v(t))^3 [W]$$

Wskaźnikiem umożliwiającym porównanie turbin wiatrowych jest powierzchniowa gęstość mocy określająca liczbę watów na metr kwadratowy<sup>13</sup>.

$$\frac{\overline{N(t)}}{A} = \frac{1}{2}\rho(v(t))^3,$$

---

<sup>13</sup> Szumanowska M., Szumanowski A., *op. cit.*, s.39

Istotne znaczenie przy określaniu parametrów turbiny ma również tak zwany kąt natarcia – kąt  $\alpha$ . Zależą od niego siły nośne oraz siły oporu, które oddziałując na turbinę mają znaczący wpływ na jej prędkość i moment obrotowy. Wywiera na nie wpływ również kąt nastawienia łopatki – kąt  $\beta$ . Zmiana kąta  $\beta$  stanowi podstawę ochrony turbiny przed zniszczeniem przy zbyt silnych podmuchach wiatru, a także umożliwia regulację prędkości obrotowej turbiny. Regulacja ta pozwala na sterowanie częstotliwością prądu przemiennego, która musi być stała.

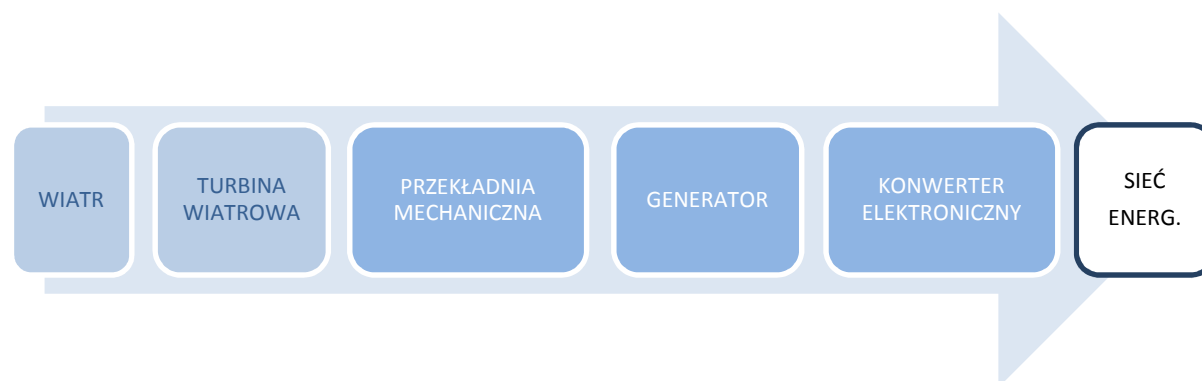
Długość łopatki wirnika i kąt nastawienia  $\beta$  muszą być odpowiednio dobrane przy konstruowaniu turbiny. Już w czasach wiatraków holenderskich dostrzeżono zależność pomiędzy długością łopatki, a kątem nastawienia  $\beta$ . Dużemu promieniowi obrotu  $r$  powinien odpowiadać mały kąt nastawienia, natomiast małemu promieniowi  $r$  – duży kąt  $\beta$ .

Zmieniając kąt nastawienia wpływa się na prędkość obracania turbiny. W zakresie małych wielkości można w pewnym wymiarze uniezależnić moment turbiny od zmian prędkości wiatru. Z uwagi na znaczenie tej zależności wszystkie współczesne turbiny wytwarzające prąd elektryczny wyposażone są w automatyczne regulatory kąta nastawienia łopatki.

Niektóre turbiny wiatrowe nie posiadają regulacji kąta nastawienia  $\beta$  gdyż mają niewielkie momenty rozruchowe (np. typu Darrieus'a). W pewnych przypadkach stosuje się dodatkowo wspomagające silniki rozruchowe.

W literaturze anglojęzycznej system przemiany energii wiatru nazywany jest WECS (Wind Energy Conversion System). Schemat przedstawiony na rys. 2.4 charakteryzuje jego działanie.

Turbina wiatrowa wytwarza energię elektryczną z energii kinetycznej wiatru. Łopaty wirnika (łopaty i piasta) zostają wprowadzone w ruch przez wiatr. Połączone z wałem, przenoszą energię kinetyczną do generatora poprzez przekładnię mechaniczną. Następnie generator zamienia ją w energię elektryczną. Kolejnym etapem jest przetworzenie wytworzonej energii elektrycznej w konwerterze elektronicznym i przesłanie jej do sieci energetycznej.



Rys. 2.4 Schemat systemu WECS (opracowanie własne).

Aby móc porównać efektywność turbin wiatrowych określa się rzeczywisty współczynnik wykorzystania wiatru, który zależy od sprawności wiatraka oraz energii strumienia powietrza po obu stronach turbiny. Ważnym kryterium jest również współczynnik momentu obrotowego (równy momentowi wiatraka podzielonemu przez energię strugi wiatru) oraz wskaźnik szybkobieżności (stosunek prędkości obrotowej końca łopatki do prędkości wiatru).

Niezbędnym elementem instalacji elektrowni wiatrowej jest akumulator w którym można gromadzić nadwyżki energii. Niestety zarówno same urządzenia jak również ich ewentualne naprawy są bardzo drogie. Oczywiście mają swoje niewątpliwe plusy np. działają niezależnie pomimo ewentualnych awarii sieci. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest jednak współpraca instalacji



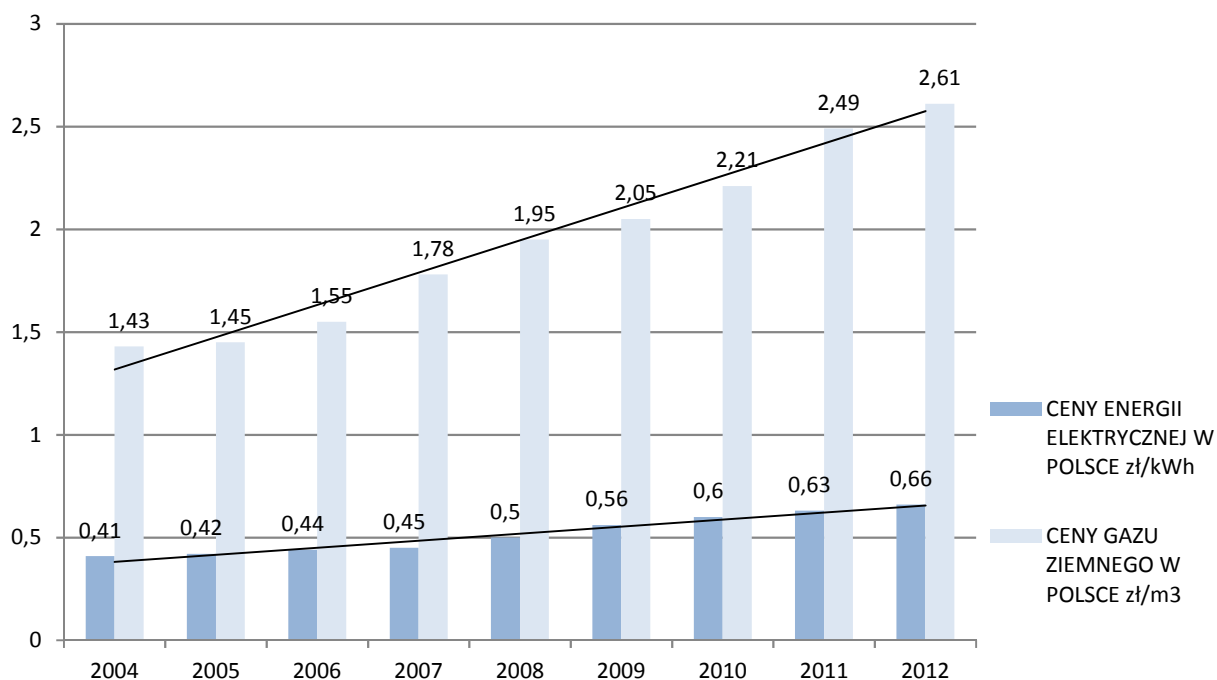
wiatrowej z siecią. Staje się ona wówczas magazynem energii. Wyprodukowany nadmiar prądu oddajemy do sieci ogólnej, natomiast w czasie spadku produkcji czerpiemy z niej potrzebną jej ilość.

#### II.1.4. Ekonomiczne aspekty energetyki wiatrowej

Zapotrzebowanie energetyczne przeciętnego gospodarstwa domowego w Europie wynosi 3500 kWh/rok.<sup>14</sup> W warunkach wietrznych zapewniających średnią roczną prędkość wiatru 7 m/s, mała turbina wiatrowa o mocy 3 kW jest w stanie wyprodukować około 4000 kWh energii elektrycznej. Oznacza to, iż niewielka siłownia wiatrowa jest w stanie zapewnić energię przeciętnemu gospodarstwu. Siłownie takie nie wymagają również dokonywania wcześniejszych pomiarów oraz analiz zasobów wiatru, co wiązałoby się z dodatkowymi kosztami i nakładem czasu.<sup>15</sup> Słabą stroną systemów tego typu są jednak braki energii w czasie bezwietrznej pogody. Wymusza to konieczność magazynowania nadwyżek wytworzonej energii lub posiadania dodatkowego jej źródła.

Znając krzywą mocy konkretnej turbiny (podawana jest przez producenta) oraz dokładny pomiar prędkości wiatru w danej lokalizacji, jesteśmy w stanie obliczyć przybliżoną wartość energii, jaka może zostać wytworzona przez daną turbinę w ciągu roku. Wiedza na temat cen energii pozwala nam ustalić ekonomiczną opłacalność inwestycji. Należy zaznaczyć, iż małe turbiny wiatrowe powinny spełniać normy bezpieczeństwa CE oraz posiadać certyfikat potwierdzający jej wydajność (np. brytyjski MCS czy amerykański SWCC).

Koszty zasilania źródłami energii odnawialnej każdego roku zmieniają się na ich korzyść. Ponadto obserwujemy ciągły wzrost kosztów podstawowych nośników energii (Rys. 2.5). Dodatkowo obecna sytuacja polityczna (konflikt na terenie Ukrainy) niesie z sobą wysokie ryzyko znacznego podwyższenia kosztów gazu, a nawet wstrzymania jego dostaw. Czynniki te przemawiają za rozwojem OZE.

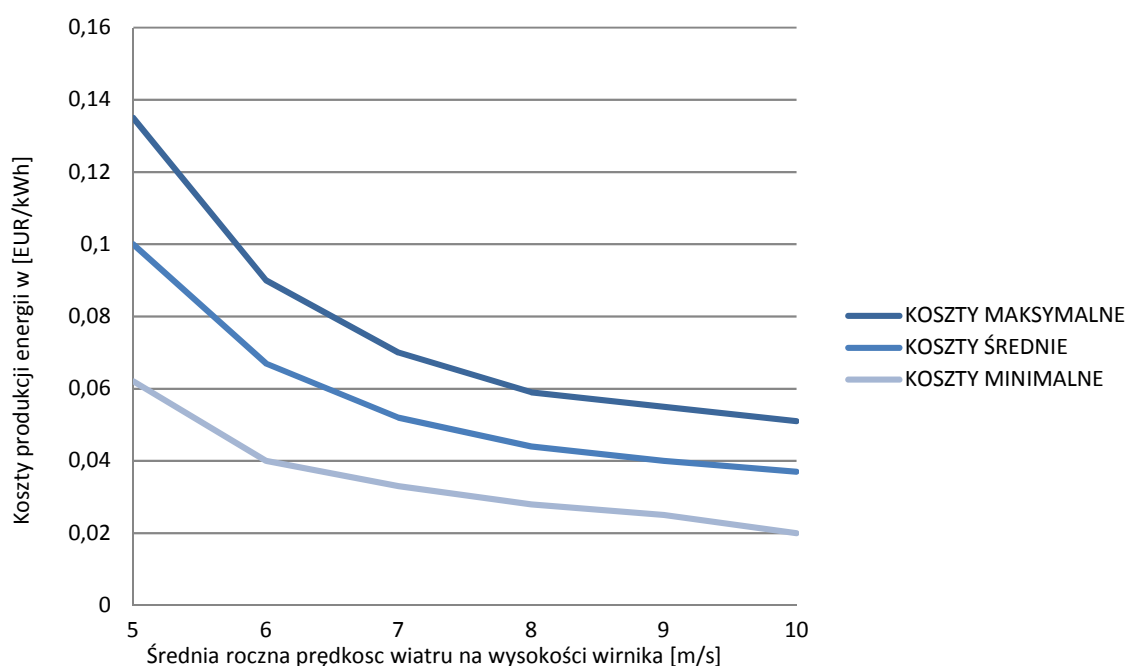


Rys. 2.5 Porównanie średnich cen energii elektrycznej i gazu w latach 2004 – 2012. Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

<sup>14</sup> Zimny J., *op.cit.*, s.115

<sup>15</sup> *Ibidem*, s.116

Dodatkowym atutem instalacji wiatrowych jest niewyczerpalność źródła energii oraz trwałość i wysoka bezawaryjność instalacji. Systemy wiatrowe użytkuje się około 25 – 30 lat (przy odpowiedniej konserwacji nawet dłużej)<sup>16</sup>. Ważnym aspektem inwestycji jest również sam koszt produkcji turbin wiatrowych, który według obecnych przewidywań ma się zmniejszyć za sprawą ciągłego podwajania się zainstalowanych mocy energetycznych (średnio co trzy lata).<sup>17</sup> Oczywiście dotyczy to głównie wielkogabarytowych turbin wiatrowych instalowanych na tzw. farmach wiatrowych. Niemniej jednak spadkowe tendencje kosztów produkcji (a co za tym idzie również zakupu) turbin wiatrowych przekładają się również na turbiny o mniejszych mocach, instalowane w obrębie budynków. Niestety opłacalność inwestycji osób prywatnych w przydomowe elektrownie wiatrowe jest na dzień dzisiejszy dość niepewna. Wiąże się to z brakiem dotacji państwowych dla osób fizycznych na zakup instalacji wiatrowej oraz ryzykiem długich okresów bezwietrznych, których nie jesteśmy w stanie przewidzieć. Poniższy wykres przedstawia zależność kosztów produkcji energii w zależności od średniorocznej prędkości wiatru (Rys. 2.6). Obrazuje on nieprzewidywalność kosztów (a co za tym idzie czasu zwrotu inwestycji) z uwagi na wahania pogodowe.



Rys. 2.6 Zależność kosztów produkcji energii elektrycznej przez elektrownię wiatrową w zależności od średniorocznej prędkości wiatru na wysokości środka wirnika (piasty) turbiny wiatrowej. Źródło: Boczar T., Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania. Wydanie drugie zmienione, Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978-83-926319-8-9, s.232, Gliwice 2008, Rys.6.4.

Profesor Jacek Zimny w opracowaniu „Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym” przeprowadził obliczenia dotyczące cen ciepła uzyskanego ze źródeł odnawialnych (Tab. 2.3). Na podstawie tych obliczeń oraz według szacunków analityków koszty te mają mieć wyraźną spadkową tendencję. Najbardziej mają spaść ceny wytwarzania energii z ogniw fotowoltaicznych (5 – 6 krotna obniżka cen), następnie kolektorów słonecznych i pomp ciepła (około 50% do roku 2020). Wzrost sprawności produkcji energii jest spowodowany głównie rozwojem technologii (obecnie w USA znajdują się w użytku urządzenia o 60% sprawności). Profesor Jacek Zimny przewiduje jednak zastój w uzyskiwaniu energii elektrycznej z siłowni wiatrowych. Jako przyczynę

<sup>16</sup> Zimny J., *op.cit.*, s.267

<sup>17</sup> Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*, Wydanie drugie zmienione, Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978-83-926319-8-9, Gliwice 2008

podaje obecny, zaawansowany rozwój stosowanej technologii, który w najbliższym czasie ma nie ulec zmianie.

TECHNOLOGIA	KOSZT PRODUKCJI ENERGII – 2001 R. zł/kWh	PRZEWIDYWANY KOSZT PRODUKCJI ENERGII – 2020 R. zł/kWh
Siłownia wiatrowa	0,12 - 0,24	0,09 - 0,30
Ogniwa PV	0,75 – 4,80	0,15 – 0,75
Małe elektrownie wodne	0,06 – 0,36	0,06 – 0,30
Kolektory słoneczne	0,36 – 1,02	0,12 – 0,60
Pompa ciepła	0,06 – 0,75	0,06 – 0,30
Geotermia – energia cieplna	0,02 – 0,15	0,02 – 0,15
Geotermia – energia elektryczna	0,06 – 0,30	0,03 – 0,24
Biomasa – energia cieplna	0,03 – 0,18	0,03 – 0,15
Biomasa – energia elektryczna	0,09 – 0,36	0,12 – 0,30

Tab. 2.3 Prognoza zmiany kosztów produkcji energii ze źródeł odnawialnych 2001–2020 r. Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo–Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo–Techniczne, ISBN: 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010, s.268

Dla prywatnego inwestora jednym z najważniejszych kryteriów decydujących o instalacji turbiny wiatrowej w budynku jest koszt zakupu urządzenia. Należy jednak pamiętać, że całkowity koszt instalacji jest zależny zarówno od doboru technologii konkretnej turbiny jak również elementów dodatkowych (min. kontroler ładowania, akumulatory (OFF – GRID), grzałka zrzutowa (OFF – GRID), inwerter jednofazowy, inwerter trójfazowy, osprzęt elektryczny wraz z licznikiem energii elektrycznej w przypadku instalacji ON – GRID, maszt na linkach odciążowych, maszt wolnostojący, fundament itp.) Nie można pominąć również kosztów związanych z transportem, montażem, a w przyszłości również konserwacją instalacji. W poniższej tabeli zostało przedstawione zestawienie cenowe zawierające oferty kilku przedsiębiorstw zajmujących się sprzedażą małych elektrowni wiatrowych na terenie Polski.

	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU		TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	
	moc	cena	moc	cena
Airgenerator	5 kW	29 189,00 zł	5 kW	45 229,00 zł
Ergy	–	–	5,5 kW	82 564,87 zł (maszt w cenie)
Murat	5 kW	29 189,00 zł	5 kW	45 229,00 zł
24Wiatraki	5 kW	48 128,99 zł	5 kW	70 939,00 zł
Brasit	5 kW	71 962,40 zł (maszt w cenie)	5 kW	108 256,48 zł (maszt w cenie)
Energia gratis	–	–	4,5 kW	29 700,00 zł (maszt w cenie)

Tab. 2.4 Zestawienie ofert cenowych wybranych firm zajmujących się sprzedażą turbin wiatrowych na terenie Polski. Źródło: Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce i województwie śląskim, Park Naukowo–Technologiczny Euro–Centrum, Katowice 2014, s.26.

Z analizy danych przedstawionych w tabeli (Tab. 2.4) wynika, że elektrownie wiatrowe posiadające pionową oś obrotu są zdecydowanie droższe od elektrowni z osią poziomą.

Pomimo iż połączenie budynku z turbiną wiatrową wiąże się ze znacznymi nakładami inwestycyjnymi, zaletą są niewątpliwie niskie koszty eksploatacyjne. Rocznie wynoszą one jedynie

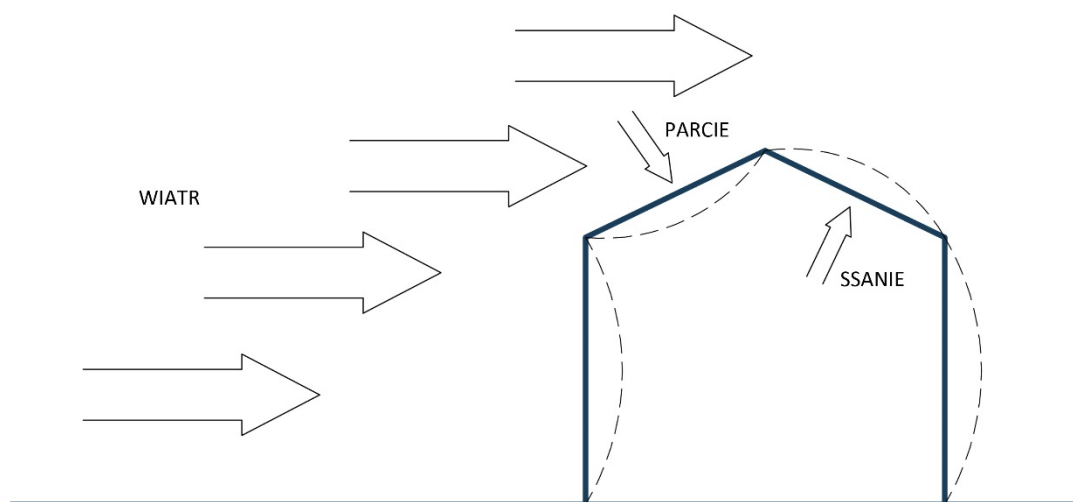
około 3% kosztów inwestycyjnych<sup>18</sup>. Opłacalność i czas zwrotu konkretnej inwestycji należy rozpatrywać biorąc pod uwagę następujące czynniki:

- warunki wietrzne w danej lokalizacji,
- odległość od sieci energetycznej (w przypadku instalacji on-grid),
- aktualne ceny energii elektrycznej,
- warunki finansowania (np. wysokość dotacji, oprocentowanie kredytu),
- zapotrzebowanie danego obiektu na energię.

Rentowność takiej inwestycji zależy więc w znacznym stopniu od rocznej produkcji energii, obecnej ceny energii oraz prognozowanych jej zmian. Analiza opłacalności finansowej powinna zatem zawierać ilość energii elektrycznej możliwej do wyprodukowania porównaną z cenami energii dostarczanej przez sieć energetyczną.

## II.2. WPŁYW SIŁY WIATRU NA OBIEKTY BUDOWLANE

Podstawowym parametrem mającym wpływ na oddziaływanie wiatru na budynek jest jego siła. Dodatkowo ważnymi aspektami tego oddziaływania są również kształt obiektu, jego wysokość, ukształtowanie otoczenia oraz ekspozycja obiektu. Poniższy schemat szkicowo przedstawia sposób oddziaływania wiatru na budynek (Rys. 2.7).



Rys. 2.7 Schemat oddziaływania wiatru na budynek (opracowanie własne).

Omawiana tematyka jest jednak bardziej złożona. Profesor Andrzej Flaga wymienia w opracowaniu „Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania” cztery podstawowe przyczyny zróżnicowania oddziaływań wiatru na obiekty budowlane. Są to:

- indywidualne cechy geometryczne i mechaniczne budynków – ich wymiary zewnętrzne, kształt a także wynikająca z konstrukcji i użytych materiałów podatność na drgania spowodowane turbulencją atmosferyczną,
- niestateczność przepływu w śladzie aerodynamicznym (formowanie i odrywanie się wirów gruboskalowych, różne formy niestateczności warstw przyściennych oraz warstw ścinania),
- zjawiska aeroelastyczne – zachodzące pomiędzy drgającym obiektem i wiatrem,

<sup>18</sup> Źródło: Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce i województwie śląskim, Park Naukowo–Technologiczny Euro–Centrum, Katowice 2014, s.27.

- zjawiska interferencji aerodynamicznej – są to wzajemne oddziaływania obiektów zlokalizowanych blisko siebie na ich opływ i oddziaływania aerodynamiczne.

Z uwagi na geometrię obiektów budowlanych we wspomnianym opracowaniu profesora Andrzeja Flagi zostały wydzielone następujące grupy<sup>19</sup>:

- obiekty bryłowe, cylindryczne i powłokowe (do nich zaliczymy większość obiektów budowlanych o zwartej budowie i nieskomplikowanej geometrii),
- obiekty przestrzenne o złożonej charakterystyce geometrycznej i różnych formach architektonicznych (np. stadiony, przekrycia strukturalne, wszelkiego rodzaju skomplikowane obiekty architektoniczne),
- obiekty smukłe o osi pionowej (takie jak wieże, budynki wysokie), osi poziomej (np. mosty, kładki) lub osi dowolnej,
- obiekty bardzo smukłe typu cięgnowego lub z profili stalowych (np. ciągną, kable, rury),
- obiekty zamknięte – nieprzewiewane (np. budynki o szczelnej elewacji z systemem wentylacji mechanicznej), otwarte – przewiewne (np. wiaty, sceny plenerowe) i częściowo otwarte,
- obiekty pełnościennie i ażurowe.

Wyżej wymienione grupy charakteryzują się odmienną specyfiką oddziaływania wiatru.

Obiekty budowlane różnią się ponadto podatnością na drgania spowodowane wiatrem.<sup>20</sup>

- obiekty niepodatne na dynamiczne oddziaływanie wiatru, zwane też obiektami statecznymi (np. domy, bloki, masywne budynki użyteczności publicznej). Jest to grupa stanowiąca większość obiektów budowlanych,
- obiekty podatne na dynamiczne oddziaływanie wiatru spowodowane turbulencją atmosferyczną, zjawiskami niestateczności przepływu w śladzie aerodynamicznym, zjawiskami aeroelastycznymi i zjawiskami interferencji aerodynamicznej (np. budynki wysokie, obiekty o dużej smukłości, przekrycia dużych rozpiętości).

Obiekty należące do pierwszej z grup są dość sztywne i można pominąć przy ich obliczeniach siły bezwładności i tłumienia czego nie możemy zrobić w przypadku obliczeń dotyczących obiektów z grupy drugiej. Wynikają one z dużych drgań obiektów i powiązanej z nimi tzw. odpowiedzi rezonansowej. W obliczeniach dotyczących obiektów należących do grupy drugiej należy wziąć pod uwagę również tzw. odpowiedź quasi-statyczną.

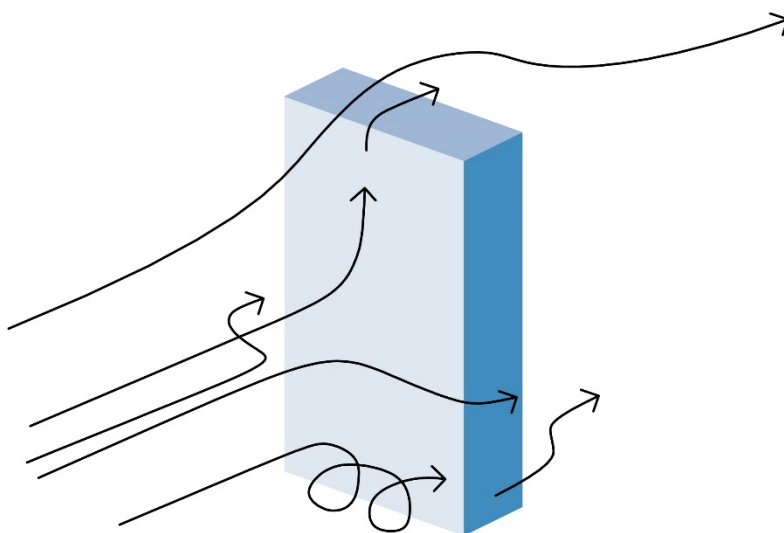
Profesor Andrzej Flaga podaje również ogólną klasyfikację oddziaływań wiatru na obiekty budowlane, która w czytelny sposób porządkuje rodzaje wpływów wiatru na budynki. Klasyfikacja ta została przedstawiona w poniższej tabeli (Tab. 2.5).

<sup>19</sup> Flaga A., *Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania.*, Wydawnictwo Arkady, ISBN 978-83-213-4526-0, Warszawa 2008, s. 346

<sup>20</sup> *Ibidem*, s. 347

<b>ODDZIAŁYWANIA WIATRU NA OBIEKTY BUDOWLANE</b>	<b>ODDZIAŁYWANIA GLOBALNE</b> (WYPADKOWE NA OBIEKT JAKO CAŁOŚĆ LUB NA JEGO FRAGMENT)	<b>WEKTOR SIŁY AERODYNAMICZNEJ LUB JEGO SKŁADOWE</b>	OPÓR AERODYNAMICZNY, SIŁA BOCZNA, SIŁA NOŚNA
		<b>WEKTOR MOMENTU AERODYNAMICZNEGO LUB JEGO SKŁADOWE</b>	MOMENT AERODYNAMICZNY PRZECHYLAJĄCY, POCHYLAJĄCY, ODCHYLAJĄCY ITP.
	<b>ODDZIAŁYWANIA LOKALNE, LINIOWE NA OBIEKTY SMUKŁE</b> (NA JEDNOSTKĘ DŁUGOŚCI, WYSOKOŚCI, ROZPIĘTOŚCI BUDOWLI, NA JEDNOSTKĘ DŁUGOŚCI ELEMENTÓW KONSTRUKCJI ITP.)	<b>ODDZIAŁYWANIE WZDŁUŻNE WIATRU</b> = OPÓR AERODYNAMICZNY OBIEKTU NA JEDNOSTKĘ JEGO DŁUGOŚCI = ODDZIAŁYWANIE LINIOWE WIATRU WZDŁUŻ ŚRĘDNIEGO KIERUNKU WIATRU	
		<b>ODDZIAŁYWANIE POPRZECZNE (BOCZNE) WIATRU</b> = AERODYNAMICZNA SIŁA BOCZNA (NOŚNA, POPRZECZNA) NA JEDNOSTKĘ DŁUGOŚCI OBIEKTU = ODDZIAŁYWANIE LINIOWE WIATRU POPRZECZNIE DO ŚRĘDNIEGO KIERUNKU WIATRU	
<b>ODDZIAŁYWANIA LOKALNE, POWIERZCHNIOWE NA OBIEKT</b> (NA JEDNOSTKĘ POWIERZCHNI ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH LUB WEWNĘTRZNYCH BUDOWLI, NA JEDNOSTKĘ POWIERZCHNI ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH ITP.)	<b>CIŚNIENIE WIATRU</b>	<b>PARCIE WIATRU</b> (DODATNIE CIŚNIENIE WIATRU W STOSUNKU DO CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO) <b>SSANIE WIATRU</b> (UJEMNE CIŚNIENIE WIATRU W STOSUNKU DO CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO)	

Tab. 2.5 Klasyfikacja ogólna oddziaływań wiatru na obiekty budowlane. Źródło: Flaga A., *Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania.*, Wydawnictwo Arkady, ISBN 978-83-213-4526-0, Warszawa 2008, s. 348, Rys. 8.3.



Rys. 2.8 Schemat wirów powietrznych jakie mogą powstać wokół budynku pod wpływem siły wiatru (opracowanie własne).

Wiry powstałe z każdej strony budynku mogą tworzyć dyskomfort dla użytkowników lub być nawet niebezpieczne (Rys. 2.8). Powinny być likwidowane lub zmniejszane przez modyfikację elewacji nawietrznej budynku. W niektórych przypadkach (po dokonaniu analizy pływów wiatru wokół obiektu) jesteśmy w stanie wyznaczyć miejsca na obiekcie, w których montaż turbin wiatrowych byłby nie tylko ekonomicznie uzasadniony (najsilniejszymi przepływami wiatru), ale również zmniejszałyby powstałe wiry powietrzne.

## II.3. ENERGETYKA WIATROWA W UNII EUROPEJSKIEJ I POLSCE

### II.3.1. Stan rozwoju i możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej

Według danych Komisji Europejskiej średnioroczne obroty europejskiej branży OZE wynoszą 129 mld euro, a zatrudnionych jest w niej ponad milion osób. Poza tym europejskie przedsiębiorstwa są

właścicielami 40% światowych patentów dotyczących technologii OZE. Dane te dobrze obrazują zaangażowanie UE w technologie OZE, w tym energetykę wiatrową.

W 2013 roku moc zainstalowana elektrowni wiatrowych na świecie wynosiła 318,6 GW (w tym nowa moc zainstalowana w roku 2013 – 35,6 GW). Natomiast całkowita moc zainstalowana w UE wynosiła pod koniec 2013 roku 117,7 GW (w tym nowa moc zainstalowana w roku 2013 – 11,3 GW)<sup>21</sup>. Oznacza to, iż moc zainstalowana w UE stanowi 36,94 % mocy elektrowni wiatrowych na świecie. Tabela (Tab. 2.6) obrazuje wzrost mocy zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych w latach 2005, 2010, 2014 w krajach UE.

KRAJ	MOC ZAINSTALOWANA W KOŃCU ROKU W [MW]		
	ROK 2005	ROK 2010	ROK 2014
AUSTRIA	819,0	1014,0	2095,0
BELGIA	167,4	886,0	1959,0
BUŁGARIA	10,0	500,0	690,5
CHORWACJA	-	89,0	346,5
CYPR	0,0	82,0	146,7
CZECHY	28,0	215,0	281,5
DANIA	3128,0	3749,0	4845,0
ESTONIA	32,0	149,0	302,7
FINLANDIA	82,0	197,0	627,0
FRANCJA	757,0	5970,0	9285,0
GRECJA	573,3	1323,0	1979,8
HISZPANIA	10028,0	20623,0	22986,5
HOLANDIA	1219,0	2269,0	2805,0
IRLANDIA	495,1	1392,0	2271,7
LITWA	27,0	163,0	279,3
LUXEMBURG	35,3	44,0	58,3
ŁOTWA	6,5	30,0	61,8
MALTA	0,0	0,0	0,0
NIEMCY	18414,9	27191,0	39165,0
<b>POLSKA</b>	<b>73,0</b>	<b>1180,0</b>	<b>3833,8</b>
PORTUGALIA	1022,0	3706,0	4914,4
RUMUNIA	1,7	462,0	2953,6
SŁOWACJA	5,0	3,0	3,1
SŁOWENIA	0,0	0,0	3,2
SZWECJA	509,5	2163,0	5424,8
WĘGRY	17,5	295,0	329,2
WIELKA BRYTANIA	1332,0	5204,0	12440,3
WŁOCHY	1718,0	5797,0	8662,9
<b>UE</b>	<b>40501,2</b>	<b>84696,0</b>	<b>128751,6</b>

Tab. 2.6 Zestawienie mocy zainstalowanych w elektrowniach wiatrowych w latach 2005, 2010, 2014 w poszczególnych krajach UE; Źródło: opracowanie własne na podstawie: Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*. Wydanie drugie zmienione. Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978-83-926319-8-9, Gliwice 2008, [www.slideshare.net/jakubtabor/raport-energetyka-wiatrowa-w-polsce-2015](http://www.slideshare.net/jakubtabor/raport-energetyka-wiatrowa-w-polsce-2015) dostęp: 22.09.2016, [www.imbaenergyclub.gr/2012/10/10/2011-european-wind-energy-market-review-offshore-wind-parks/](http://www.imbaenergyclub.gr/2012/10/10/2011-european-wind-energy-market-review-offshore-wind-parks/), dostęp: 22-09-2016.

<sup>21</sup> Źródło: [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro-jde14\\_po.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jde14_po.pdf), dostęp: 22-09-2016.

Cele Unii Europejskiej oraz plan działania w zakresie wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii zostały opisane w Białej Księdze<sup>22</sup>, Zielonej Księdze<sup>23</sup> oraz Dyrektywie 2009/28/WE<sup>24</sup> z dnia 23 kwietnia 2009 r. ustanawiającej cel 20% energii ze źródeł odnawialnych dla UE i 10 – 49% dla krajów członkowskich na 2020 r. (15% dla Polski). Niewypełnienie założonego celu wiąże się z konsekwencjami prawnymi dla poszczególnych państw. Ustalenia zawarte w wyżej wymienionych dokumentach zobowiązują kraje członkowskie do podejmowania działań wspierających rozwój odnawialnych źródeł energii. Znacząco przyczyniają się również do kontynuacji wzrostu mocy zainstalowanej ze źródeł odnawialnych, choć założone cele wydają się być trudne do osiągnięcia.

Dyrektywa 2009/28/WE:

- określiła procedury wsparcia takie jak gwarancję zakupu energii, ulgi podatkowe czy bezpośrednią pomoc finansową (zielone certyfikaty, taryfy „feed-in”, system premium),
- wprowadziła zobowiązania opracowania przez kraje członkowskie krajowych planów działania które miały szczegółowo określić starania podejmowane przez Państwo Członkowskie do osiągnięcia celu na rok 2020,
- stworzyła mechanizmy współpracy pomiędzy państwami członkowskimi, które mają wpłynąć na kosztową efektywność osiąganych celów w zakresie OZE,
- ustanowiła wymóg zmniejszenia barier administracyjnych i legislacyjnych dla OZE a także nałożyła obowiązek usprawnienia systemu informacyjnego i zwiększenie liczby szkoleń o tematyce OZE.

OZE są niezwykle znaczące dla bezpieczeństwa energetycznego UE, zmniejszania emisji gazów cieplarnianych oraz ograniczenia zależności od tradycyjnych i importowanych paliw. Dodatkowym atutem rozwoju technologii związanych z OZE jest możliwość pozytywnego wpływu na gospodarkę, konkurencyjność przemysłu i wzrost zatrudnienia. W założeniach UE odnawialne źródła energii mają być konkurencyjne pod względem ekonomicznym w stosunku do źródeł konwencjonalnych.<sup>25</sup> Aby sprostać tym założeniom kraje członkowskie posiadają różnego rodzaju narzędzia prawne mające na celu promocję produkcji energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych. Należą do nich między innymi:

- subsydia inwestycyjne,
- zapewnione ilości i ceny zakupów energii (ang. feed-in tariffs),
- kary pieniężne obciążające zakłady energetyczne oraz firmy zajmujące się przesyłem i dystrybucją energii elektrycznej za niewypełnienie obowiązku gwarantowanego poziomu zakupu energii z OZE,
- wymagania dotyczące udziału danego rodzaju energii w przetargach energetycznych,
- ulgi, zwroty lub obniżenia wysokości podatków,
- wydawanie zielonych certyfikatów.

---

<sup>22</sup> Biała księga. Energia dla przyszłości. Odnawialne zasoby energii. Komisja Europejska. Bruksela, 27 listopada 1997.

<sup>23</sup> Zielona księga. Ku europejskiej strategii bezpieczeństwa energetycznego. Komisja Europejska. Bruksela, 29 listopada 2000. Zielona księga. O efektywności energetycznej lub jak osiągnąć więcej zużywając mniej. Komisja Europejska. Bruksela, 22 czerwca 2005. Zielona księga. Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. Komisja Europejska. Bruksela, 8 marca 2006 r.

<sup>24</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 2009/28/WE z dnia 23 Kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

<sup>25</sup> COM(2010) 639 final z 10 listopada 2010 r., „Energia 2020 Strategia na rzecz konkurencyjnego, zrównoważonego i bezpiecznego sektora energetycznego”.



Poza licznymi udogodnieniami jakie stara się wprowadzić UE dla rozwoju OZE istnieje wiele czynników utrudniających. Należą do nich między innymi<sup>26</sup>:

- instytucjonalne i prawne przeszkody wynikające z różnic między przepisami unijnymi, a prawem obowiązującym w poszczególnych krajach członkowskich,
- niejednokrotnie niejasne przepisy prawne,
- skomplikowane procedury,
- brak skutecznego systemu administracyjnego,
- nie dość rozwinięta infrastruktura techniczna powodująca trudności z przyłączeniem instalacji OZE do sieci.

W latach 2007 – 2013 przeznaczono na propagowanie energii ze źródeł odnawialnych około 4,7 mld euro. Podczas gdy w latach 2000 – 2006 suma ta wynosiła 600 mln euro. Liczby te ukazują znaczny wzrost znaczenia energii ze źródeł odnawialnych w polityce UE w tym czasie.

Do programów propagujących OZE w UE należą:

- Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego (EFRR),
- Fundusz Spójności (FS),
- Europejski program energetyczny na rzecz naprawy gospodarczej,
- Inteligentna Energia dla Europy,
- Program ramowy w zakresie badań naukowych.

Przewiduje się, że w latach 2014 – 2020 wsparcie finansowe z wyżej wymienionych programów wzrośnie.<sup>27</sup>

Ponadto dnia 25 lutego 2015 roku Komisja Europejska przedstawiła komunikat „Strategia ramowa na rzecz stabilnej unii energetycznej opartej na przyszłościowej polityce w dziedzinie klimatu” (COM/2015/080). Zakłada on wspólny system energetyczny jako podstawę Unii Energetycznej. Jej priorytetem ma być efektywne wykorzystanie lokalnie dostępnych zasobów energetycznych oraz intensywny rozwój nowoczesnych technologii niskoemisyjnych. System ten ma zapewnić Unii Europejskiej utrzymanie pozycji lidera w sektorze wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Co z kolei miałyby znaczący wpływ na zmniejszenie importu paliw i energii z mniej stabilnych regionów świata i uniezależnienie się energetycznie UE. W celu osiągnięcia wyżej wymienionych postanowień UE kładzie szczególny nacisk aby krajowe strategie energetyczne były spójne z założeniami energetyczno-klimatycznymi UE (w tym Unii Energetycznej).

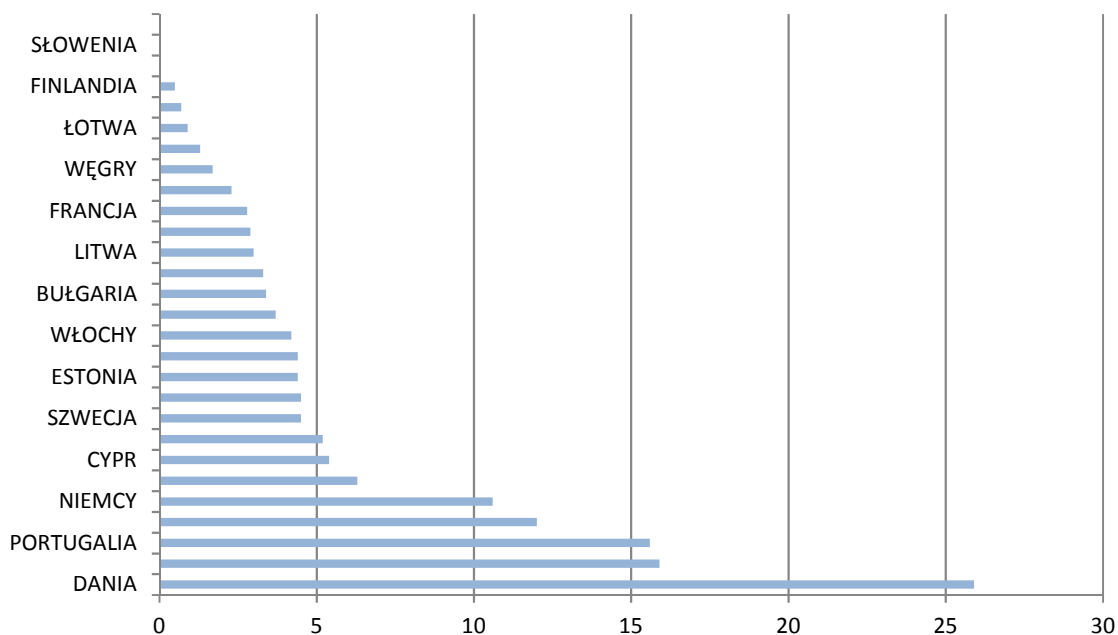
Krajem dominującym w UE pod względem udziału OZE w strukturze zużycia energii elektrycznej jest Dania (Rys. 2.10). W kraju tym w ostatnich latach dochodzi do sytuacji (w pewnych przedziałach czasowych), gdy energia wytwarzana w elektrowniach wiatrowych stanowi ponad 50 % energii elektrycznej zużywanej przez odbiorców końcowych.<sup>28</sup>

---

<sup>26</sup> Europejski Trybunał Obrachunkowy, sprawozdanie specjalne „Wsparcie z funduszy polityki spójności na rzecz wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych – czy osiągnięto dobre rezultaty?”, Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg, 2014 r., s.9

<sup>27</sup>Ibidem, s. 10

<sup>28</sup> Paska J., Surma T., Energetyka wiatrowa w Unii Europejskiej - stan obecny oraz perspektywa roku 2020, „Rynek Energii” - 2/2012)



Rys. 2.10 Udział procentowy energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach wiatrowych w zużyciu końcowym energii w UE. Opracowanie własne na podstawie: Energetyka wiatrowa w Unii Europejskiej – stan obecny oraz perspektywa roku 2020 Autorzy: prof. dr hab. inż. Józef Paska, dr inż. Tomasz Surma („Rynek Energii” – 2/2012).

Po przedstawieniu przez kraje członkowskie Krajowych Planów Działań dla Energetyki Odnawialnej powstały prognozy przewidujące wzrost końcowego zużycia energii ze źródeł odnawialnych z ok. 103 Mtoe w roku 2005 do ok. 210 Mtoe w roku 2020. Największy wzrost przewidywany jest w sektorze energetyki wiatrowej, następnie biomasy i energetyki słonecznej.<sup>29</sup>

W czerwcu 2015 roku zostało podpisane porozumienie (Memorandum of Understanding) w ramach inicjatywy przedłużenia Baltic Energy Market Interconnection Plan (BEMIP). Zawarty je Dania, Niemcy, Estonia, Łotwa, Litwa, Polska, Finlandia oraz Szwecja. Dokument zakłada wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego regionu Morza Bałtyckiego poprzez pogłębianie współpracy i optymalne wykorzystanie OZE przez poszczególne kraje. Region Bałtycki ma wprowadzić rozwiązania, które będą pilotażowe dla europejskiego rynku energii. Należą do nich:

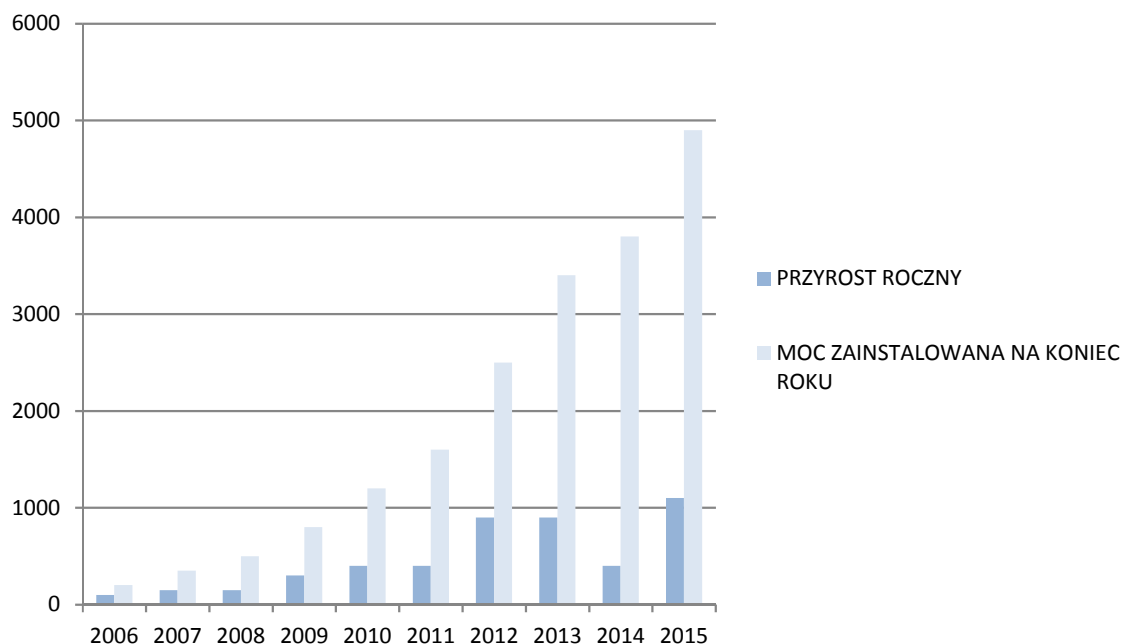
- przedstawienie do 2018 roku propozycji wspólnego planu działania na rzecz rozwoju OZE w regionie do roku 2030,
- współdziałanie w zakresie morskich farm wiatrowych lub wypracowanie dla nich wspólnego systemu wsparcia oraz stworzenie infrastruktury towarzyszącej (Baltic Grid),
- wprowadzenie głębokich zmian na rynku energii, które mają doprowadzić do zwiększenia integracji OZE.

### II.3.2. Stan rozwoju i możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej w Polsce

Najnowsze opublikowane dane podają, iż w polskiej energetyce wiatrowej zainstalowanych jest ok. 5000 MW (stan na rok 2015). Natomiast udział energii wytworzonej z siły wiatru stanowi około 6,21% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce. Jest to nadal niewielka część możliwych do wykorzystania „zasobów”. Aby energetyka wiatrowa w naszym kraju rozwijała się prężniej należy uporać się między innymi z utrudnieniami prawnymi oraz uprzedzeniami społeczeństwa. Analiza badań przeprowadzonych przez CBM Indicator (na zlecenie Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej) wykazała iż 72% Polaków do swojego domu wybrałoby prąd pobierany z elektrowni wiatrowej

<sup>29</sup> Paska J., Surma T., *op. cit.*

(odrzucając przy tym konwencjonalne źródła jak elektrownie węglowe, czy elektrownie jądrowe). Wynik ten może natomiast odzwierciedlać jedynie modę na ekologiczny styl życia, gdyż część z respondentów jest przekonana o szkodliwym wpływie wiatraków na zdrowie ludzi i zwierząt.



Rys. 2.11 Moc elektrowni wiatrowych w MW, zainstalowana w Polsce, latach 2006 – 2015. Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, <http://psew.pl/pl/biblioteka/raporty/>, dostęp: 16–11–2016.

W Polsce prawie 80% wszystkich inwestycji wiatrowych należy do niezależnych producentów energii. Natomiast jedynie 19% znajduje się w rękach skarbu Państwa. Proporcje te ukazują, iż zainteresowanie tego rodzaju inwestycjami jest znacznie większe w kręgu inwestorów prywatnych. Ponieważ nie mogą oni pozwolić sobie na brak zysku, a nakłady finansowe IPP (Independent Power Producers) nie maleją, sytuacja ta przedstawia jak przyszłościowa i ekonomicznie opłacalna jest ta gałąź energetyki. Wyżej wymienione dane dotyczą głównie farm wiatrowych nie reprezentując energii wytwarzanej z turbin zintegrowanych z budynkami. Są jednak znaczące w ocenie możliwości wykorzystania energii wiatru na terenie Polski również przez pojedyncze obiekty architektoniczne. W naszym kraju są możliwe do instalacji bez dodatkowych badań i zezwoleń małe elektrownie wiatrowe tzw. przydomowe. Rozwiązań tego typu jest wiele.

Ważniejszymi dokumentami przyczyniającymi się do wzrostu udziału OZE w bilansie energetycznym Polski są min.:

- ratyfikowany przez Polskę traktat z Kioto – zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych,
- dyrektywa UE 2009/28/WE – dotycząca zwiększania udziału niekonwencjonalnych źródeł w produkcji energii elektrycznej i ciepłej.

Obecnie najważniejszym polskim dokumentem dotyczącym energii wiatrowej jest ustawa o Odnawialnych Źródłach Energii z dnia 20 lutego 2015 roku oraz ustawa z dnia 22 czerwca 2016 roku o zmianie ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii oraz niektórych innych ustaw.

Wprowadzają one między innymi:

- opis mechanizmów i instrumentów wspierających wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii,
- warunki i tryb certyfikowania instalatorów instalacji odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej nie większej niż 600 kW,
- zmianę systemu świadectw pochodzenia energii na system aukcyjny opierający się na rekomendacjach i wytycznych Komisji Europejskiej. Po przeprowadzonych analizach i nowelizacji ustawy system ten został tak zmodernizowany, aby wśród wygranych w aukcjach miały szansę znaleźć się również małe instalacje wiatrowe,
- definicję hybrydowych instalacji OZE,
- kompleksowe określenie ram prawnych dotyczących prowadzenia działalności w zakresie OZE.

Jednocześnie podstawowym aktem prawnym związanym z sektorem energetycznym jest ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (t. j. Dz.U. 2012 r. Nr 1059 ze zmianami), która reguluje większość zagadnień związanych z tym sektorem.

Kolejnym istotnym dokumentem jest ustawa o udostępnieniu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko z dnia 9 lutego 2016 roku (Dz. U. 2016 poz.353) oraz Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 roku (Dz. U. 2010 nr 213 poz. 1397) w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Opisuje ono między innymi które instalacje wykorzystujące do wytwarzania energii elektrycznej energię wiatru wymagają decyzji o oddziaływaniu na środowisko:

- instalacje o łącznej mocy nominalnej elektrowni nie mniejszej niż 100 MW,
- instalacje o całkowitej wysokości nie niższej niż 30 m,
- instalacje lokalizowane na obszarach objętych formami ochrony przyrody.

Jednym z dokumentów strategicznych dla Polski jest, przyjęta Uchwałą Rady Ministrów nr 202/2009 z dnia 10 listopada 2009 roku, Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Przedstawia energetyczną strategię państwa, zarówno krótkoterminową, jak i długoterminową do 2030 roku.

Z uwagi na przynależność do Unii Europejskiej Polska wraz z pozostałymi krajami Wspólnoty dąży do wyznaczonych celów ilościowych ustanowionych w ramach zobowiązań ekologicznych, tzw. „3x20” (zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do roku 1990, zmniejszenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami dla UE na 2020 r., zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia energii w UE). Udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii w Polsce ma wzrosnąć do 15% w 2020 roku i 20% w 2030 roku.<sup>30</sup>

Energetyka wiatrowa wpisuje się niewątpliwie w podstawowe kierunki polskiej polityki energetycznej:

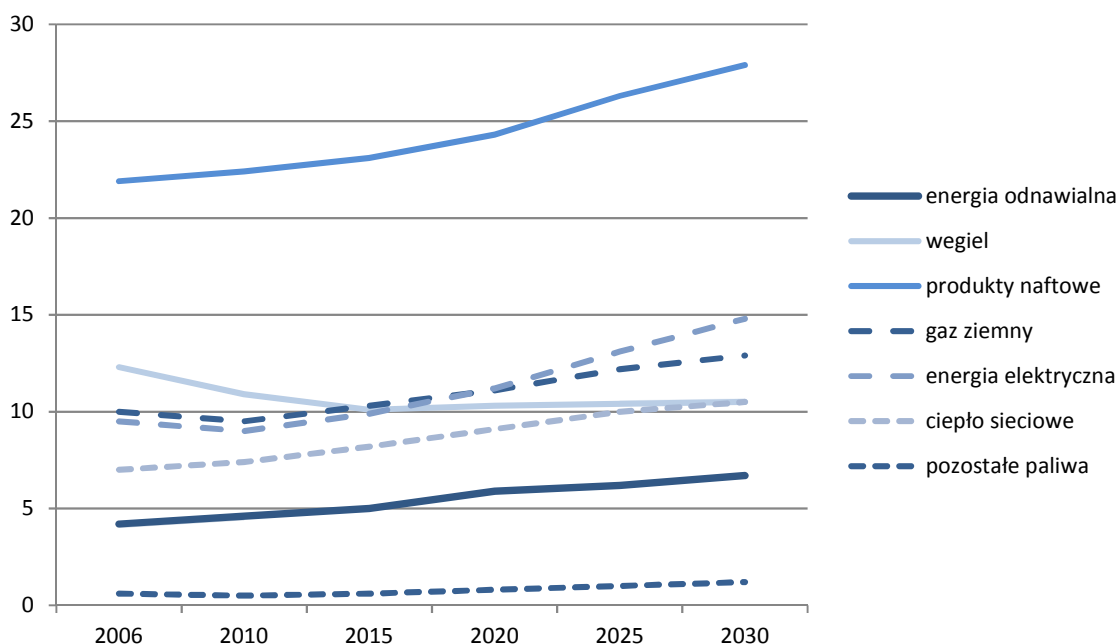
- poprawa efektywności energetycznej,
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii,
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Dokument zwraca uwagę na brak możliwości pokrycia zapotrzebowania kraju na energię elektryczną w przyszłości. Pokazuje prognozy zapotrzebowania na energię finalną w podziale na nośniki do roku 2030 (Rys. 2.12) oraz zapotrzebowanie na energię finalną brutto z OZE do roku 2030 w podziale na rodzaje energii (Tab. 2.7). Stan ten wiąże się z koniecznością wzrostu istniejących mocy

---

<sup>30</sup> Polityka energetyczna Polski do roku 2030 przyjęta Uchwałą Rady Ministrów nr 202/2009 z dnia 10 listopada 2009 roku, s.4

wytwórczych. Z uwagi na zobowiązania Polski do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, konieczne jest preferowanie rozwiązań niskoemisyjnych.



Rys. 2.12 Zapotrzebowanie na energię finalną w podziale na nośniki [Mtoe]. Opracowanie własne według Załącznik nr 2 do Polityki energetycznej Polski do roku 2030, s.11

PALIWO / TECHNOLOGIA	2006	2010	2015	2020	2025	2030
ENERGIA ELEKTRYCZNA	370,6	715,0	1516,1	2686,6	3256,3	3396,3
BIOMASA STAŁA	159,2	298,5	503,2	892,3	953,0	994,9
BIOGAZ	13,8	31,4	140,7	344,5	555,6	592,6
WIATR	22,0	174,0	631,9	1178,4	1470,0	1530,0
WODA	175,6	211,0	240,3	271,4	276,7	276,7
FOTOWOLTAIKA	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	2,1
CIEPŁO	4312,7	4481,7	5046,3	6255,9	7048,7	7618,4
BIOMASA STAŁA	4249,8	4315,1	4595,7	5405,9	5870,8	6333,2
BIOGAZ	27,1	72,2	256,5	503,1	750,0	800,0
GEOTERMIA	32,2	80,1	147,5	221,5	298,5	348,1
SŁONECZNA	3,6	14,2	46,7	125,4	129,4	137,1
BIOPALIWA TRANSPORTOWE	96,9	549,0	884,1	1444,1	1632,6	1881,9
BIOETANOL CUKRO-SKROBIOWY	61,1	150,7	247,6	425,2	443,0	490,1
BIODIESEL Z RZEPAKU	35,8	398,3	636,5	696,8	645,9	643,5
BIOETANOL II GENERACJI	0,0	0,0	0,0	210,0	240,0	250,0
BIODIESEL II GENERACJI	0,0	0,0	0,0	112,1	213,0	250,0
BIOWODÓR	0,0	0,0	0,0	0,0	90,9	248,3
<b>OGÓŁEM ENERGIA FINALNA BRUTTO Z OZE</b>	<b>4780</b>	<b>5746</b>	<b>7447</b>	<b>10387</b>	<b>11938</b>	<b>12897</b>
<b>ENERGIA FINALNA BRUTTO</b>	<b>61815</b>	<b>61316</b>	<b>63979</b>	<b>69203</b>	<b>75480</b>	<b>80551</b>
<b>% UDZIAŁU ENERGII ODNAWIALNEJ</b>	<b>7,7</b>	<b>9,4</b>	<b>11,6</b>	<b>15,0</b>	<b>15,8</b>	<b>16,0</b>

Tab. 2.7 Zapotrzebowanie na energię finalną brutto z OZE w podziale na rodzaje energii [ktoe]. Opracowanie własne na podstawie tabeli 9, załącznika nr 2 do polityki energetycznej Polski do roku 2030, s. 12.

W opracowaniu założono rozwój energetyki rozproszonej, wykorzystującej lokalne źródła energii (np. metan, OZE), jako istotny element poprawy bezpieczeństwa energetycznego kraju. Przyjęto, iż rozwój ten ma pozwolić na ograniczenie inwestycji sieciowych, a dofinansowania do OZE i kongregacji skutkować znacznymi inwestycjami w sektorze energetyki rozproszonej. Zwiększenie udziału OZE w całkowitej produkcji energii miałyby natomiast znaczący wpływ na uniezależnienie się od energii importowanej ponieważ produkcja OZE odbywa się zwykle w sąsiedztwie odbiorców, co zwiększa lokalne bezpieczeństwo energetyczne oraz zmniejsza straty energii wynikające z przesyłu.

PALIWO / TECHNOLOGIA	2006	2010	2015	2020	2025	2030
W. BRUNATNY – PC/FLUIDALNE	8819	9177	9024	8184	10344	10884
W. KAMIENNY – PC/FLUIDALNE	15878	15796	15673	15012	11360	10703
W. KAMIENNY – CHP	4845	4950	5394	5658	5835	5807
GAZ ZIEMNY – CHP	704	710	810	873	964	1090
GAZ ZIEMNY – GTCC	0	0	400	600	1010	2240
DUŻE WODNE	853	853	853	853	853	853
WODNE POMPOWE	1406	1406	1406	1406	1406	1406
JĄDROWE	0	0	0	1600	3200	4800
PRZEMYSŁOWE WĘGIEL - CHP	1516	1411	1416	1447	1514	1555
PRZEMYSŁOWE GAZ - CHP	51	50	63	79	85	92
PRZEMYSŁOWE INNE - CHP	671	730	834	882	896	910
LOKALNE GAZ	0	0	22	72	167	278
MAŁE WODNE	69	107	192	282	298	298
WIATROWE	173	976	3396	6089	7564	7867
BIOMASA STAŁA - CHP	25	40	196	623	958	1218
BIOGAZ CHP	33	74	328	802	1293	1379
FOTOWOLTAIKA	0	0	0	2	16	32
RAZEM	35043	36280	40007	44464	47763	51412

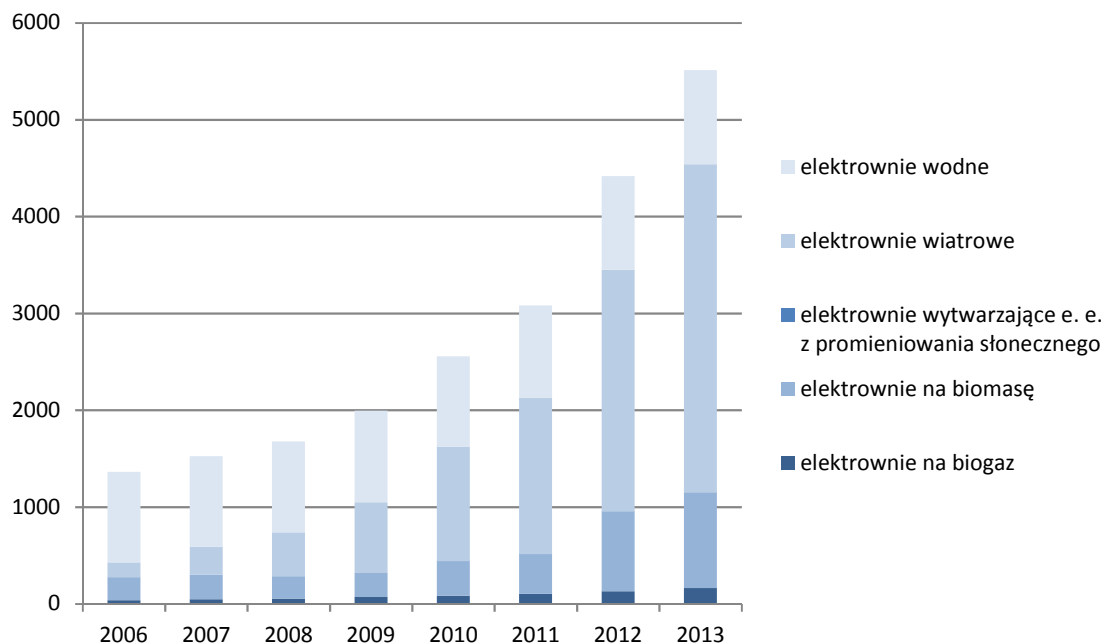
Tab. 2.8 Obecne i prognozowane moce wytwórcze energii elektrycznej brutto [MW]. Opracowanie własne według danych z tabela 14 załącznika nr 2 do polityki energetycznej Polski do roku 2030, s. 16.

Przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 roku Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych określa cele w strefie udziału energii ze źródeł odnawialnych w obszarach transportu, energii elektrycznej oraz ogrzewania i chłodzenia do roku 2020. Dokument określa również kooperację organów władzy lokalnej, regionalnej i krajowej, przewidywaną nadwyżkę energii ze źródeł odnawialnych oraz działania jakie należy podjąć w celu wypełnienia zobowiązań wynikających z art. 4 ust. 1 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych:

- wskazuje rozwój energii biomasy i energii wiatru jako najbardziej perspektywiczne zarówno ze względu uwarunkowań klimatyczno–geograficzne kraju, jak i potencjału rozwoju poszczególnych technologii,
- przewiduje, iż do 2020 roku w strukturze źródeł odnawialnych ok. 47% energii elektrycznej będzie wytwarzane w elektrowniach wiatrowych,
- zapowiada wdrożenia prawne w kierunku dynamizacji rozwoju technologii wiatrowych na terenie Polski.

Uzupełnienie do Krajowego Planu Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych opracowane przez Ministerstwo Gospodarki zostało przyjęte 2 grudnia 2011 roku przez Radę Ministrów.

Dokumentem odnoszącym się bezpośrednio do obiektów zintegrowanych z turbinami wiatrowymi jest prawo budowlane. Z uwagi na swoje zapisy warunkuje ono często parametry obiektu w zależności od dostępnej działki i otoczenia, a co za tym idzie możliwości zainstalowania urządzeń wiatrowych. W niektórych przypadkach wymagane są dodatkowe pozwolenia (gdy turbiny potrzebują masztu na stałe związane z gruntem lub fundamentu). Budowa obiektu posiadającego turbiny wiatrowe musi być zgodna z przeznaczeniem terenu w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Natomiast w przypadku jego braku, przed wystąpieniem o wydanie decyzji o warunkach zabudowy należy uzyskać decyzję o uwarunkowaniach środowiskowych.



Rys. 2.13 Moc zainstalowana w Polsce [MW], stan na 31.12.2013 r., opracowanie własne według <http://www.pwea.pl/pl/energetyka-wiatrowa>, dostęp: 27-08-2016.

Wdrożenie projektów dotyczących energetyki wiatrowej jest niezwykle ważne i pociąga za sobą wiele pozytywnych efektów. Niestety dość często nie są one dostrzegane przez lokalne społeczności i władze. Do najistotniejszych barier utrudniających rozwój energetyki wiatrowej można zaliczyć<sup>31</sup>:

- **Barьеры ekonomiczne:**
  - kosztowność technologii i związane z nią duże nakłady finansowe na początku inwestycji,
  - opłacalność inwestycji zależna od wysokości dotacji,
  - wysokie koszty badań wietrzności na danym terenie.
- **Barьеры lokalizacyjno–infrastrukturalne:**
  - plany zagospodarowania przestrzennego narzucają sposób wykorzystania gruntu często uniemożliwiający montaż turbiny wiatrowej,
  - na obszarach wiejskich słabo rozwinięta infrastruktura drogowa i sieciowa,
  - rozproszona lokalizacja nowych źródeł mocy utrudnia jej przesył z powodu nieprzystosowania istniejących sieci,
  - zmienność efektywności urządzeń w zależności od położenia geograficznego (uwarunkowania topograficzno–klimatyczne).
- **Barьеры administracyjne:**
  - skomplikowane i długotrwałe procedury administracyjne,
  - brak koordynacji pomiędzy poszczególnymi urzędami administracyjnymi.
- **Barьеры społeczne:**
  - nieprzechylny stosunek lokalnych władz do nowych nieznanych rozwiązań energetycznych,

<sup>31</sup> Soliński I., Ostrowski J., Soliński B., *op. cit.*, s. 16, tabela 1.2

– obawy społeczności lokalnych przed wpływem realizowanych inwestycji na ich zdrowie i najbliższe otoczenie.

▪ **Bariery prawne:**

- zmienność prawa dotyczącego bezpośrednio lub pośrednio sektora energetyki odnawialnej,
- niejednoznaczność uregulowań prawnych.

▪ **Bariery informacyjne:**

- słaba znajomość postępowania administracyjnego przy lokalizacji inwestycji.

Prognozy rozwoju energetyki w Polsce wskazują na dynamizację rozwoju energetyki odnawialnej, w tym wiatrowej. Z uwagi na sprzyjający klimat i ukształtowanie terenu Polska ma dobre i bardzo dobre warunki do rozwoju tego sektora OZE, dlatego też jest postrzegana przez inwestorów jako kraj o dużym potencjale w tej dziedzinie. Także według PSEW (Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej) na terenie Polski energetyka wiatrowa jest najbardziej obiecującą i konkurencyjną technologią ze wszystkich OZE.

Rozwój sektora energetyki wiatrowej w Polsce ma znaczący wpływ nie tylko na niezależność energetyczną państwa czy poprawę środowiska naturalnego. Inwestycje w tej gałęzi energetyki generują nowe miejsca pracy, co w znacznym stopniu pobudza gospodarkę.

Być może zachętą dla inwestorów do wykorzystywania OZE (w tym energii wiatrowej) mogłyby się okazać ulgi podatkowe czy dofinansowania ze strony budżetu państwa.



### III. KLASYFIKACJA TURBIN WIATROWYCH

Przeprowadzona analiza wybranych przykładów architektury powiązanej z urządzeniami wytwarzającymi energię z siły wiatru pozwala na ustanowienie klasyfikacji rzeczonych obiektów. Wydaje się ona być niezbędną w drodze badania prawdziwości założonej tezy. Poza powszechnie znanymi klasyfikacjami opisującymi wielkość elektrowni (małe, średnie i duże), czy sposób ich wykorzystania (prydomowe, przemysłowe), a także lokalizację (lądowe, morskie) przedstawiono autorskie podziały obiektowych elektrowni wiatrowych (Tab. 3.1) powstałe w drodze wyżej przytoczonej analizy.

KLASYFIKACJA STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE TECHNOLOGII POZYSKIWANIA ENERGII WIATROWEJ	KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA BUDOWĘ TURBIN
	KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MOC SYSTEMU
	KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA LOKALIZACJĘ TURBIN WZGLĘDEM OBIEKTU
	KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA WPŁYW TURBIN NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU

Tab. 3.1 Zestawienie klasyfikacji stosowanych w budownictwie technologii pozyskiwania energii wiatrowej (opracowanie własne).

#### III.1. KLASYFIKACJA OGÓLNA

W powyższym rozdziale autorka przedstawiła podziały dotyczące wszystkich turbin wiatrowych. Odnoszą się one zarówno do urządzeń powiązanych z architekturą jak i do turbin stosowanych w tak zwanych farmach wiatrowych. Są to podziały ogólnie znane i stosowane w literaturze przedmiotu.

##### III.1.1. Klasyfikacja ze względu na budowę

Klasyfikacja została podzielona w pracy na trzy podgrupy. W pierwszej „Klasyfikacja ze względu na budowę turbiny” został przytoczony i opisany podstawowy podział turbin wiatrowych, powszechnie znany i dostępny w literaturze (Rys. 3.1). Są to turbiny o poziomej osi obrotu (śmigłowe oraz wielopłatowe) i turbiny o pionowej osi obrotu (rotorowe Savoniusa, karuzelowe, typu tornado oraz Darrieusa). Każdy z wyżej wymienionych typów ma specyficzną konstrukcję i sposób działania:

Turbiny o poziomej osi obrotu HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine):

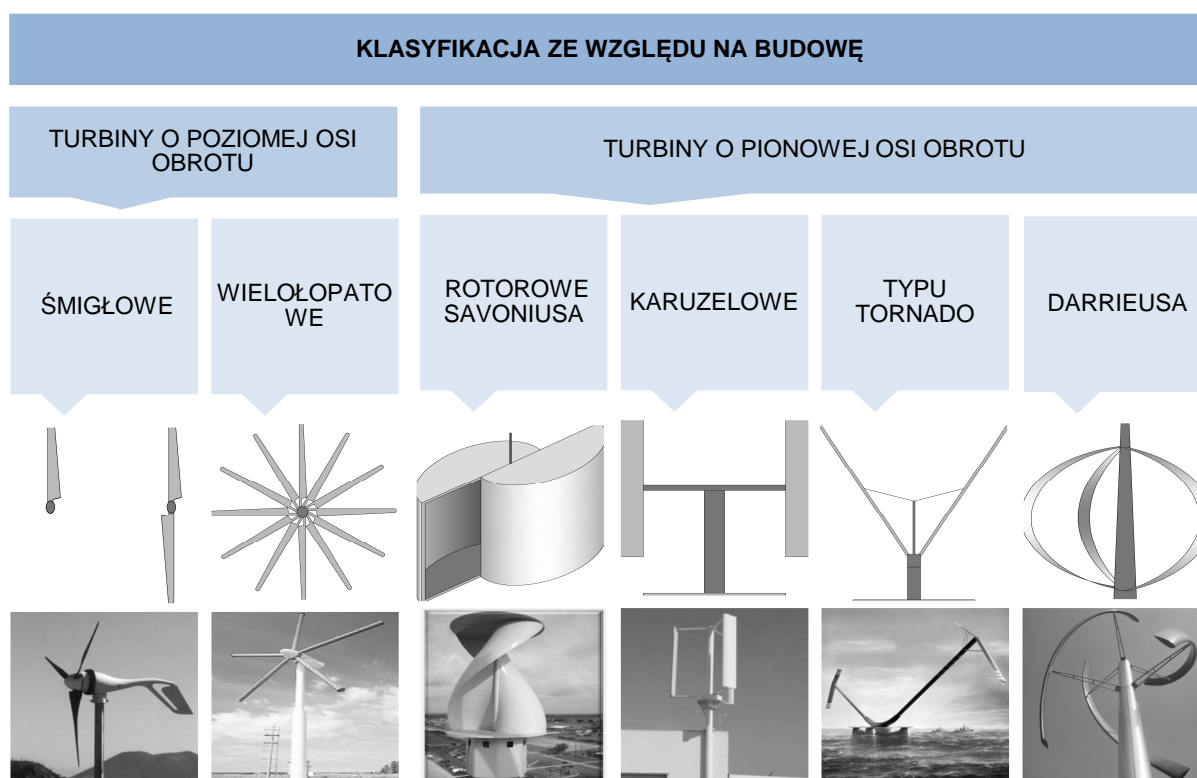
- ŚMIGŁOWE – turbiny jednopłatowe, dwupłatowe lub trzypłatowe (najczęściej stosowane w turbinach małej mocy), konstrukcja łopat jest porównywalna do budowy skrzydła samolotowego,
- WIELOPŁATOWE – typu „wiatrak”, najbardziej popularne w USA.

Turbiny o pionowej osi obrotu VAWT (Vertical Axis Wind Turbine):

- ROTOROWE SAVONIUSA – jest jedną z najprostszych technologicznie turbin typu VAWT. Wirnik posiada zazwyczaj dwie lub trzy S-kształtne łopaty. Obrót wirnika jest wymuszany poprzez różnicę sił, jakie oddziałują na wklęsłą i wypukłą stronę łopat. Turbiny tego typu należą do wolnoobrotowych, dlatego są rzadko spotykane w urządzeniach wytwarzających energię elektryczną. Często stosowane są do

napędzania pomp wodnych (ze względu na stosunkowo duży moment startowy). Istnieje kilka odmian konstrukcyjnych turbiny Savoniusa np. turbiny „świderkowe”.

- KARUZELOWE – posiadają trzy proste, równoległe do osi obrotu, skrzydła. Łopatki mają zmienny (w określonym zakresie) kąt nastawienia.
- TYPU TORNADO – specyficzna budowa umożliwia zamianę strumienia wiatru na wir przypominający tornado oraz redukcję turbulencji. Cechą charakterystyczną jest obecność wirnika wymuszającego pionowy prąd powietrza, tworzący wir o niższym ciśnieniu wewnątrz turbiny.
- TYPU DARRIEUSA – charakteryzuje się trzema (czasami dwoma) skrzydłami zamontowane na pionowym wale. Łopaty posiadają stałą cięciwę i symetryczny profil. Turbiny te nie wymagają orientacji względem wiatru. Konstrukcja oparta jest na wynalazku opatentowanym przez Francuza Georges'a Darrieusa w 1931 r. Istnieje odmiana turbiny Darrieusa o nazwie H–Darrieus (lub H–rotor) charakteryzująca się prostymi, umieszczonymi pionowo łopatami wirnika. Siłownie tego rodzaju posiadają mały moment rozruchowy, co wymusza montaż dodatkowego, zewnętrznego źródła napędowego do rozruchu turbiny. Do wad turbiny należą również moment pulsacyjny (mniejszy w turbinach z 3 łopatami) oraz praca blisko ziemi (spowodowana trudnościami z montażem długiej, pionowej osi na większych wysokościach) w strefie wolniejszych przepływów powietrza i większych turbulencji.



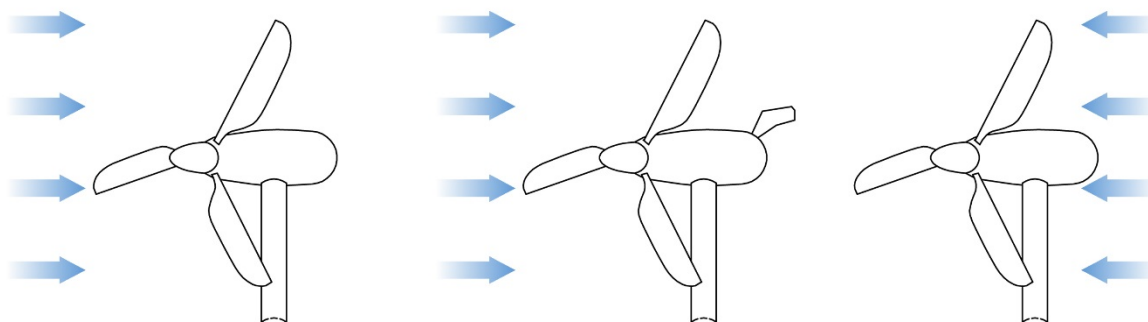
Rys. 3.1 Klasyfikacja turbin wiatrowych ze względu na budowę wirnika (opracowanie własne na podstawie: zielonaenergia.eco.pl, dostęp: 20-01-2015).

Siłownie wiatrowe o pionowej osi obrotu pracują głównie w układach autonomicznych. Coraz częściej są wykorzystywane w przydomowych elektrowniach małej mocy. Dzieje się tak głównie za sprawą coraz bardziej nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych. Do ich zalet należą cicha praca i brak

mechanizmu nastawiania na wiatr. Niestety ich sprawność jest niższa, niż turbin o poziomej osi obrotu (wynika to z powierzchni przetaczana, którą wyznaczają łopaty wirnika). Natomiast VAWT mają możliwość instalowania turbin w bliższej odległości od siebie, co w ogólnym rozrachunku daje możliwość zainstalowania większej mocy.

Przykładem turbin o pionowej osi obrotu i nowej konstrukcji są m.in. turbiny świderkowe. Posiadają dość niską prędkość rozruchową 1,5 – 2 m/s. Są cichobieżne i dobrze sprawdzają się w warunkach silnych wiatrów. Dodatkowym atutem jest waga urządzeń. Całkowita masa siłowni wiatrowej o pionowej osi obrotu i mocy rzędu 1 kW wynosi około 200 kg, co umożliwia łatwy montaż na obiektach budowlanych. Maksymalne prędkości 40-60 m/s pozwalają na wykorzystanie silnych wiatrów o mocnych, krótkotrwałych podmuchach oraz zmiennych kierunkach. Jest to wielka zaleta tych urządzeń, dzięki której świetnie sprawdzają się one w środowisku miejskim. Dodatkowym atutem turbin o konstrukcji pionowej jest możliwość montażu zarówno w pionie jak i w poziomie. Co jest niezwykle ważne, gdyż często pozwala na lepsze powiązanie urządzeń z budynkiem pod względem estetycznym jak również ułatwia montaż techniczny. Przykładem takiego rozwiązania jest budynek Near North Apartments w Chicago projektu Murphy/Jahn<sup>32</sup>. Jednak cena tych siłowni znacznie przewyższa ceny tradycyjnych, trójłopatowych siłowni o poziomej osi obrotu negatywnie wpływając na ich popularność.

Dużo bardziej znane są siłownie o poziomej osi obrotu potocznie zwane „wiatrakami”. Wynika to zapewne z faktu, że siłownie tego typu są używane na farmach wiatrowych z którymi najczęściej kojarzą się turbiny wiatrowe. Nie są one jednak najlepszym rozwiązaniem dla budynków znajdujących się w zabudowie miejskiej. Zarówno przez trudniejszy montaż na obiekcie jak i znacznie ograniczony (w porównaniu do turbin o pionowej osi obrotu) zakres prędkości i kierunków wiatru. Turbiny wiatrowe HAWT dzielimy również ze względu na usytuowanie wirnika turbiny względem wiejącego wiatru (Rys. 3.2). Do konstrukcji typu down-wind zaliczamy turbiny w których wirnik mieści się za wieżą, natomiast w konstrukcjach up-wind sytuacja jest odwrotna (wirnik jest umieszczony przed wieżą względem kierunku wiejącego wiatru).<sup>33</sup>



Rys. 3.2 Podział turbin wiatrowych typu HAWT ze względu na usytuowanie wirnika w stosunku do kierunku wiatru. Na rysunku kolejno: turbina wiatrowa typu up-wind, turbina wiatrowa typu up-wind wyposażona w pasywny system sterowania oraz turbina wiatrowa typu down-wind (opracowanie własne).

Konstrukcje typu up-wind stosowane są najczęściej. Powodem jest eliminacja niekorzystnego cienia aerodynamicznego, który wytwarzają wieża i gondola w rozwiązaniu typu down-wind. Konstrukcje up-wind są narażone na działanie bardzo dużych sił związanych z natarciem powietrza. Wymaga to zastosowania mocnej konstrukcji oraz bardzo wytrzymałych materiałów do budowy łopat. Dodatkowo w takich przypadkach wirnik jest odsunięty od masztu na odległość uniemożliwiającą

<sup>32</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.124

<sup>33</sup> Borowski S., Mroziński A., Kolber P., *Badania technologiczne rozwiązań stosowanych w energetyce wiatrowej*, Bydgoszcz 2011r., s.10

zderzenie z masztem w czasie odchyleń. Elektrownie o konstrukcji typu down-wind nie muszą natomiast posiadać mechanizmu odchylenia wirnika. Rozwiązanie to nie jest zbyt popularne, gdyż zacienienie wirnika przez gondolę i maszt powoduje straty w produkcji energii.

Oczywiście każdy przypadek należy rozpatrywać osobno, dlatego też jest wiele realizacji budynków połączonych zarówno z turbinami o pionowej jak i o poziomej osi obrotu. W niniejszej pracy wiele z nich zostało przytoczonych.

### III.1.2. Klasyfikacja ze względu na moc systemu

Klasyfikacja systemów przemiany energii wiatru ze względu na moc jest powszechnie stosowana w literaturze przedmiotu. Przytaczają ją między innymi Mirosława Szumanowska i Antoni Szumanowski<sup>34</sup> dzieląc turbiny wiatrowe na:

- SYSTEMY W MAŁEJ SKALI – o mocy 0 – 2 kW – urządzenia te mają zwykle zastosowanie lokalne (gospodarcze) i nie wymagają kosztownych podzespołów służących regulacji ich pracy,
- SYSTEMY W ŚREDNIEJ SKALI – o mocy 2 – 100 kW – najczęściej mają działanie lokalne, ale wymagające już zastosowania profesjonalnej regulacji systemu. Stosowane są między innymi w niewielkich osiedlach czy też małych zakładach produkcyjnych,
- SYSTEMY W DUŻEJ SKALI – o mocy ponad 100 kW – pojedyncze siłownie lub grupy siłowni współpracujących z siecią energetyczną. Konieczna jest przy nich możliwość akumulacji energii.

Stosowanie systemów o małej i średniej skali nie wiąże się z ograniczeniami, jakie dotyczą systemów o mocy ponad 100 kW (lokalizacja w terenie niezabudowanym, zagrożenia środowiskowe, hałas, wpływ na krajobraz itp.). Są często stosowane jako urządzenia połączone z architekturą i są w stanie zabezpieczyć częściowo lub całkowicie potrzeby energetyczne budynku. Jednak wadą tych systemów jest znaczny spadek ich efektywności przy wyższych prędkościach wiatrów. Do zalet turbin wiatrowych o małej i średniej mocy należą:

- rozpoczęcie pracy przy prędkości wiatru mniejszej niż 2 m/s,
- niska awaryjność,
- stabilne i wytrzymałe konstrukcje (wytrzymujące bardzo silne wiatry),
- możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur od -40 °C do +60 °C,
- konkurencyjność cenowa,
- możliwość współpracy z innymi źródłami energii tworząc systemy hybrydowe (mieszane) – najczęściej są to baterie fotowoltaiczne, generatory diesla oraz mikroturbiny gazowe,
- łatwość instalacji,
- niewielkie gabaryty, które dość dobrze wkomponowują się w otoczenie,
- mała skala ograniczająca ingerencję w środowisko,
- w większości przypadków (gdy nie są trwale związane z gruntem) nie wymagają pozwoleń.

### III.2. KLASYFIKACJA DOTYCZĄCA TURBIN POWIĄZANYCH Z ARCHITEKTURĄ

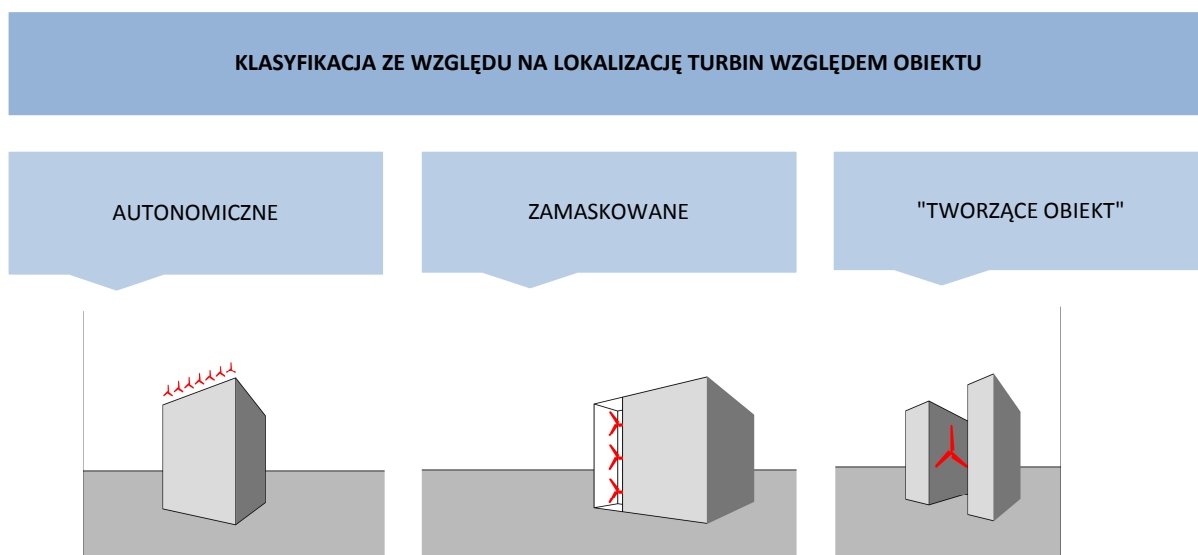
W powyższym rozdziale autorka przedstawiła podziały dotyczące turbin wiatrowych powiązanych z architekturą. Są to zarówno podziały ogólnie znane i stosowane w literaturze przedmiotu jak i klasyfikacje sformułowane przez autorkę w drodze analiz projektów przedstawionych w niniejszej pracy.

---

<sup>34</sup> Szumanowska M., Szumanowski A., *op. cit.*, s.48

### III.2.1. Klasyfikacja ze względu na lokalizację turbin względem obiektu

Wyodrębnione zostały trzy grupy turbin wiatrowych ze względu na ich powiązanie z obiektem; autonomiczne turbiny dodane do budynku, turbiny zamaskowane oraz turbiny „tworzące obiekt” (Rys. 3.3). Autorka dokonuje tego podziału ze względu na charakterystyczny sposób w jaki każda z wymienionych grup kształtuje obiekt i jego detal, nadając mu często niepowtarzalną formę. Wśród wszystkich przykładów architektury powiązanej z turbinami wiatrowymi i analizowanej w niniejszej rozprawie doktorskiej podział ten jest bardzo czytelny, co skłoniło autorkę do stworzenia klasyfikacji turbin ze względu na lokalizację względem obiektu.



Rys. 3.3 Klasyfikacja ze względu na lokalizację turbin względem obiektu (opracowanie własne).

**AUTONOMICZNE** – do grupy pierwszej możemy zaliczyć turbiny niezależne, niescalone z obiektem. Są to zazwyczaj niewielkie urządzenia o poziomej osi obrotu. Często o ciekawym kształcie i kolorystyce. Do najatrakcyjniejszych estetycznie należą jednak turbiny o pionowej osi obrotu. Nierzadko nawiązują do architektury lub z nią współgrają. Do zalet tych urządzeń należy możliwość umieszczenia reklamy, logo itp. dzięki czemu turbina może się stać ciekawym elementem budynku. Współczesne rozwiązania techniczne umożliwiają umieszczenie na powierzchni turbin diod LED pozwalających na wyświetlanie reklam itp. w wersji multimedialnej. Umieszczane często szeregowo na dachach i tarasach budynków, tworzą ciekawe zwieńczenia obiektów.

Do wymienionej grupy możemy zaliczyć turbiny typu Architectural Wind (Il. 3.1, Il. 3.2)<sup>35</sup> produkcji firmy AeroVironment. Odpowiadają one na potrzeby miejskiej energetyki wiatrowej. Są to małe, ciche, nie potrzebujące wież turbiny, które można montować seriami. System zaprojektowany jest do stosowania na szczytach budynków, by korzystając z ich aerodynamiki jak najlepiej wykorzystywać siłę wiatru. Innowacyjna forma oferuje aż 30% wzrost produkcji energii. Turbiny działają już przy niskich prędkościach wiatru, co gwarantuje możliwość wytworzenia znacznych zasobów czystej energii. Są przystosowane do pracy samodzielnej lub współpracy z innymi technologiami energii odnawialnej (np. panelami fotowoltaicznymi). W związku z dużą wydajnością inwestycja zwraca się stosunkowo szybko. Architectural Wind dostępne są w różnych wielkościach, zaczynając od 6 kW, wymiarów 1,2 m x 1,2 m i masy 200 kg. Są wyposażone w ekrany uniemożliwiające ptakom kontakt z wirnikiem. Turbiny te mają niewielki wpływ na strukturę istniejącego obiektu i stanowią atrakcyjny detal architektoniczny.

<sup>35</sup> IV.2. WYBRANE PRZYKŁADY TURBIN WIATROWYCH STOSOWANYCH W ARCHITEKTURZE s. 70



Il. 3.1 Turbina typu Architectural Wind produkcji firmy AeroVironment, źródło: <https://inhabitat.com/architectural-wind-modular-wind-turbines/>, dostęp: 19-03-2018.



Il. 3.2 Fabryka Kettle Foods , Wisconsin, United States of America, źródło: <http://newenergynews.blogspot.com/2007/10/kettle-chips-gets-gold-medal-for-green.html>, dostęp: 19-03-2018.

**ZAMASKOWANE** – zupełnie inną grupę stanowią turbiny zamaskowane w elewacji. Najczęściej niewidoczne lub prawie niewidoczne. Taki sposób instalacji turbin wymusza zastosowanie obudowy maskującej, która ma duży wpływ na kształtowanie elewacji. Do w/w grupy należą min. dyskretne i wydajne Ridgeblade. Można by ją nazwać turbiną kalenicową, gdyż jest rodzajem podłużnej turbiny cylindrycznej o poziomej osi obrotu i niewielkiej średnicy. Została zaprojektowana i przeznaczona głównie do zamieszczania wzdłuż kalenicy dachu. Takie usytuowanie naturalnie stwarza poprzez geometrię dachu najlepsze warunki do pracy turbin (w szczycie dachu prędkość wiatru jest największa – nawet w mniej sprzyjających warunkach pogodowych). Urządzenia te mogą być jednak instalowane w wąskiej grupie obiektów o specyficznej budowie dachu, narzucając jednocześnie detal ich wykończenia.



Il. 3.3 Turbina Ridgeblade, Knaresborough, UK, źródło: <https://ridgeblade.ca/products/hybrid-solar-units/>; dostęp: 19-02-2019.

**TWORZĄCE OBIEKT** – Do trzeciej grupy możemy zaliczyć turbiny, które swą obecnością „tworzą obiekt”. Najczęściej są to urządzenia projektowane i wytwarzane dla konkretnego obiektu. Wielkogabarytowe instalacje zasilają cały obiekt, a często również budynki sąsiednie. Powiązane konstrukcyjnie z bryłą, są najczęściej w nią wtopione, jak w przypadku Strata SE1 w Londynie (Il. 3.4)<sup>36</sup>, czy też Bahrain World Trade Centre w Manamie (Il. 3.5)<sup>37</sup>. W obiektach tych turbiny wyrażają konkretną ideę danej architektury, są ich rdzeniem i cechą charakterystyczną. Tak tworzona bryła stanowi nową jakość w architekturze. Cała struktura obiektu, jego gabaryty, kształt, materiały wykończeniowe stają się podporządkowane zastosowanej technologii tak, aby działała ona w sposób najefektywniejszy. Rozwiązania tego typu są możliwe tylko w obiektach nowoprojektowanych.

<sup>36</sup> V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.100

<sup>37</sup> *Ibidem*, s.102



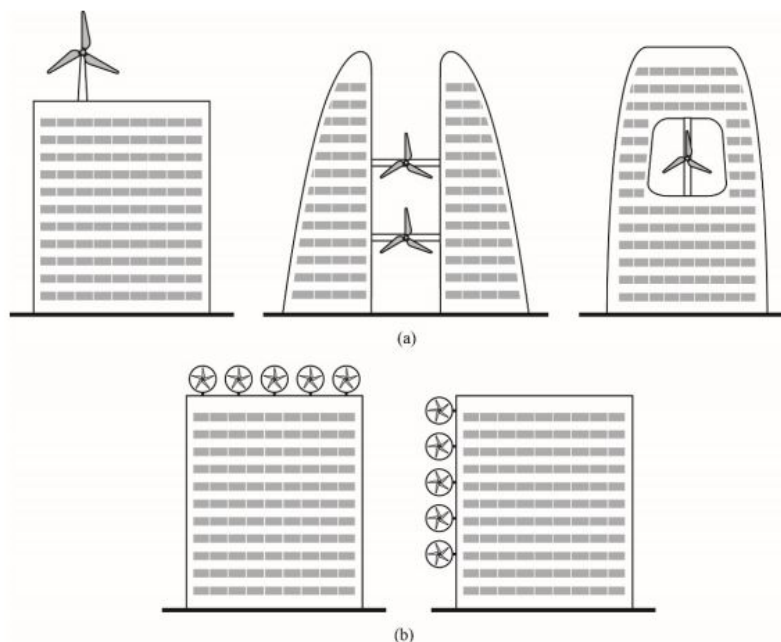
Il. 3.4 The Razol, London, UK, źródło: [www.inhabitat.com](http://www.inhabitat.com), dostęp: 23-03-2018.



Il. 3.5 Bahrain World Trade Center, źródło: <https://www.e-architect.co.uk/bahrain/bahrain-world-trade-centre>,  
dostęp: 23-03-2018.



Podobnej klasyfikacji dokonano w artykule „A New Building–Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building”<sup>38</sup> (Rys. 3.4). Autorzy pracy zaproponowali podział ze względu na wielkogabarytowe i małe turbiny wiatrowe, a następnie przedstawili możliwości montażu systemów turbin wiatrowych w obrębie każdej z grup.



Rys. 3.4 Budynki zintegrowane z systemami turbin wiatrowych: (a) możliwość lokalizacji instalacji wielkogabarytowych turbin wiatrowych, (b) dwie propozycje lokalizacji instalacji małych turbin wiatrowych. Park J., Jung HJ., Lee SW., J Park J., *A New Building–Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building*, ISSN 1996–1073, *Energies* 2015, s.3.

Możliwość instalacji wielkogabarytowych turbin wiatrowych przedstawiono w trzech wariantach (Rys. 3.4 (a)). Na dachu, pomiędzy dwoma sąsiednimi bryłami budynku oraz w otworze zaprojektowanym w bryle danego obiektu. Taka instalacji wielkogabarytowych turbin wiatrowych wiąże się z potrzebą wzmocnienia struktur budynku aby wytrzymały dodatkowe obciążenia spowodowane działaniem wiatru na turbiny. W dużej mierze z tego względu rozwiązanie te mogą być zastosowane wyłącznie w budynkach nowoprojektowanych.

Autorzy przedstawiają w artykule również dwie możliwości lokalizacji małych turbin wiatrowych (Rys. 3.4 (b)). Takie rozwiązania są ekonomiczniejsze i mogą zostać wdrożone w obiektach już istniejących. Najczęstsze lokalizacje w rozwiązaniach tego typu to dachy i krawędzie budynków.

### III.2.2. Klasyfikacja ze względu na wpływ turbin na kształtowanie obiektu

Ostateczna klasyfikacja stanowi podsumowanie analiz oraz poprzednich zestawień. Jest wstępem do wyników pracy i dzieli obiekty na przypadki, w których zastosowana technologia wiatrowa wywiera wpływ na kształtowanie architektury oraz te, w których taki wpływ nie występuje (Rys. 3.5).

<sup>38</sup> Park J., Jung HJ., Lee SW., J Park J., *A New Building–Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building*, ISSN 1996–1073, *Energies* 2015

## KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA WPŁYW TURBINY NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU

### WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU



### NIEWYWIERAJĄCE WPŁYwu NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU



Rys. 3.5 Klasyfikacja ze względu na wpływ turbin na kształtowanie obiektu (opracowanie własne).

**WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU** – do tej grupy autorka zalicza te obiekty architektoniczne, na których kształtowanie bryły mają wpływ zainstalowane turbiny wiatrowe. Zazwyczaj są to obiekty zakwalifikowane w klasyfikacji ze względu na lokalizację turbin względem obiektu do grupy drugiej lub trzeciej (turbiny zamaskowane oraz turbiny tworzące obiekt)<sup>39</sup> ( Il. 3.6). Wyjątek stanowią przypadki w których lokalizację turbin możemy zakwalifikować do grupy pierwszej (autonomiczne), natomiast kształtowanie bryły w procesie projektowym odbyło się z myślą o zastosowaniu turbin wiatrowych aby np. zwiększyć pęd powietrza podnosząc efektywność turbin (Il. 3.7).

<sup>39</sup> III.2.1. Klasyfikacja ze względu na lokalizację turbin względem obiektu, s. 45



Il. 3.6 Greenway Self Park, Chicago, Stany Zjednoczone, źródło: <https://www.archdaily.com/74468/greenway-self-park-hok/turbine3>, dostęp: 06-03-2019.



Il. 3.7 Kinetica – Ramsgate Street, Londyn, Anglia, źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 06-03-2019.

**NIEWYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU** – do powyższej grupy autorka zakwalifikowała wszystkie obiekty architektoniczne, w których zainstalowane turbiny wiatrowe nie mają w żadnym stopniu wpływu na kształtowanie bryły. Obiekty w tej grupie są wyłącznie obiektami posiadającymi turbiny zakwalifikowane w klasyfikacji ze względu na lokalizację turbin względem obiektu do grupy pierwszej (autonomiczne)<sup>40</sup>( Il. 3.8).



Il. 3.8 Global Institute of Sustainability, Arizona State University, Arizona, Stany Zjednoczone, źródło: <https://inhabitat.com/asu-global-institute-of-sustainability/?variation=d>, dostęp: 06-03-2019.

---

<sup>40</sup> III.2.1. Klasyfikacja ze względu na lokalizację turbin względem obiektu, s. 45

#### IV. UWARUNKOWANIA DOBORU SIŁOWNI WIATROWEJ W ARCHITEKTURZE

Obecnie wiele realizacji architektury powiązanej z turbinami wiatrowymi powstaje pod wpływem czynników marketingowych (certyfikacje energetyczne, polityka proekologiczna firmy itp.). Podstawowym zagadnieniem od którego powinien rozpoczynać się proces projektowy w takiej sytuacji jest kwestia analizy, czy w danym projekcie warto instalować turbiny wiatrowe. Istnieją dwa przypadki w których warto takie rozwiązania przemyśleć:

- Gdy obiekt powstaje na terenie, gdzie naturalne warunki wietrzne są bardzo korzystne. Zazwyczaj dzieje się tak na wzgórzach, nadbrzeżach lub terenach typowo górskich, gdzie ukształtowanie terenu wzmacnia siłę wiatru.
- W przypadku projektowania w centrach miast, gdy już istniejąca tkanka miejska tworzy tunele powietrzne z których warto skorzystać.
- A także w obiektach bardzo wysokich, znacznie przewyższających otaczającą zabudowę.

Zasadniczym celem instalacji turbin wiatrowych w budynkach jest produkcja energii wiatrowej. Powinna ona przebiegać w sposób opłacalny i przyjazny dla środowiska. Turbiny wiatrowe zlokalizowane w niewłaściwym punkcie obiektu, źle dobrane i nieprawidłowo działające wytwarzają niewielką ilość energii elektrycznej w porównaniu do urządzeń prawidłowo dostosowanych. Dlatego też sam proces połączenia z budynkiem urządzeń jest niezwykle ważny i niezbędny do opłacalnej produkcji energii przez turbinę. Z uwagi na lekceważenie tej części projektu liczne realizacje nie generują wystarczającej ilości energii by stać się opłacalnymi. Niezwykle istotnym elementem projektu jest prognozowanie przepływów wiatru w danej lokalizacji. Powinno brać pod uwagę takie czynniki jak: dane pogodowe (kierunki, prędkości wiatru) oraz dane topograficzne (kształty i wymiary budynków). Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w środowisku miejskim zmiany w prognozowaniu zachodzą bardzo szybko. Nie chodzi jedynie o zmiany klimatyczne. Zasadnicze stają się zmiany w tkance miejskiej, które (jeśli zachodzą w niedalekiej odległości od budynku) mogą nieodwracalnie zmienić warunki wietrzne w danym jego punkcie.

##### IV.1. PODSTAWOWE ASPEKTY DOBORU

Przed zastosowaniem konkretnej technologii niezbędna jest wstępna analiza umożliwiająca właściwy dobór urządzeń, które najkorzystniej pozyskiwałyby energię dla potrzeb konkretnego obiektu na zadanym terenie i o ustalonym klimacie.

Dla potrzeb elektrowni wiatrowych o dużej skali (powyżej 100 kW) niezbędne jest przeprowadzenie pomiarów prędkości wiatru. Trwają one minimum jeden rok i są porównywane z danymi wieloletnimi z najbliższej stacji meteorologicznej. Kolejnym krokiem jest wprowadzenie korekty na temperaturę i ciśnienie powietrza w zależności od wysokości prowadzonych pomiarów i planowanej wysokości montażu turbiny wiatrowej. Dokładność prowadzonych badań ma bezpośredni wpływ na dobór urządzeń oraz ekonomiczną opłacalność inwestycji.



Rys. 4.1 Schematyczny przebieg algorytmu doboru siłowni wiatrowej (opracowanie własne na podstawie: Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010, s.117, Rys.3.24 „Schematyczny przebieg algorytmu doboru i projektu siłowni wiatrowej”).

Pierwszą i jedną z ważniejszych decyzji jest wybór samej lokalizacji inwestycji. Siłownia wiatrowa powinna być instalowana na terenie, gdzie średnie roczne prędkości wiatru są jak największe, natomiast ukształtowanie otoczenia nie powoduje nadmiernych zawirowań i niespodziewanych podmuchów wiatru.

Projektowanie współczesnego budynku, pod kątem jak najlepszego wykorzystania energii promieniowania słonecznego, nazywa się architekturą słoneczną. Idąc tym tokiem myślenia projektowanie obiektu budowlanego wykorzystującego maksymalnie energię wiatru możemy nazwać architekturą wiatrową.

Elementami szczególnie istotnymi przy zastosowaniu niekonwencjonalnych rozwiązań architektury wiatrowej są:

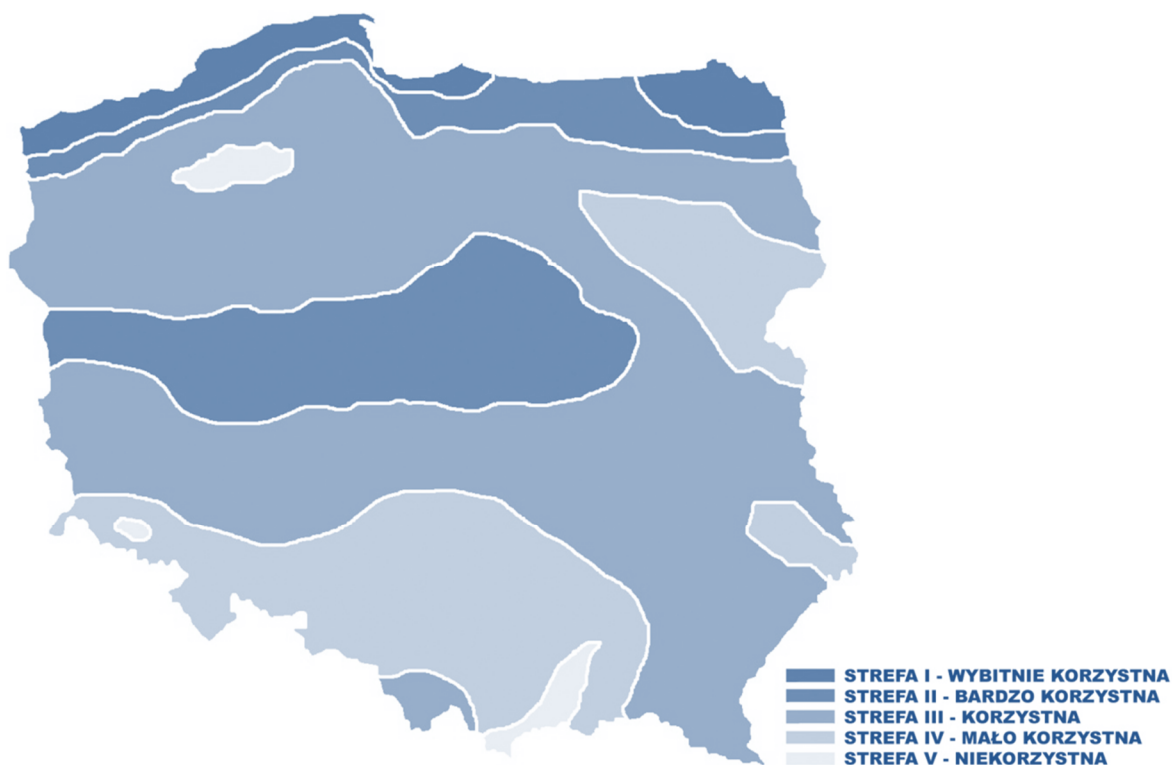
- **ASPEKTY GLOBALNE** – uwarunkowania klimatyczne i topograficzne,
  - typ pokrycia terenu, „szorstkość”,
  - obecność zbiorników wodnych,
- **ASPEKTY INDYWIDUALNE** – kształt budynku, wysokość i jego orientacja względem stron świata,
  - korzystne usytuowanie obiektu względem otoczenia,
  - odpowiednie rozplanowanie pomieszczeń,
- **ASPEKTY EKONOMICZNE** – dobór i umiejscowienie urządzeń pozyskujących energię,
  - optymalizacja dopływu energii,
  - akumulacja pozyskanej energii,
  - sterowanie procesem zużycia energii pozyskanej (w tym także możliwość jej sprzedaży).

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki, jesteśmy w stanie dobrać najlepszą dla danej lokalizacji i obiektu technologię.

**ASPEKTY GLOBALNE** dotyczą ogólnych uwarunkowań klimatyczno – topograficznych bez względu na wielkość, kształt czy też funkcję obiektu. Opisują zasadniczy wpływ na efektywność pracy siłowni wiatrowej jakie stwarza jej umiejscowienie. Najkorzystniejsze jest sytuowanie turbiny na wzniesieniu lub w dolinach gdzie występują lokalne wiatry – przeciągi. Mniej korzystne, ale również właściwe są lokalizacje na otwartych terenach równinnych. Dodatkowym atutem może być usytuowanie wyżej

wymienionych obiektów w bliskiej obecności zbiorników wodnych gdzie zachodzą wzmożone ruchy mas powietrza. Ze względów klimatycznych Polska ma dobre warunki wietrzne (Rys. 4.2). Na północy kraju są one korzystne oraz wybitnie korzystne. Najkorzystniejsze warunki wietrzne występują w Polsce na wybrzeżu (od Koszalina po Hel), rejonie wyspy Wolin, Suwalszczyźnie, środkowej Wielkopolsce, Mazowszu, Beskidzie Śląskim i Żywieckim, Bieszczadach oraz Podgórzu Dynowskim. Na około jednej trzeciej powierzchni Polski panują warunki bardzo korzystne, a na ponad połowie korzystne. Uwarunkowania te dają dużą możliwość stosowania rozwiązań wiatrowych.

Na obszarze Krakowa średnie prędkości wiatru w ciągu roku (na wysokości 30 m n.p.t.) wynoszą 3,5 m/s. Jest to uwarunkowane głównie ukształtowaniem terenu. Dlatego też siłownie wiatrowe w rejonie Krakowa powinny być instalowane jak najwyżej w stosunku do powierzchni terenu.



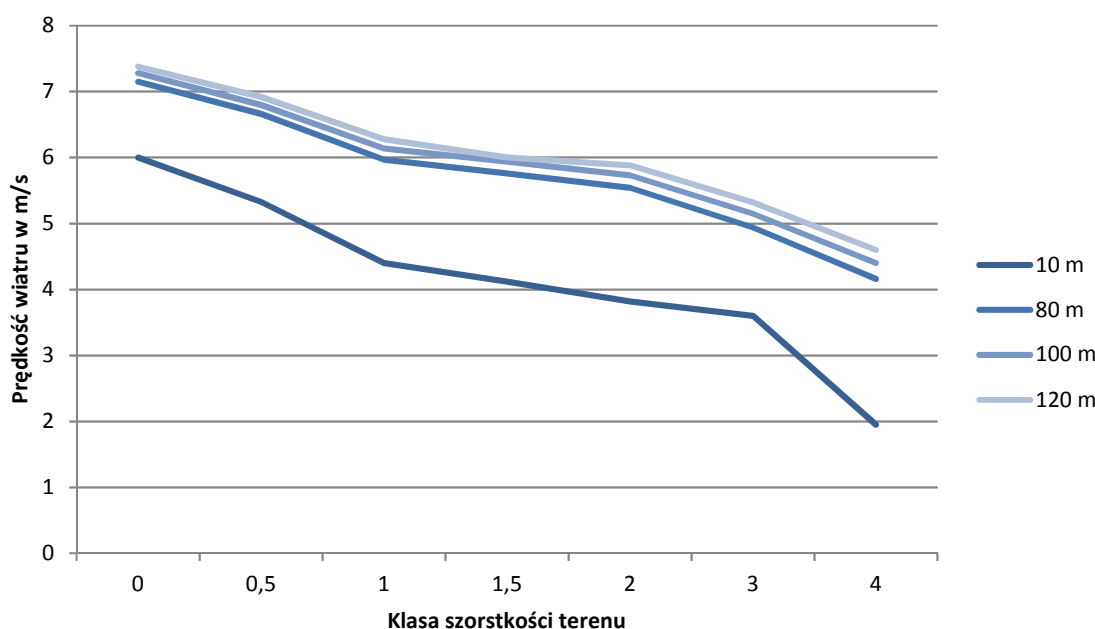
Rys. 4.2 Mapa przedstawiająca potencjał energii wiatrowej na terenie Polski. Opracowanie własne na podstawie <http://ioze.pl/energetyka-wiatrowa/wstepna-analiza-wietrzności> (dostęp: 06-03-2017) oraz Stref energetycznych wiatru wg prof. Haliny Lorenc z Ośrodka Meteorologii IMGW.

Jednym z ważniejszych aspektów globalnych jest szorstkość terenu. Struktura podłoża na którym znajduje się lub ma się znaleźć siłownia wiatrowa w znacznym stopniu oddziałuje na wiatr. Oddziaływanie to przestaje być zauważalne dopiero na wysokości około 1 km. W celu opisanego oddziaływania stworzono skalę klas szorstkości terenu. W skali tej teren płaski o równo skoszonej trawie czy powierzchnia wody odpowiadają najniższej klasie 0, natomiast obszar dużego miasta z bardzo wysokimi zabudowaniami odpowiada najwyższej klasie 4. W poniższej tabeli przedstawiono ogólnie przyjęte klasy szorstkości z odpowiadającymi im długościami szorstkości (Tab. 4.1). Są to maksymalne wysokości nad powierzchnią terenu, na których prędkość wiatru wynosi 0 m/s (tzn. wysokość na której dana struktura terenu doprowadza do całkowitego wyhamowania strumienia powietrza).

KLASA SZORSTKOŚCI	DŁUGOŚĆ W m	STRUKTURA TERENU
0	0,0002	powierzchnia wody, równo skoszona trawa
0,5	0,0024	teren płaski, otwarty z nierównościami mniejszymi niż 0,5 m
1	0,03	teren otwarty z pojedynczymi zabudowaniami
1,5	0,055	teren otwarty z pojedynczymi zabudowaniami oddalonymi o 1250 m
2	0,1	teren otwarty z pojedynczymi zabudowaniami oddalonymi o 500 m
2,5	0,2	teren otwarty z pojedynczymi zabudowaniami oddalonymi o 250 m
3	0,4	wsie, małe miasta, lasy, tereny pagórkowate
3,5	0,8	duże miasta, wysokie zabudowania
4	1,6	duże miasta z bardzo wysokimi zabudowaniami

Tab. 4.1 Klasy szorstkości terenu. Opracowanie własne według: <http://www.polishwindenergy.com/index.php/kompendium-wiedzy-o-energetyce-wiatrowej/64-klasy-szorstkoci>, dostęp: 24-08-2017.

Najistotniejszy w tej kwestii jest faktyczny wpływ struktury terenu na prędkość wiatru. Poniższy wykres przejrzyście obrazuje ten wpływ w zależności od wysokości dokonanych pomiarów, przy ustalonej prędkości wiatru 6 m/s na wysokości 10 m (Rys. 4.3).



Rys. 4.3 Wpływ szorstkości terenu na prędkość wiatru w zależności od wysokości pomiarów: 10 m, 80 m, 100 m, 120 m nad poziomem terenu. Opracowanie własne według: <http://www.polishwindenergy.com/index.php/kompendium-wiedzy-o-energetyce-wiatrowej/64-klasy-szorstkoci>, dostęp: 24-08-2017.

**ASPEKTY INDYWIDUALNE** doboru elektrowni wiatrowych wynikają w dużej mierze z okoliczności globalnych. Jeśli mamy do czynienia z obiektem projektowanym od początku jako budynek połączony z turbinami wiatrowymi to jego kształt, wysokość oraz orientacja względem stron świata wynikają bezpośrednio z zastanych warunków klimatyczno – terenowych i przeprowadzonych badań wietrzności terenu. Do aspektów indywidualnych zaliczamy również lokalizację turbin w odpowiednim miejscu na budynku oraz adekwatne rozplanowanie pomieszczeń. Z uwagi na hałas powstały w trakcie pracy turbin (nie zawsze jest on słyszalny w pomieszczeniach – wpływa na to sam dobór turbin, sposób ich mocowania a także rodzaj i wykonanie elewacji) warto rozważyć rozmieszczenie pomieszczeń technicznych w bezpośredniej bliskości turbin aby stanowiły dodatkową barierę dźwiękową dla pomieszczeń użytkowych.



**ASPEKTY EKONOMICZNE** często są głównym czynnikiem decyzyjnym w procesie inwestycyjnym. Najważniejszym elementem wydaje się być dobór odpowiedniej siłowni wiatrowej. Wybór ten zapada głównie w oparciu o warunki wietrzne w danej lokalizacji (wybrana turbina powinna pracować najwydatniej w określonym przedziale prędkości wiatru) oraz o cenę urządzeń. Ważnym ekonomicznie aspektem elektrowni wiatrowej jest również możliwość podłączenia do sieci publicznej. Jest ono korzystne nie tylko ze względu na sprzedaż nadmiaru wyprodukowanej energii, ale również daje możliwość wykorzystania sieci jako akumulatora do magazynowania prądu (zmniejsza to wówczas koszty związane z magazynowaniem energii – zakup akumulatorów o dużej pojemności).

#### IV.2. WYBRANE PRZYKŁADY TURBIN WIATROWYCH STOSOWANYCH W ARCHITEKTURZE

Asortyment turbin wiatrowych stosowanych w architekturze, pomimo niewielkiej liczby producentów zajmujących się tą gałęzią OZE, jest na rynku dość szeroki. Czołowi producenci mają w swych ofertach urządzenia dedykowane dla środowiska miejskiego. Takie „miejskie” turbiny są ciche, wydajne i często dość przystępne cenowo, a także wytrzymałe w przypadku silnych podmuchów wiatru. Architekci i inwestorzy mają do dyspozycji zróżnicowane produkty zarówno pod względem mocy, technologii jak i samej estetyki.

Producenci turbin wiatrowych podają dla każdego urządzenia krzywą mocy, czyli zależność mocy wytwarzanej przez turbinę od prędkości wiatru. Typowy zakres prędkości wiatru, w którym pracują turbiny wiatrowe, wynosi od 0 m/s do 25 m/s (prędkość wyłączeniowa powyżej której turbina mogłaby zostać uszkodzona).

Ponieważ źródło energii wiatrowej jest zmienne w czasie, a jego czasowy brak powoduje przerwy w dostawie energii, często stosuje się układy hybrydowe. Stosowane w takich układach dodatkowe akumulatory magazynują energię pochodzącą z różnych źródeł (np. wiatr, woda, słońce). Daje to możliwość poboru energii w momencie zwiększonego zapotrzebowania, lub jej braku w danym momencie. W Polsce rozwiązania tego typu są jeszcze mało popularne, co wpływa na ich wysoką cenę. Pomimo dużych kosztów zakupu, instalacje hybrydowe stają się coraz bardziej konkurencyjne z uwagi na większy potencjał wytwarzania energii, a zatem możliwość szybszego zwrotu inwestycji. W układach mieszanych najczęściej spotyka się połączenie wytwarzania energii słonecznej i wiatrowej. Związane jest to z uwarunkowaniami meteorologicznymi. W okresach największego nasilenia wiatrów (jesień, zima) promieniowanie słoneczne jest dużo słabsze niż w okresie wiosenno–letnim, podczas którego wiatry wieją znacznie słabiej (Rys. 2.2, s.19). Zależność ta umożliwia w przybliżeniu stałą produkcję energii przy połączeniu tych dwóch źródeł energii odnawialnej. W takich układach hybrydowych możliwe jest wykorzystanie mniejszego akumulatora, a więc zmniejszenie kosztów instalacji.

Dobór urządzeń do systemów słoneczno–wiatrowych może odbywać się różnymi metodami. W zależności od priorytetów inwestora tj. koszty urządzeń, zasoby energetyczne danej lokalizacji, zapotrzebowanie na energię itp., w tym celu można skorzystać z gotowych programów symulacyjnych dostępnych w sieci Internet. Możemy do nich zaliczyć: HOMER (The Hybrid Optimization Model for Electric Renewables, [www.nrel.gov/HOMER](http://www.nrel.gov/HOMER)), HYBRID2 z Uniwersytetu Massachusetts ([www.ceere.org/rerl/projects/software/hybrid2](http://www.ceere.org/rerl/projects/software/hybrid2)) oraz HOGA z Uniwersytetu Saragossa ([www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm](http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm)).

Duże turbiny wiatrowe instalowane na budynkach są zazwyczaj projektowane i budowane indywidualnie dla konkretnego obiektu (tak jak w przypadku Bahrain World Trade Center<sup>41</sup> w Manamie czy Strata SE1 w Londynie<sup>42</sup>). Natomiast turbiny o średnich i małych mocach są dostępne w produkcji na większą skalę i można je zamówić i zainstalować w dowolnym obiekcie.

<sup>41</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.102

<sup>42</sup> *Ibidem*, s.100

Zaletą małych elektrowni wiatrowych są niewątpliwie: dość prosta budowa, łatwość montażu i uruchomienia, cicha praca, prosta eksploatacja, łatwość wkomponowania w bryłę budynku i otoczenie, przenośna konstrukcja, możliwość pracy przy niewielkim wietrze oraz wydajność pracy w terenie zabudowanym.

Niestety, przy doborze turbin wiatrowych, dość często marketing wygrywa z racjonalnymi analizami. W takich sytuacjach wybór pada na modele, których producenci największy nacisk stawiają na reklamę. Pomijane zostają kwestie techniczne i parametry urządzeń na rzecz konkretnej marki. W takim kontekście zdarzają się być wybierane turbiny wiatrowe do projektów, które pretendują do certyfikacji LEED. Niektórzy producenci turbin promują swoje produkty zapewniając klientów o wysokiej punktacji, jaką budynek może zdobyć posiadając urządzenia ich firmy<sup>43</sup>. Owocuje to wyborem turbin nie do końca odpowiednim dla danego projektu (parametrów budynku, warunków wietrznych itp.).

Poniżej zostały przedstawione przykładowe turbiny wiatrowe, które są dostępne w sprzedaży na większą skalę i często bywają wybierane przez architektów w realizacjach obiektów zintegrowanych z elektrowniami wiatrowymi. Z uwagi na produkcję seryjną, ich zaletą jest relatywnie niższa cena w porównaniu do urządzeń projektowanych i wykonywanych indywidualnie dla potrzeb konkretnego obiektu. Przedstawione egzemplarze turbin są wybrane spośród asortymentu kilku przykładowych firm zajmujących się ich dystrybucją. Każda z nich ma w swojej ofercie kilka turbin różniących się mocą oraz wymiarami. Zazwyczaj urządzenia znajdujące się w asortymencie jednego dostawcy są oparte o te same technologie, materiały i rozwiązania estetyczne. W poniższym zestawieniu zostały zaprezentowane pojedyncze egzemplarze turbin wybrane spośród asortymentu producentów, których produkty zostały wykorzystane w licznych realizacjach architektonicznych.

Każda turbina w poniższym zestawieniu została przedstawiona na dwóch kartach. Pierwsze z kart zaczynają się od nazwy turbiny wiatrowej. Następnie zostały przytoczone nazwy producenta i adresy kontaktowe firm. Kolejnymi informacjami są: wymiary urządzenia, moc danej turbiny, przewidywana roczna wydajność energetyczna, zakres prędkości wiatru w którym działa urządzenie, materiał struktury wirnika, wytyczne producenta dotyczące montażu na budynku i w krajobrazie, czas trwania gwarancji oraz koszt urządzenia. Pierwsze karty zestawienia zawierają również przykładowe realizacje budynków w których dana turbina została zainstalowana. Znajdują się na nich również ilustracje przedstawiające omawiane urządzenia. Na drugich stronach kart znajdują się dodatkowe ilustracje oraz krótki opis analizowanej turbiny wiatrowej.

---

<sup>43</sup> Np. Turbiny Aeroturbine firmy Aerotecture International, Inc. (<http://www.aerotecture.com/architects.html>), dostęp: 22-02-2019

ZESTAWIENIE WYBRANYCH TURBIN WIATROWYCH  
STOSOWANYCH W ARCHITEKTURZE

## Qr6 Vertical Axis Wind Turbines

### Quiet Revolution

VWT Power Ltd, 11 Edison Road, St.Ives, Cambridgeshire, UK

WYMIARY	5,5 m wysokość, 3,1 m średnica
MOC	7,5 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	4197 kWh przy 5 m/s, do 7500 kWh przy 7 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	4,5 m/s – 25 m/s
BUDOWA WIRNIKA	włókno węglowe
MONTAŻ NA BUDYNKU	maszt wysokości 6 m
MONTAŻ AUTONOMICZNY	15 - 18 m nad ziemią
GWARANCJA	2 lata
KOSZT	około 36 750 £

#### PRZYKŁADOWE REALIZACJE

Cleveleys Promenade Cafe, Lancashire, UK  
City House, Croydon, UK  
Abbey Park Campus – Leicester College, UK



Il. 4.1 Turbina typu Qr6, źródło: <https://www.quietrevolution.com/photos/>, dostęp: 24-08-2017.

RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE
		ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE
		TYPU TORNADO DARRIEUSA

Qr6 została zaprojektowana z myślą o działaniu w środowisku miejskim (w bliskim kontakcie ludzi). Składa się z trzech pionowych łopatek skręconych spiralnie o 120 stopni. Zapewnia dużą wydajność (korzysta z każdego wiatru niezależnie od jego kierunku), bezpieczeństwo użytkowania, komfort użytkowania (praktycznie wyeliminowany hałas i wibracje) oraz estetyczny wygląd. Dodatkowo dzięki konstrukcji typu VAWT zabiera mniej miejsca niż turbina typu HAWT o tej samej mocy. Kompaktowa i łatwa do integracji turbina, której konserwacja może być ograniczona do rocznej kontroli (jak zapewnia producent). Pierwsza turbina tego typu została zainstalowana w Dagenham w 2007 roku. W 2008 roku w Wielkiej Brytanii działało już 25 takich turbin. Następnie odbyły się projekty pilotażowe, które doprowadziły do instalacji ponad 100 turbin na terenie Australii i Niemczech. Po roku 2009 działało już ponad 150 urządzeń Qr na całym świecie.



Il. 4.2 Turbina w trakcie instalacji na dachu, źródło: [www.quietrevolution.com](http://www.quietrevolution.com), dostęp: 24-08-2017.

## Windside WS – 0,15 B Vertical Axis Wind Turbines

Windside

Oy Windside Production Ltd, Porthanintie 2, FI-44500 Viitasaari, FINLAND

WYMIARY	0,865 m wysokość, 0,34 m średnica
MOC	1,5 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	350 kWh przy 5 m/s, do 1804 kWh przy 10 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	1,5 m/s – 60 m/s
BUDOWA WIRNIKA	włókno szklane
MONTAŻ NA BUDYNKU	możliwość montażu na dowolnej wysokości
MONTAŻ AUTONOMICZNY	możliwość montażu na dowolnej wysokości
GWARANCJA	10 lat
KOSZT	brak danych

### PRZYKŁADOWE REALIZACJE

posterunek policji, Norwegia  
latarnia morska, Estonia



Il. 4.3 Turbina Windside WS – 0,15 B, źródło: [http://www.windside.com/products/ws-0\\_15](http://www.windside.com/products/ws-0_15), dostęp: 24-08-2017.

RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE
		ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE
		TYPU TORNADO DARRIEUSA

Firma Windside jest prekursorem turbin typu świderkowego będących modyfikacją turbiny Savonius'a. Największą ich zaletą jest możliwość pracy w szerokim zakresie prędkości (od 1,5 m/s do 60 m/s). Urządzenia są niemal bezgłośnie (0 dB w odległości 2 m od łopatki). Z uwagi na zastosowane rozwiązania techniczne producentowi udało się stworzyć siłownię o relatywnie niedużej wadze i konkurencyjnej cenie. Niska waga umożliwia montaż na istniejących obiektach budowlanych bez konieczności inwestowania w wzmocnianie konstrukcji. Istnieje możliwość instalowania zestawów składających się z kilku, a nawet kilkunastu urządzeń. Ich dodatkową zaletą jest długa żywotność podyktowana między innymi wysoką wytrzymałością na sztormy, korozję, piasek, śnieg, mróz, upały i wilgoć.



Il. 4.4 Turbina Windside WS – 0,15 B zainstalowana na posterunku policyjnym w Norwegii, źródło: [http://www.windside.com/products/ws-0\\_15](http://www.windside.com/products/ws-0_15), dostęp: 24-08-2017.

## V1.8s (1KW Vertical Axis Wind turbine)

Hopeful Wind Energy Technology

Building C, No.18 7th Keji Road National Hi-Tech Zone, Jinding District Zhuhai, China

WYMIARY	1,8 m wysokość, 1,5 m średnica
MOC	1 kW
ROZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	1314 kWh przy 5 m/s, do 2628 kWh przy 7 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	2,0 m/s – 25 m/s
BUDOWA WIRNIKA	stop aluminium
MONTAŻ NA BUDYNKU	na dowolnej wysokości
MONTAŻ AUTONOMICZNY	10 m nad ziemią
GWARANCJA	2 lata
KOSZT	około 3,500 US

### PRZYKŁADOWE REALIZACJE

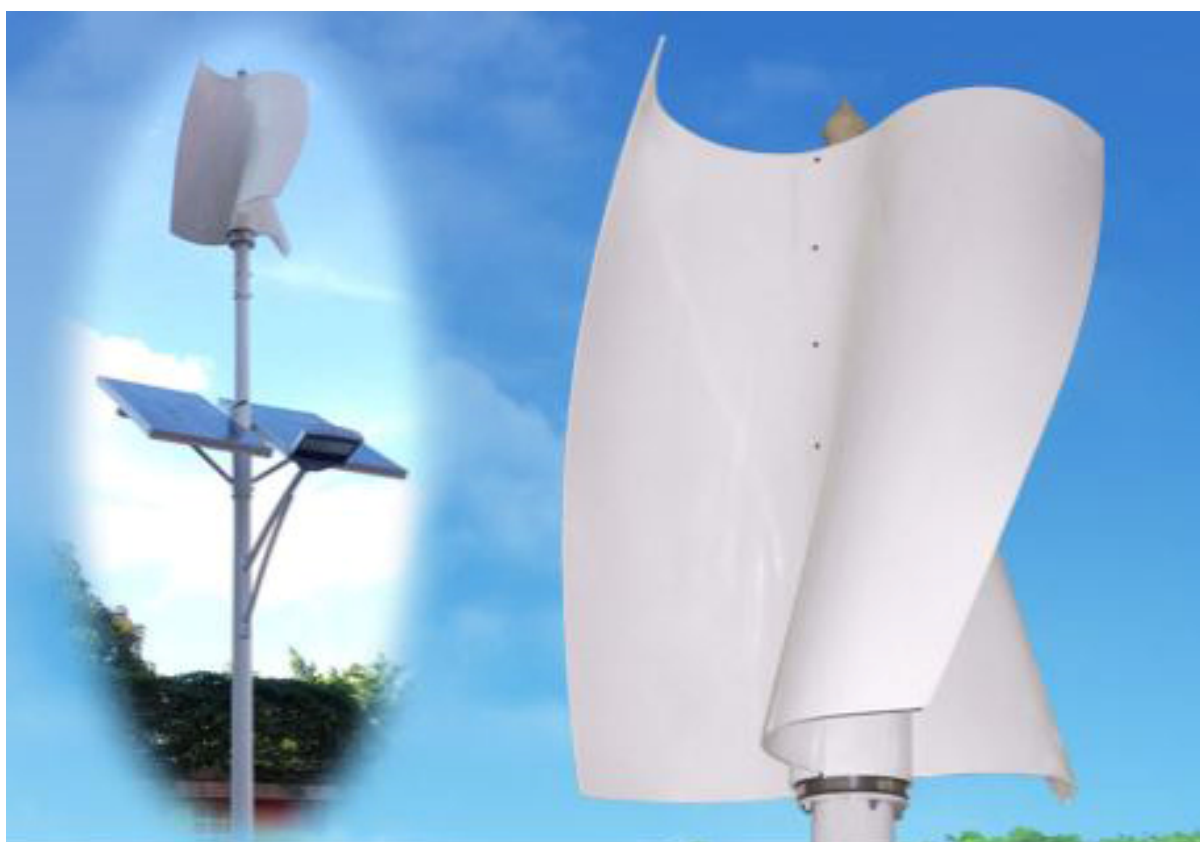


Il. 4.5 Turbina typu V1.8s firmy Hopeful Wind Energy Technology, źródło: <http://www.hopefulenergy.com>, dostęp: 29-08-2017.



RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	ROTOROWE SAVONIUSA ■ KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA

Podstawowymi zaletami turbiny V1.8s są jej estetyka oraz możliwość pracy niezależnie od kierunku wiatru. Ponadto urządzenie posiada wysoką wytrzymałość, którą zapewnia odporny na korozję stop aluminium. Konstrukcja urządzenia zapewnia również, potwierdzoną w testach, wysoką odporność na kurz i piasek. Niezwykle ważne w zabudowie miejskiej są również niski poziom wytworzonego hałasu oraz mała waga (110 kg) jak również niewielki rozmiar turbiny.



Il. 4.6 Turbina typu V1.8s firmy Hopeful Wind Energy Technology, źródło: <http://www.hopefulenergy.com>, dostęp: 29-08-2017.

## Turbina wiatrowa typu Swift

Renewable Devices Swift Turbines Ltd

AeroMarine House, 15 Roslin Glen, Roslin Country Park, Midlothian, EH25 9PX, Scotland, UK

WYMIARY	1,0 m wysokość, 1,0 m średnica
MOC	1,5 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	657 kWh przy 5 m/s, do 2014 kWh przy 7 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	3,4 m/s – 14 m/s
BUDOWA WIRNIKA	włókna węglowe
MONTAŻ NA BUDYNKU	na dowolnej wysokości
MONTAŻ AUTONOMICZNY	brak danych
GWARANCJA	2 lata
KOSZT	około 3,015 £

PRZYKŁADOWE REALIZACJE

World Trade Centre, Amsterdam, Holandia



Il. 4.7 Turbina wiatrowa typu Swift firmy Renewable Devices Swift Turbines Ltd, źródło: <http://renewabledevices.com/wp-content/2013/02/Swift-Montage-2.jpg>, dostęp: 29-08-2017.

RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPLĄTOWE ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	ROTOROWE SAVONIUSA KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA

Aerodynamiczna budowa turbiny zapewnia cichą, bezpieczną i efektywną pracę. Istnieje możliwość instalacji zarówno w systemach sieciowych jak i akumulatorowych. Charakterystycznym elementem urządzenia jest pierścień dyfuzora otaczający łopatki turbiny (mający na celu rozproszenie wirów powietrznych wytwarzanych przez końcówki łopatek). Dodatkowym wyróżnikiem są również tzw. płetwy ogonowe, które służą do ukierunkowywania turbiny na najlepsze warunki wiatrowe (służą również do wyłączania turbin w czasie silnych podmuchów wiatru). Urządzenie charakteryzuje się szerokim zakresem zastosowań ze względu na nieduże rozmiary, niską wagę (52 kg łącznie z rotorem), a także cichą pracę (wytwarzany poziom hałasu nie przekracza 35 dB). Budowę turbiny wyróżniają zastosowane pięciu śmigieł (najczęściej spotykanym rozwiązaniem są turbiny trójśmigłowe), które wzmacniają i usztywniają konstrukcję. Ważnymi atutami turbiny są jej przystępna cena oraz zapewniany przez producenta 20–sto letni czas żywotności.



Il. 4.8 Turbina wiatrowa typu Swift firmy Renewable Devices Swift Turbines Ltd, źródło: <http://renewabledevices.com/wp-content/2013/02/Swift-Montage-2.jpg>, dostęp: 29-08-2017.

## 610V Aeroturbine

Aerotecture International, Inc.

2155 Wolpers Road, Park Forest, Illinois 60466, Stany Zjednoczone

WYMIARY	3,0 m wysokość, 1,83 m średnica
MOC	1,0 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	~ 1500 kWh przy 5 m/s, do ~3000 kWh przy 7 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	2,8 m/s – 14,3 m/s
BUDOWA WIRNIKA	włókna węglowe
MONTAŻ NA BUDYNKU	na dowolnej wysokości
MONTAŻ AUTONOMICZNY	na dowolnej wysokości
GWARANCJA	2 lata
KOSZT	brak danych

PRZYKŁADOWE REALIZACJE

Pepsico/Quaker Oats – Sustainability Center, Stany Zjednoczone  
Harold Washington Social Security Center, Stany Zjednoczone



Il. 4.9 Turbina wiatrowa typu aeroturbine – model 610V, źródło: <http://savonius-balaton.hupont.hu/80/aerotecture-international-inc-chicagousa>, dostęp: 10-08-2017.

RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	ROTOROWE SAVONIUSA ■ KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA

Firma produkująca aeroturbinę 610 V zajmuje się również kompleksowym projektowaniem budynków ekologicznych. Ma to z pewnością duży wpływ na nietypowy wygląd i walory estetyczne urządzenia. Niewątpliwą zaletą turbiny jest także jej cichobieżna praca (natężenie dźwięku na poziomie otoczenia). Dodatkowy plus samej konstrukcji urządzenia stanowi możliwość montażu (a co za tym idzie również pracy) zarówno w pionie, jak i w poziomie. Producent informuje o opcji montażu i pracy turbiny pod dowolnym kątem względem kierunku wiatru. Konstrukcja zapewnia również ograniczenie zagrożenia dla przelatujących ptaków. Rozmiary, niska waga oraz konstrukcja aluminiowego stelaża umożliwiają łatwy demontaż, transport oraz instalację w dowolnej lokalizacji (również na konstrukcjach nie przystosowanych do większych obciążeń typu magazyny, hale produkcyjne, domy mieszkalne). Ciekawym rozwiązaniem jest również proponowana przez producenta możliwość podwieszania turbin np. pod konstrukcjami mostów, czy na ogrodzeniach. Istnieje możliwość zakupu turbin w układach hybrydowych z wmontowanymi panelami fotowoltaicznymi.



Il. 4.10 Turbina wiatrowa typu aeroturbinę – model 610V, źródło: <http://www.jetsongreen.com/2009/06/small-wind-market-grows-78-percent-in-2008.html>, dostęp: 10-08-2017.

## Architectural Wind turbines

AeroVironment

800 Royal Oaks Drive, Suite 210, Monrovia, CA

WYMIARY	1,22 m wysokość, 1,22 m szerokości
MOC	6,0 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	brak danych
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	brak danych
BUDOWA WIRNIKA	brak danych
MONTAŻ NA BUDYNKU	na dowolnej wysokości
MONTAŻ AUTONOMICZNY	brak danych
GWARANCJA	brak danych
KOSZT	6.500-7.500 \$

### PRZYKŁADOWE REALIZACJE

Logan International Airport Office, Boston, Stany  
Zjednoczone  
Kettle Foods Potato Chip factory in Beloit, Wisconsin, Stany  
Zjednoczone



Il. 4.11 Turbina wiatrowa typu Architectural wind, źródło: <http://inhabitat.com/architectural-wind-modular-windturbines/attachment/11665/>, dostęp: 10-08-2017.

RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■
		WIELOPŁATOWE
		ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE
	TYPU TORNADO	
		DARRIEUSA

Turbiny Architectural wind są stworzone do pracy samodzielnej lub w integracji z innymi źródłami energii odnawialnej. Istnieje możliwość montażu zarówno pojedynczego urządzenia, jak i serii połączonych ze sobą turbin. Niezwykle ważny jest atrakcyjny wygląd, który zapewnia pozytywny odbiór estetyczny obiektów zintegrowanych z Architectural wind. Urządzenia wytwarzają hałas o niskim natężeniu oraz nie tworzą drgań, które mogłyby negatywnie wpłynąć na konstrukcję obiektu. Charakterystycznym elementem, dodawanym opcjonalnie do turbin Architectural wind, są osłony przeciw ptakom i nietoperzom. Mają one zmniejszyć ryzyko kontaktu zwierząt z działającą turbiną, co mogłoby zakończyć się okaleczeniem, a nawet śmiercią. Osłony te są niezbędne w szczególności na obszarach intensywnej migracji ptaków i nietoperzy. Od roku 2006 są produkowane na większą skalę. Poza możliwością wyboru mocy i rozmiaru turbiny, producent zapewnia również możliwość doboru kolorystycznego całego zestawu.



Il. 4.12 Turbina wiatrowa typu Architectural wind, źródło: <http://inhabitat.com/architectural-wind-modular-wind-turbines/attachment/11666/>, dostęp: 10-08-2017.

## RB 1 Residential

### The Power Collective

945 Princess St, Suite 112, Kingston, ON K7L 0E9, Kanada

WYMIARY	6,5 m / 0,9 m / 0,55 m
MOC	2,7 kW
ROCZNA WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA	2,6 kWh przy 3,5 m/s, 5,3 kWh przy 5,9 m/s
ZAKRES PRĘDKOŚCI WIATRU	1,3 m/s – 55,0 m/s
BUDOWA WIRNIKA	aluminium
MONTAŻ NA BUDYNKU	wzdłuż kalenicy
MONTAŻ AUTONOMICZNY	brak możliwości
GWARANCJA	7 lat
KOSZT	35 000 pln

#### PRZYKŁADOWE REALIZACJE

Inwestorzy prywatni



Il. 4.13 Turbina wiatrowa RB1 Residential, źródło: <http://www.wiatraki.murat.pl/nk.html>, dostęp: 19-02-2018.



RODZAJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE ■ TYPU TORNADO DARRIEUSA

Konstrukcja turbiny została oparta na rotorze bębnowym o poziomej osi obrotu. Jest rzadko spotykanym rodzajem turbiny wiatrowej. Ridgeblade jest urządzeniem dedykowanym do montażu wzdłuż kalenicy dachu. Taka instalacja zdecydowanie poprawia warunki wietrzne gdyż płaszczyzna pochylonego dachu wzmacnia i kumuluje pęd mas powietrza u jego szczytu. Przy odpowiednim nachyleniu dachu prędkość wiatru przepływającego przez turbinę można zwiększyć nawet trzykrotnie. Atutem turbiny jest możliwość pracy w każdych warunkach terenowych i wietrznych. Ponadto jest cicha, nie tworzy drgań i wibracji. Dedykowana gospodarstwom rolnym, domom jednorodzinny, halom przemysłowym. Istnieje możliwość powiązania turbiny Ridgeblade z innymi urządzeniami wykorzystującymi OZE np. pompami ciepła czy panelami fotowoltaicznymi. Urządzenie może być dopasowane kolorystycznie do materiału wykończeniowego poszycia dachu. Pomimo iż jest dość widocznym elementem instalacji dachowej w niektórych przypadkach może stać się ciekawą alternatywą dla tradycyjnych turbin wiatrowych.



Il. 4.14 Turbina wiatrowa typu RB1 Residential, źródło: <https://ridgeblade.ca/>, dostęp: 19-02-2019.

### IV.3. PROBLEMATYKA ZWIĄZANA Z ZASTOSOWANIEM TECHNOLOGII WIATROWYCH

Do najważniejszych zalet turbin wiatrowych należą:

- brak wytwarzania zanieczyszczeń do atmosfery i gleby,
- odnawialność wyprodukowanej energii oraz niewyczerpalność „surowca”,
- niskie koszty eksploatacji – przy odpowiednim konserwowaniu,
- możliwość zastosowania małych turbin wiatrowych w lokalizacji nie posiadającej prądu sieciowego,
- konkurencyjność ceny wytworzonej energii w porównaniu do tradycyjnych źródeł,
- możliwość działania bezobsługowego.

Różnorodność dostępnych urządzeń i innowacyjność rozwiązań pociąga za sobą jednak wiele problematycznych kwestii związanych z ich użytkowaniem, czy też montażem (Rys. 4.4). Najczęściej dotyczą one konstrukcji budynku, wpływu na środowisko naturalne, oddziaływania pomiędzy obiektem a instalacją wiatrową oraz użytkowania budynku. Ich rozstrzygnięcie często zależy od współpracy interdyscyplinarnej, zaczynającej się już na etapie projektowania i wykonawstwa turbin wiatrowych. Współpraca jest nieodzowna również w trakcie doboru urządzeń wiatrowych i projektowania obiektu budowlanego oraz samej budowy. Wynikiem takiego współdziałania staje się wdrażanie sprawniejszych systemów wiatrowych.



Rys. 4.4 Zestawienie problematyki architektury wiatrowej (opracowanie własne).

Z wielu zagadnień związanych z problematyką technologii wiatrowych w budownictwie możemy wyodrębnić trzy główne grupy:

**1. ODDZIAŁYWANIE NA OBIEKT BUDOWLANY** – związane z wytwarzaniem drgań podczas pracy turbiny. Największe drgania wytwarzają turbiny wielkogabarytowe. Zjawisko to wymusza konieczność zastosowania odpowiednich połączeń turbin z obiektem, które eliminują bądź zmniejszają powstałe drgania. Wytworzone przez turbiny drgania ograniczają również wybór

stosowanych materiałów elewacyjnych. Nie powinno się stosować elewacji ruchomych, które mogłyby w łatwy sposób wejść w rezonans z turbiną i po pewnym czasie ulec uszkodzeniu.

**2. ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO NATURALNE** – którego przykładem może być tak zwany syndrom turbin wiatrowych. Jest to nie potwierdzony naukowo zespół dolegliwości (takich jak zaburzenie i pogorszenie jakości snu, ból głowy, szum w uszach, ciśnienie w uchu, zawroty głowy itp.), które rzekomo mogą występować u osób żyjących w otoczeniu farm wiatrowych i samoistnie ustępować, gdy się od nich oddalają. Można do nich zaliczyć również teorię o nadmiernym ekspozowaniu na infradźwięki (0 – 20 Hz) i hałas niskoczęstotliwościowy (20 – 500 Hz), które mogą prowadzić do rozwoju choroby wibroakustycznej. Ważnym punktem odniesienia może być raport stworzony dla Massachusetts Department of Environmental Protection pod nazwą „Wind Turbine Health Impact Study”, w którym kierując się dotychczasowymi badaniami i raportami naukowymi na temat wpływu elektrowni wiatrowych na zdrowie, stwierdzono brak negatywnych skutków działania na człowieka czynników takich jak hałas pracujących turbin, infradźwięki czy tzw. migotanie łopat. Ważnym aspektem oddziaływania na środowisko naturalne jest również wpływ turbin wiatrowych na zwierzęta min. ptaki i nietoperze. Istnieje możliwość śmiertelnych zderzeń z turbiną, a także negatywnego wpływu na siedliska lęgowe. Jednak w większości przypadków takie zdarzenia nie mają miejsca. Potwierdza to amerykański raport „A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions”<sup>44</sup> z 2005 roku, z którego treści wynika iż zaledwie 0,01% przypadków śmierci ptaków w ciągu roku wynika ze zderzeń z turbinami wiatrowymi (ok. 59% stanowią budynki, 8% samochody). Nie bez znaczenia dla środowiska pozostaje również fakt, iż materiały używane do produkcji turbin wiatrowych nie są ekologiczne i mogą negatywnie oddziaływać na środowisko po zakończeniu użytkowania turbiny.

Przytoczone aspekty negatywnego oddziaływania, choć nie zostały potwierdzone, są przyczyną niechęci do technologii wiatrowych. Dotychczasowe oceny skutków działania turbin wiatrowych na zdrowie człowieka i ich wpływ na środowisko są niewystarczające i dotyczą farm wiatrowych, a nie turbin wykorzystywanych w budownictwie, które mają mniejsze gabaryty, a za to są w bliskim i stałym kontakcie z ludźmi. Fakt ten uzasadnia prowadzenie dalszych badań w tym kierunku.

**3. PROBLEMY KONSTRUKCYJNE** – wynikające z montażu turbin wielkogabarytowych, konstrukcji budynków z którymi są powiązane oraz poprowadzenia instalacji w przypadku koncepcji architektury dynamicznej.

Na wysokości kilkunastu metrów prędkości wiatrów są zróżnicowane. Wywołuje to różne siły działające poprzez tarcie strug powietrza na łopatki wirnika. Występujące na nich nadmiernie zróżnicowane naprężenia lokalne mogą doprowadzić do uszkodzenia turbiny. Dlatego też lokalizacja piasty turbiny na odpowiedniej wysokości i określenie długości łopat wirnika jest podstawowym zadaniem konstrukcyjnym. Wymienione aspekty są niezwykle istotne ze względu na najlepsze dopasowanie rozmiarów siłowni w określonych warunkach wietrznych i terenowych.

Niezwykle ważna w stosowaniu technologii wiatrowych w budownictwie jest akceptacja społeczna. Istnieje wiele propagowanych teorii sugerujących negatywny wpływ turbin wiatrowych – szczególnie na zdrowie i życie człowieka. Często są one nieprawdziwe lub przerysowane i wynikają z braku dostępu do rzetelnych informacji i opracowań. Wysoki poziom akceptacji energetyki wiatrowej potwierdziły w Polsce badania wykonane dla PSEW w 2015 roku<sup>45</sup> (Rys. 4.5, Rys. 4.6). Pokazują one między innymi

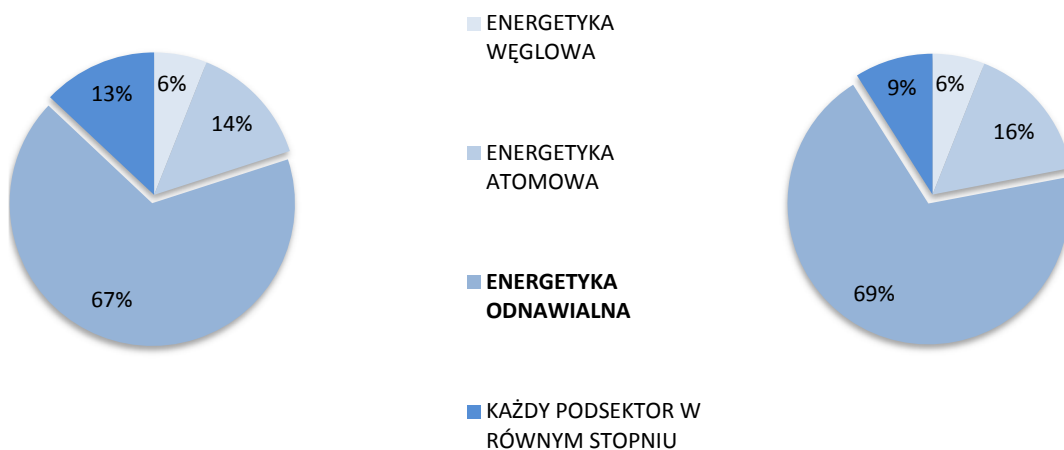
<sup>44</sup>Erickson W., Johnson G., Young D. Jr., „A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions”, USDA Forest Service Gen. Tech., 2005

<sup>45</sup> Badania wykonane przez CBM Indicator. Sondaż przeprowadzony metodą Mixed-mode – CAWI (ankieta on-line) + CATI (wywiad telefoniczny wspomagany komputerowo) w dniach 10 – 26 czerwca 2015 roku na ogólnopolskiej grupie reprezentatywnej ze względu na płeć, wiek, wielkość miejscowości i województwo.

pozytywne nastawienie osób żyjących w pobliżu farm wiatrowych, a więc potencjalnie najbardziej narażonych na ich negatywne działanie. Wyniki tego sondażu pokazują również, iż 89% respondentów uważa, że OZE sprzyjają ochronie środowiska naturalnego, 84% twierdzi, iż ograniczają one zależność od importu energii, a 72% jest zdania że przyczyniają się one do tworzenia nowych miejsc pracy.

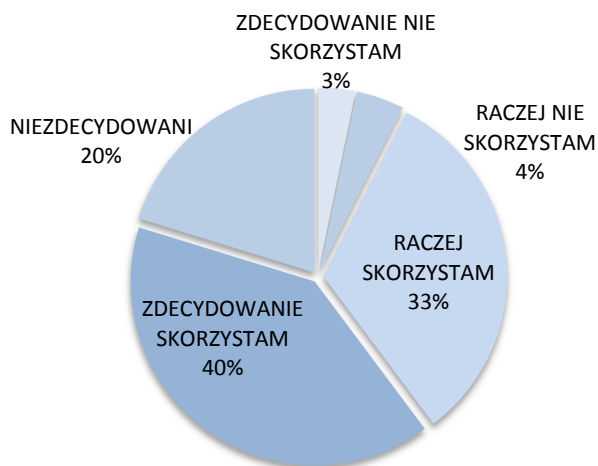
Wszyscy respondenci.

Osoby mieszkające w gminach z elektrownią wiatrową.



Rys. 4.5 Zestawienie wyników ankiety wykonanej przez CBM Indicator dla PSEW. Odpowiedź na pytanie: Który ze sposobów produkcji energii powinien być Twoim zdaniem najbardziej wspierany przez polski rząd? Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, PSEW, s.51

Grupa ankietowanych miała wybrać elektrownię wiatrową jako źródło zasilania elektryczności w swoim domu.



Rys. 4.6 Zestawienie wyników ankiety wykonanej przez CBM Indicator dla PSEW. Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, PSEW, s.52

Ta sama grupa ankietowanych mając do wyboru elektrownię atomową, węglową, biomasową i wiatrową wybrała tę ostatnią w 72% przypadków. Oceniono również farmy wiatrowe jako najbardziej ekologiczne (81% respondentów) i ekonomiczne (67% badanych).

To samo badanie ukazuje, iż 61% ankietowanych uważa za nieprawdziwe twierdzenie o negatywnym oddziaływaniu wiatraków na krajobraz pod względem estetycznym oraz o obniżeniu atrakcyjności turystycznej najbliższych okolic elektrowni wiatrowych (54%). Ponad 40% badanych obawia się natomiast uciążliwego hałasu generowanego przez pracujące turbiny. Podobny wynik uzyskano odnośnie obaw przed infradźwiękami. Jednak pomimo niektórych obaw (często nieuzasadnionych) prawie dwie trzecie ankietowanych jest zdania, iż energetyka wiatrowa jest bezpieczna i korzystna dla środowiska.

Badania te, mimo iż zostały przeprowadzone pod kątem farm wiatrowych, dobrze obrazują nastroje społeczeństwa w odniesieniu do energetyki wiatrowej. Z powodu braku takich badań pod kątem energetyki wiatrowej zintegrowanej z architekturą, możemy się posiłkować istniejącymi opracowaniami z zakresu szeroko pojętej energetyki wiatrowej. Daje nam to pogląd na sytuację, jaka mogłaby zaistnieć w przypadku pojawienia się licznych realizacji budynków połączonych z turbinami wiatrowymi. Prognozy są obiecujące.

Pomimo iż turbiny wiatrowe zintegrowane z budynkami pojawiają się coraz częściej, stając się jednym ze standardowych rozwiązań OZE, są liczne przypadki realizacji w których integracja ta się nie udała. Mamy liczne przykłady budynków, w których po czasie użytkowania zdecydowano o zmianie turbin wiatrowych, wyłączeniu, a nawet ich usunięciu.

Jednym z przykładów jest obiekt San Francisco Public Utilities Commission Headquarters<sup>46</sup>. Zainstalowane w nim turbiny wiatrowe nie działają zgodnie z założeniami projektantów pomimo specjalnego ukształtowania elewacji mającego wzmocnić siłę wiatru. Być może powodem jest ażurowa ściana osłonowa będąca jednocześnie artystyczną instalacją o tematyce wiatrowej. Przykład ten obrazuje, jak precyzyjne powinny być badania wiatrowe przeprowadzane w trakcie projektowania budynków zintegrowanych z turbinami wiatrowymi. Szczególnie w środowisku miejskim, gdzie zabudowa jest dość gęsta. Każdy sąsiedni budynek, aleja, a w szczególności kształtowanie bryły która ma zostać zintegrowana z turbinami, mają bardzo znaczący wpływ na ruchy i natężenie wiatru, a co za tym idzie na efektywność turbiny.

Kolejnym przykładem realizacji, która nie pokryła się z założeniami projektantów jest Council House 2<sup>47</sup> w Melbourne w Australii. Jaskrawo żółte turbiny wiatrowe umieszczone na dachu w większej mierze służą manifestacji zaangażowania rządu w zrównoważony rozwój niż rzeczywistej produkcji energii.

Budynkiem, który również nie realizuje projektu integracji z turbinami jest biurowiec Hess Tower<sup>48</sup> w Houston w Stanach Zjednoczonych. Z powodów wadliwej konstrukcji jedna z turbin spadła z dachu wieżowca. Na szczęście nikt nie ucierpiał natomiast konsekwencją tego wypadku było zdemontowanie z obiektu pozostałych turbin wiatrowych.

Również techniczne problemy mają projektanci słynnego Strata SE1<sup>49</sup> w Londynie w Anglii. W czasie użytkowania okazało się, że zainstalowane turbiny wytwarzają na tyle duży hałas, że muszą być wyłączane w czasie pracy osób zatrudnionych w biurowcu. Takie rozwiązanie znacznie obniża możliwości wytwarzania energii przez turbiny, co stawia pod znakiem zapytania ich celowość w tym projekcie.

Najczęstszym powodem zawodności instalacji turbin wiatrowych połączonych z budynkami jest zły dobór urządzeń oraz nieodpowiednie kształtowanie obiektu. Podczas przepływu wiatru tarcie o ziemię oraz obiekty znajdujące się w najbliższym otoczeniu powoduje turbulencje, które spowalniają przepływ powietrza. Badania przeprowadzane dla dużych elektrowni wiatrowych umieszczanych na otwartych przestrzeniach mogą w bardzo dokładnym stopniu określić warunki wietrzne. Podobnie jest w przypadku wysokich budynków posiadających turbiny wiatrowe na wysokościach znacznie

---

<sup>46</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.134

<sup>47</sup> *Ibidem*, s.120

<sup>48</sup> *Ibidem*, s.132

<sup>49</sup> *Ibidem*, s.100

przewyższających otaczającą zabudowę. Natomiast w przypadku obiektów połączonych z turbinami o mniejszej mocy, będących w otoczeniu ścisłej zabudowy miejskiej, znacznie ciężiej przewidzieć ruchy mas powietrza. Składają się na nie liczne czynniki takie jak wysokości otaczających budynków, samochody i drogi które wytwarzają cienie utrudniające laminarny przepływ wiatru.

Nierzadko zarzuca się, że turbiny wiatrowe produkują za mało energii, a ich duży koszt sprawia, że są one nieopłacalne. Niezwykle ważnym elementem szacowania czasu zwrotu turbiny jest zapoznanie się z jej krzywą mocy. Producenci często zapewniają, że dana turbina rozpoczyna prace przy prędkości zalewnie 10 km/h, natomiast rzadko kiedy osiąga ona swoją moc znamionową, która może wynosić ok. 50 km/h. W takim przypadku turbina nie jest w stanie wytworzyć mocy zapewnianej przez producenta. Podstawowa różnica pomiędzy dużymi turbinami przemysłowymi a tymi małymi, zintegrowanym z budynkami, polega na poziomie instalacji. Te pierwsze są umieszczone na wysokich masztach (dodatkowo na otwartej przestrzeni) gdzie prędkości wiatru są odpowiednio duże, a jego przepływ niezakłócony. Ponadto duże, wolnostojące elektrownie wiatrowe posiadają długie łopaty śmigieł. Ponieważ ilość mocy wytwarzanej przez turbinę jest zależna od „obszaru przetaczania” łopat wirnika, im dłuższe skrzydła tym znacznie większa wytworzona moc. Na wydłużanie śmigieł nie mogą sobie jednak pozwolić konstruktorzy turbin miejskich, które z założenia muszą być mniejsze gabarytowo między innymi z uwagi na skalę miasta, montaż w obiekcie, wytwarzane drgania czy też hałas.

Należy jednak pamiętać, że turbiny wiatrowe zintegrowane z budynkami mogą nieść ze sobą znacznie więcej korzyści niż tylko produkcja energii. Oczywiście jest to ich główne przeznaczenie. Natomiast nader często obserwujemy obiekty posiadające turbiny wiatrowe, które nie produkują wystarczających ilości energii by stać się opłacalnymi. Jednakże spełniają inne zamierzenia. W niektórych przypadkach są to cele informacyjno–edukacyjne jak w budynku Global Institute of Sustainability<sup>50</sup> (gdzie równocześnie turbiny są dość efektywne energetycznie). W takiej okoliczności urządzenia służą zarówno zbieraniu informacji na temat pracy turbin w warunkach miejskich jak również są częścią wielu prac badawczych. Coraz częściej turbiny wiatrowe stają się również innowacyjnym dodatkiem dla obiektów ubiegających się o certyfikację energetyczną (np. LEED), która nie tylko określa standard danego budynku, ale również podnosi jego renomę, przez co staje się coraz bardziej pożądana u inwestorów.

Chęć uzyskania przez inwestorów i projektantów jak najwyższej oceny w certyfikacji niesie za sobą ryzyko umieszczania w projektach turbin wiatrowych bez względu na ich faktyczną opłacalność w danym przypadku. Skutkuje to często nietrafionymi realizacjami w których turbiny wytwarzają znikome ilości energii, a ich koszt jest nieadekwatnie wysoki.

Zdarzają się ponadto realizacje, w których turbiny zostają zainstalowane w celach reklamowych, promocyjnych, a nawet są częścią instalacji artystycznych. Turbiny wiatrowe instalowane w przypadkach wymienionych powyżej mogą nie produkować wystarczających ilości energii aby były opłacalne, jednakże mają potencjał zainspirowania użytkowników, architektów, naukowców czy inwestorów do angażowania się w rozwój zrównoważony poprzez wspieranie OZE.

---

<sup>50</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.128

## V. WPŁYW ENERGII WIATROWEJ NA KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY

Stale zwiększająca się ilość mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych na świecie świadczy jednoznacznie o potencjale energetycznym technologii wiatrowych. Przemawia to za aplikacją tych technologii w budownictwie (w tym także w zabudowie miejskiej), gdzie zapotrzebowanie na energię jest największe i stale wzrasta. Dodatkową motywacją do wdrażania architektury wiatrowej jest wzrastający popyt na budynki samowystarczalne. Łączenie funkcji mieszkalnych, biurowych czy usługowych z wytwarzaniem energii wpisuje się więc zarówno w oczekiwania inwestorów jak i najnowsze światowe standardy architektoniczne. Ponadto zapotrzebowanie na obiekty zintegrowane z urządzeniami wytwarzającymi energię ekologiczną pokazuje wzrastająca liczba budynków z certyfikatami LEED, DGNB czy też BREEAM. Ponadto technologie wiatrowe są coraz częściej integrowane z obiektami istniejącymi w celu polepszenia ich bilansu energetycznego.

Ze względu na swoją specyfikę, kształtowanie struktury architektonicznej oraz funkcji obiektów mających pozyskiwać energię ze źródeł odnawialnych powinno uwzględniać:

- pozyskiwanie energii z otoczenia – prawidłowe usytuowanie i budowa obiektu oraz właściwy dobór urządzeń wytwarzających energię z OZE,
- akumulację pozyskanej energii – poprzez zastosowanie akumulatorów lub podłączenie do sieci publicznej (aby odesłać nadmiar wyprodukowanej energii lub pobrać energię w razie jej niedoboru),
- sterowanie energią – (np. sprzedaż nadmiaru energii do sieci krajowej) warto, aby siłownia wiatrowa miała możliwość podłączenia do publicznej sieci energetycznej.

Przedstawione powyżej punkty dotyczą wszystkich budynków posiadających instalacje wytwarzające prąd ze źródeł odnawialnych. Najpopularniejsze są obecnie obiekty wykorzystujące energię słoneczną. Architektura solarna jest dość dobrze znana i zdefiniowana. Warto również zdefiniować podstawowe aspekty kształtowania architektury powiązanej z turbinami wiatrowymi.

### V.1. KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY WIATROWEJ W ODNIESIENIU DO TRADYCYJNEJ

Do podstawowych etapów każdego projektu architektonicznego należą:

1. wybór lokalizacji,
2. funkcja – określenie typu obiektu (jego przeznaczenia) oraz sporządzenie zapotrzebowania funkcjonalnego,
3. usytuowanie budynku na działce,
4. stworzenie projektu bryły oraz rzutów odpowiadających wcześniej ustalonemu zapotrzebowaniu funkcjonalnemu,
5. projekt detali architektonicznych charakterystycznych dla danego obiektu.

Podczas wyżej wymienionego procesu projektowego klaruje się architektura obiektu. Zostają określone (wynikające z powyższych podpunktów) parametry techniczne, kubatura, sposób kształtowania bryły, a także jego estetyka. Wynika ona z wizji architekta lecz po części jest również wypadkową takich aspektów jak wybór lokalizacji, określenie funkcji czy też projekty niezbędnych detali.

Architektura wiatrowa różni się jednak zasadniczo od tradycyjnej. Projektant musi rozpatrywać warunki wietrzne na danym terenie oraz dobór i sposób połączenia z obiektem odpowiednich turbin wiatrowych. Dlatego też niezbędna jest analiza oddziaływania wiatru na obiekty budowlane,

a w szczególności te, które mają wykorzystywać jego siłę. Taka analiza pozwala w najlepszy sposób kształtować obiekt tak, by pozyskiwanie przez niego energii było najefektywniejsze. Poniżej zostały opisane podstawowe etapy projektowe w kontekście architektury wiatrowej:

**1. WYBÓR LOKALIZACJI** – ważnym aspektem są cykle pogodowe oraz ruchy mas powietrza w danej lokalizacji. Jest to najważniejszy punkt w procesie projektowania budynku mającego korzystać z turbin wiatrowych. Niezbędna jest analiza warunków wietrzności na danym obszarze. Już na tym etapie zostaje dokonana częściowa selekcja turbin wiatrowych, które zostaną użyte w projekcie. W sytuacji, gdy projektujemy na terenie charakteryzującym się występowaniem częstych wiatrów o dużej prędkości wybierzemy inne turbiny niż gdyby w danej lokalizacji przeważały np. przepływy wiatru o średniej prędkości. Korzystne jest usytuowanie budynku na wzniesieniu, ponad otaczającą zabudowę lub na terenie płaskim pozbawionym zabudowań. Takie ograniczenie szorstkości terenu pozytywnie wpłynie na efektywność instalacji wiatrowej. Architektura tradycyjna jest lokalizowana zazwyczaj w terenie umożliwiającym nasłonecznienie bryły od strony południowej oraz izolującym budynek przed chłodnymi wiatrami poprzez topografię terenu, wysoką roślinność lub zabudowę sąsiadującą. W ścisłej zabudowie dużą uwagę przykładana się do projektowania nowych budynków tak, aby nie uniemożliwić właściwego przewietrzania. Planowanie architektury niezintegrowanej z turbinami wiatrowymi wymaga rozmieszczenia poszczególnych budynków oraz ich skupiska w taki sposób, by uniemożliwić powstawanie silnych prądów cyrkulacyjnych wychładzających budynki, wysuszających glebę oraz tworzących nadmierne przewietrzanie. Natomiast w przypadku architektury wiatrowej często nowopowstałe obiekty wykorzystują prądy powietrzne utworzone przez ukształtowanie tkanki miejskiej.

**2. FUNKCJA** – określenie typu obiektu (jego przeznaczenia) oraz sporządzenie zapotrzebowania funkcjonalnego – w tej kwestii projektowanie architektury wiatrowej zasadniczo nie różni się od projektowania architektury tradycyjnej. Na tym etapie należy jedynie wziąć pod uwagę rozmieszczenie urządzeń wiatrowych oraz zapotrzebowanie na pomieszczenia towarzyszące (jeśli są one potrzebne do obsługi turbin – co ma miejsce zazwyczaj przy turbinach o dużej mocy). Siłownie wiatrowe o dużej mocy ze względu na swoje gabaryty wytwarzają znaczące dla budynku drgania i hałas. Dotyczy to w szczególności turbin śmigłowych turbin HAWT. Jeśli projektanci chcą powiązać obiekt z taką turbiną, powinni wziąć pod uwagę nie tylko odpowiedni sposób montażu (który minimalizowałby drgania przenoszone z turbiny na budynek), ale również rozmieszczenie i funkcje pomieszczeń znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie turbiny. Brak prawidłowego rozmieszczenia pomieszczeń w stosunku do turbin może skutkować powstaniem budynku, który nie będzie spełniał swojej funkcji. Stało się tak np. w wieżowcu Strata SE1<sup>51</sup> w Londynie, gdzie hałas wytwarzany przez turbiny wiatrowe był na tyle uciążliwy dla pomieszczeń biurowych usytuowanych na najwyższych piętrach, że zdecydowano o wyłączeniu turbin na czas pracy osób znajdujących się w obiekcie. Takie wyłączenie urządzeń na kilka godzin dziennie przynosi duże straty finansowe i kwestionuje słuszność instalacji turbin w obiekcie.

**3. USYTUOWANIE BUDYNKU NA DZIAŁCE** – właściwa orientacja bryły budynku względem kierunku przeważających wiatrów. Niezbędne jest takie ułożenie obiektu, aby umożliwić najefektywniejszą pracę turbin wiatrowych. Na tym etapie projektowym również wiele zależy od wyboru siłowni wiatrowych. Jeżeli projektowany jest budynek, w którym mają być zainstalowane turbiny typu HAWT skierowanie ich, a tym samym bryły budynku w kierunku przeważających wiatrów jest niezbędne. Natomiast jeśli architekt bierze pod uwagę siłownie o konstrukcji VAWT kierunek wiatru nie jest już kwestią priorytetową (o ile turbiny są instalowane na najwyższym punkcie obiektu). Jeśli turbiny mają

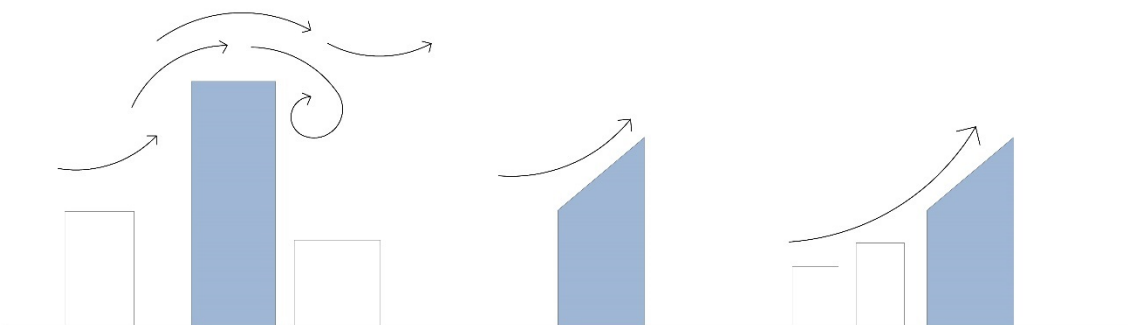
---

<sup>51</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.100  
80



być instalowane na jednej z elewacji lub pomiędzy bryłami budynku jego ekspozycja na wiatr jest kwestią zasadniczą bez względu na rodzaj wybranych urządzeń.

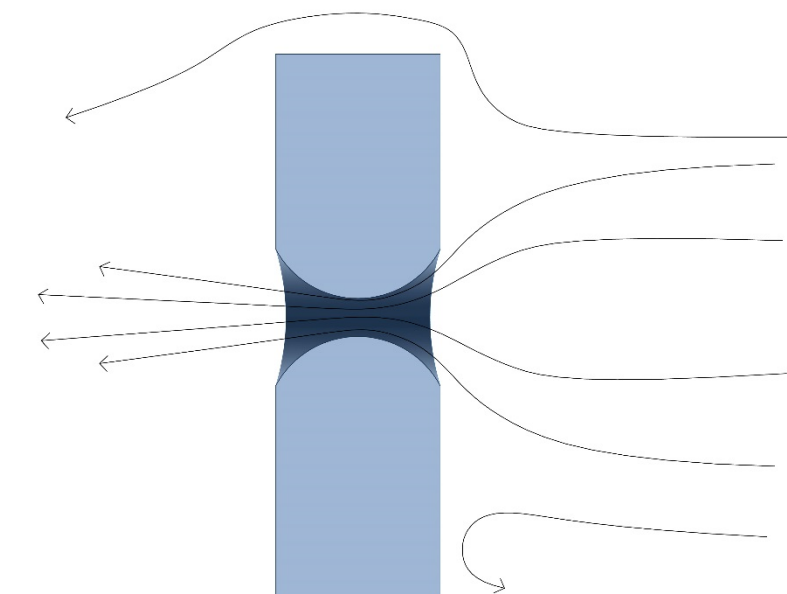
4. **BRYŁA** – stworzenie projektu bryły oraz rzutów odpowiadających wcześniej ustalonemu zapotrzebowaniu funkcjonalnemu – w przypadku architektury wiatrowej właściwsze jest kształtowanie obiektu wertykalnie (tak, aby turbiny wiatrowe znajdowały się jak najwyżej nad terenem, gdzie wiatry są silniejsze), niż horyzontalnie (co również nie jest błędem, a w dużej mierze zależy od warunków lokalizacyjnych i klimatycznych). Ważna jest również właściwa lokalizacja urządzeń wiatrowych tj. umieszczenie ich w miejscu, w którym jest brak, bądź są ograniczone do minimum przeszkody hamujące swobodny przepływ powietrza (inne obiekty budowlane, drzewa itp.), a także brak jest ograniczeń funkcjonalnych (przeciwwskazań wynikających min. z wytwarzania hałasu). Parametry przestrzenne budynków powinny być kształtowane w sposób umożliwiający optymalne formowanie bryły, tak aby najkorzystniej jak to możliwe wpływała na pracę turbin wiatrowych. Najwłaściwsze kształtowanie budynku zintegrowanego z turbinami wiatrowymi występuje wtedy, gdy bryła swoim kształtem dodatkowo wzmacnia pęd powietrza nacierającego na turbiny (Rys. 5.1). Dzieje się tak w przypadku, gdy elewacja lub dach od strony nawietrznej są pochylone umożliwiając swobodny przepływ wiatru w stronę szczytu budynku (gdzie najkorzystniej jest przy takim kształtowaniu umieścić turbiny). Do poprawnych rozwiązań należy również projektowanie obiektów znacznie przewyższających otaczającą zabudowę oraz obiektów górujących gradacyjnie nad zabudową. W niniejszej pracy został przedstawiony przebieg i wyniki badania modelowego opisującego wpływ kształtu budynku na najkorzystniejszą lokalizację turbin wiatrowych<sup>52</sup>.



Rys. 5.1 Przykłady korzystnych, pod względem przepływów powietrza, rozwiązań kształtowania bryły budynku w zabudowie miejskiej (opracowanie własne).

Takie kształtowanie bryły jest charakterystyczne dla architektury wiatrowej i dotyczy nie tylko wertykalnego modelowania obiektu. Na przepływy mas powietrza ma również wpływ układ elewacji, jej nachylenie, przekroje budynku a nawet perforacje występujące w fasadzie (Rys. 5.2).

<sup>52</sup> V.2. BADANIA MODELOWE WPŁYWU KSZTAŁTU BRYŁY BUDYNKU NA NAJKORZYSTNIEJSZĄ LOKALIZACJĘ TURBIN WIATROWYCH ORAZ ICH EFEKTYWNOŚĆ, s. 83



Rys. 5.2 Schemat przepływu wiatru w obrębie budynku i przez tunele, w których zostały umieszczone turbiny wiatrowe. Rozwiązanie zastosowane w Pearl River Tower, Guangzhou, Chiny (opracowanie własne).

5. **DETAL** – Projekt detali architektonicznych charakterystycznych dla danego obiektu. Historycznie detal był traktowany w architekturze jako element dodany, ornament. Modernizm wprowadził czyste, proste formy pozbawione ornamentu. Obecnie detal architektoniczny stanowi integralną część architektury, niezbędne wykończenie bryły. Niejednokrotnie są to ciekawe materiały wykończeniowe elewacji, małe formy użyteczne takie jak zadaszenia czy łamacze światła, a także elementy instalacji technicznych. W przypadku architektury wiatrowej same turbiny stają się często detalem i elementem wiodącym w estetyce danego budynku. Budują architekturę będąc jednocześnie wizualną manifestacją ekologicznego podejścia do projektu. Spośród wielu projektów budynków z zainstalowanymi turbinami wiatrowymi można wyodrębnić trzy podstawowe formy detalu charakterystycznego dla architektury wiatrowej<sup>53</sup>:

- ciąg równorzędnych turbin tworzących zwieńczenie na dachu lub elewacji budynku,
- elementy lekkich przekryć i osłon maskujących turbiny,
- pojedyncze turbiny o ciekawej budowie i konstrukcji mocującej je do obiektu.

6. **DOBÓR INSTALACJI OZE** – wybór odpowiednich turbin wiatrowych zaczyna się już na początku procesu projektowania i może zostać sprecyzowany na etapie końcowym. Dotyczy on takich aspektów jak:

- dopasowanie turbin do warunków wietrznych jakie panują w danej lokalizacji – jest związane z zakresem prędkości wiatru w jakim pracuje dane urządzenie),
- ustalenie zapotrzebowania obiektu na energię oraz oczekiwań inwestora co do ilości energii, która ma zostać wyprodukowana – definiuje ilość turbin wiatrowych,
- wybór najlepszego miejsca instalacji turbin na obiekcie – w znacznym stopniu wynikający z kształtowania bryły i usytuowania jej na działce,
- dobór turbiny pod względem estetycznym – wielkość, kształt, kolor itp.,
- zaopatrzenie budynku w urządzenia służące akumulacji i sterowaniu energią.

<sup>53</sup> W pracy zagadnienie detalu w architekturze wiatrowej zostało szerzej przedstawione w rozdziale V.6. WNIOSKI s. 176

Poza przedstawionymi powyżej, etapami projektowania w kontekście architektury wiatrowej, niezbędne jest zapewnienie istniejącym już obiektom warunków wietrznych, w których zostały one projektowane. Oznacza to zapewnienie odpowiednich zapisów w planach miejscowych, które uniemożliwiłyby budynkom nowoprojektowanym pogorszenie warunków wietrznych wokół istniejących obiektów powiązanych z turbinami wiatrowymi. Odpowiednie zapisy dotyczące konieczności przeprowadzenia analiz warunków wiatrowych powinny zabezpieczyć efektywność istniejących realizacji.

## V.2. BADANIA MODELOWE WPŁYWU KSZTAŁTU BRYŁY BUDYNKU NA NAJKORZYSTNIEJSZĄ LOKALIZACJĘ TURBIN WIATROWYCH ORAZ ICH EFEKTYWNOŚĆ<sup>54</sup>

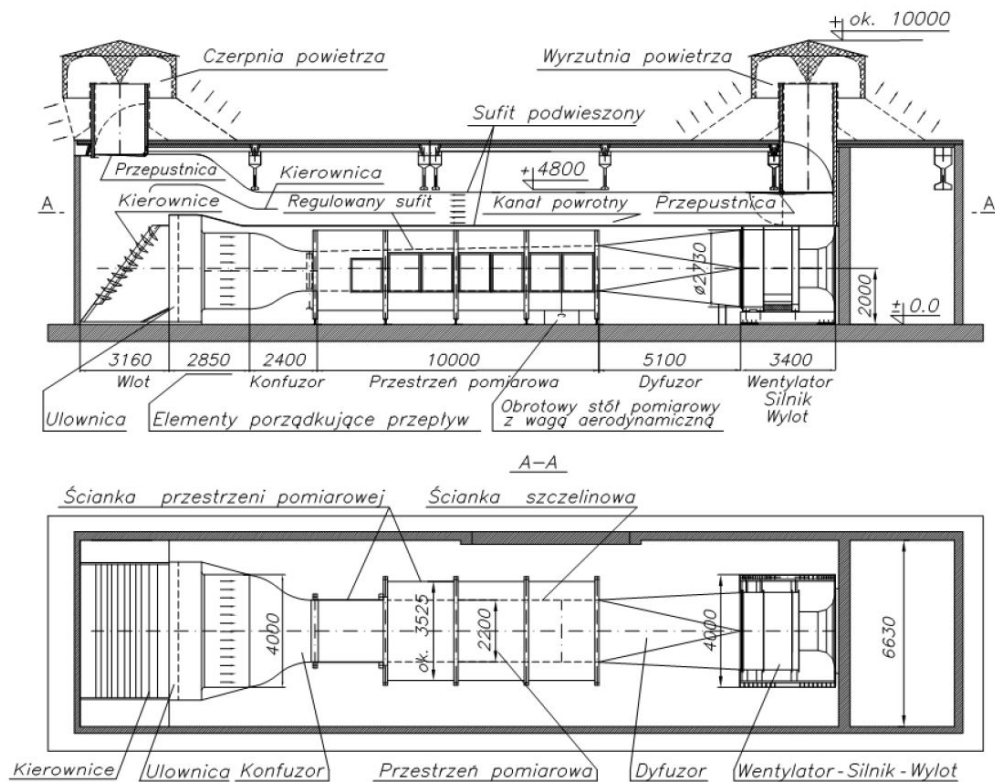
Rozdział przedstawia przebieg oraz wyniki badania przeprowadzonego przez zespół autorski w składzie: prof. dr hab. inż. Andrzej Flaga, dr inż. arch. Łukasz Flaga oraz mgr inż. Piotr Krajewski pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Andrzeja Flagi. Pomiary wykonane zostały w tunelu aerodynamicznym Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej (LIW PK). Badanie miało na celu określenie najkorzystniejszego kształtu bryły budynku oraz najlepszej lokalizacji turbin wiatrowych z perspektywy przepływów wiatru i ich turbulencji. Do doświadczenia wykorzystano cztery proste bryły posiadające tę samą objętość lecz znacznie różniące się kształtem. Wykonano pomiary prędkości wiatru w wybranych punktach wokół modeli budynków. Zleceniodawcą doświadczenia był Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej w imieniu autorki pracy doktorskiej, która opracowała przebieg doświadczenia.

### V.2.1. Metoda badawcza i aparatura pomiarowa

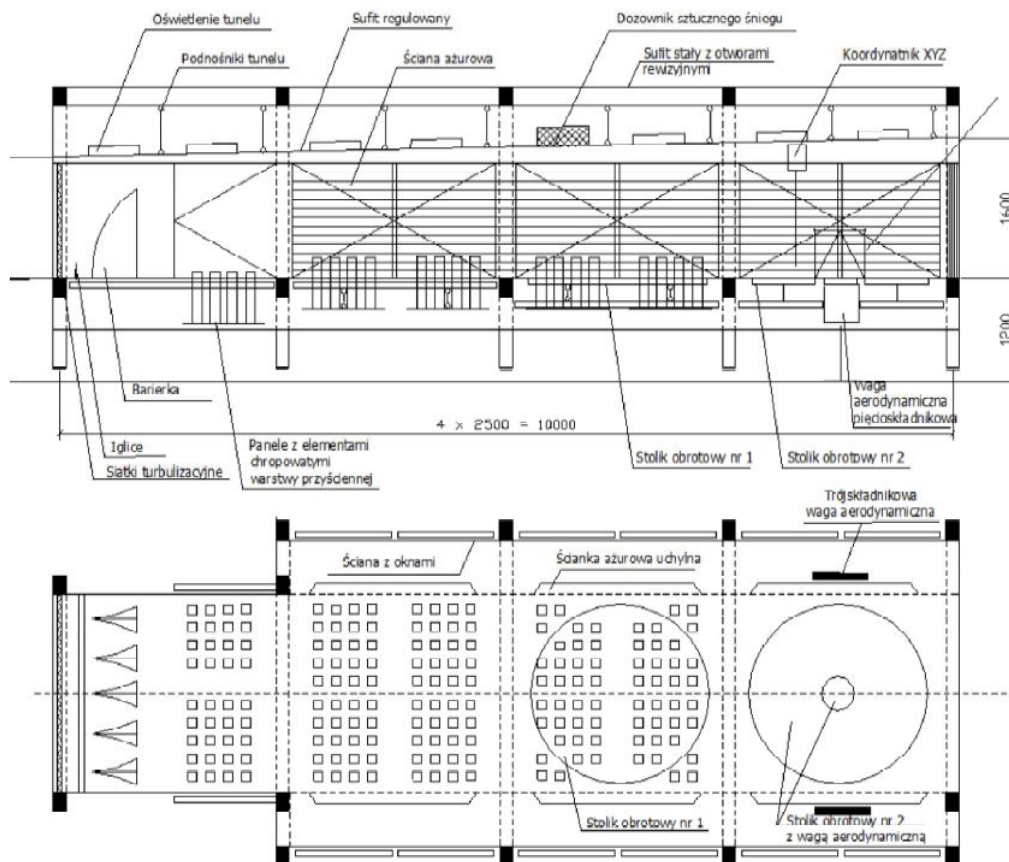
Tunel aerodynamiczny będący w posiadaniu LIW PK posiada obieg mieszany (Rys. 5.3). Przedmiotowe badanie zostało przeprowadzone w obiegu zamkniętym. Przestrzeń pomiarowa w tunelu wynosi 2,20 m szerokości, 1,40 m do 1,60 m wysokości oraz 10 m długości. Urządzenie posiada możliwość formowania prędkości średniej wiatru i turbulencji, które odbywa się na początku przestrzeni pomiarowej. Służą do tego odpowiednie siatki turbulizacyjne, bariery, iglice oraz klocki o zróżnicowanej geometrii i rozstawie, a także regulowanej mechanicznie wysokości. Przestrzeń pomiarowa składa się z czterech segmentów, z których każdy ma 2,50 m długości (Rys. 5.4). W trzecim i czwartym segmencie znajdują się dwa okrągłe, obrotowe stoliki pomiarowe o średnicy 2 m. Wewnątrz tunelu znajduje się pozycjoner (koordynatnik) służący do mocowania sond pomiarowych. Sterowanie wysokością sufitu wewnątrz przestrzeni wymiarowej daje możliwość kontroli ciśnienia statycznego w przestrzeni pomiarowej. Przedstawiony tunel aerodynamiczny może pracować na otwartym lub zamkniętym obiegu powietrza i osiągać przepływ w przestrzeni pomiarowej  $v_{\max} = 40$  m/s.

---

<sup>54</sup> Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., *op.cit.*

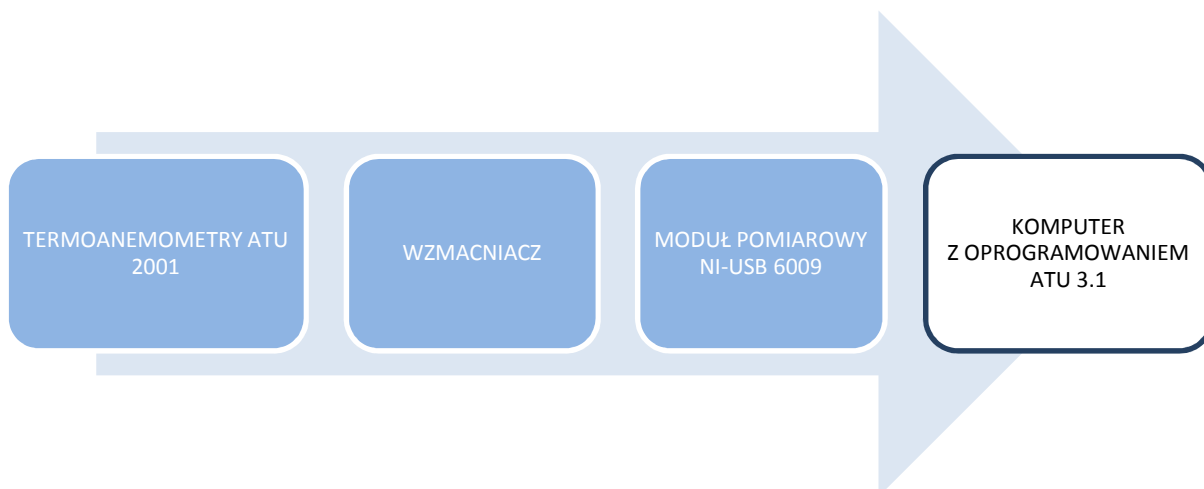


Rys. 5.3 Widok tunelu z boku i z góry. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.4.



Rys. 5.4 Widok przestrzeni pomiarowej z boku i z góry. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.4.

Do wykonania opisywanego doświadczenia został użyty termooanemometryczny system pomiarowy (Rys. 5.5). Służy on do akwizycji oraz wizualizacji danych pomiarowych z termooanemometrów ATU2001, współpracujących z wielofunkcyjnym modułem akwizycji danych firmy National Instruments NI-USB 6009.



Rys. 5.5 Schemat ideowy termooanemometrycznego systemu pomiarowego. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.5.

Podstawowe oznaczenia parametrów i ich przyjęte wartości liczbowe stosowane w dalszych rozważaniach i obliczeniach zestawiono w tabelach (Tab. 5.1, Tab. 5.2).

NAZWA	SYMBOL	WARTOŚĆ
GĘSTOŚĆ POWIETRZA	$\rho$	1.205 [kg/m <sup>3</sup> ]
TEMPERATURA OTOCZENIA	t	20.0 [°C]
WYSOKOŚĆ ODNIESIENIA	$z_{ref}$	0.3 [m]
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA	$v = v(z_{ref})$	10 [m/s]
WSPÓŁCZYNNIK LEPKOŚCI DYNAMICZNEJ	$\mu$	1.8369247 * 10 <sup>-5</sup> [Pa*s]

Tab. 5.1 Oznaczenia podstawowych wielkości fizycznych i przyjęte ich wartości liczbowe: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.6.

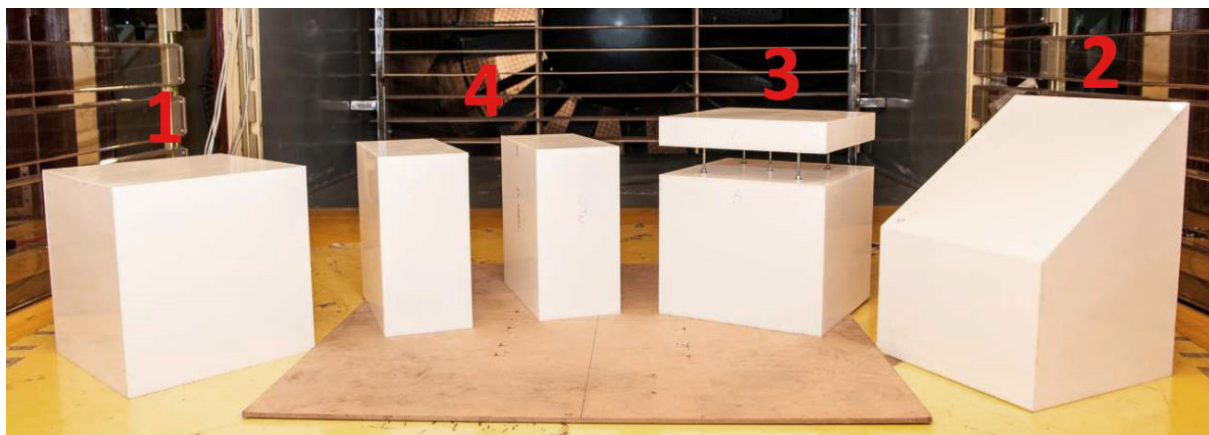
NAZWA	SYMBOL/WZÓR
TURBULENCJA WIATRU	$I_v = \frac{\sigma_v}{v}$
PROFIL WIATRU (ZGODNIE Z PN-77/B-02011, 1997)	$v(z) = v(z_{ref}) \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^\alpha$
WARTOŚCI WYKŁADNIKA $\alpha$ I WYSOKOŚCI WIATRU GRADIENTOWEGO PRZYJĘTO ZGODNIE Z (PN-77/B-02011, 1997)	
A – TEREN OTWARTY Z NIELICZNYMI PRZESZKODAMI	$\alpha = 0,14$
B – TEREN ZABUDOWANY PRZY WYSOKOŚCI BUDYNKÓW DO 10 M LUB ZALESIONY	$\alpha = 0,19$
C – TEREN ZABUDOWANY PRZY WYSOKOŚCI BUDYNKÓW POWYŻEJ 10 M	$\alpha = 0,24$

GDZIE:  $\sigma_v$  – ODCHYLENIE STANDARDOWE PRĘDKOŚCI WIATRU,  $v$  – ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ WIATRU,  $\alpha$  – WYKŁADNIK POTĘGI ZALEŻNY PRZEDE WSZYSTKIM OD UKSZTAŁTOWANIA TERENU I JEGO CHROPOWATOŚCI,  $z$  – WYSOKOŚĆ NAD TERENEM

Tab. 5.2 Oznaczenia i wzory pozostałych wielkości fizycznych: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.6.

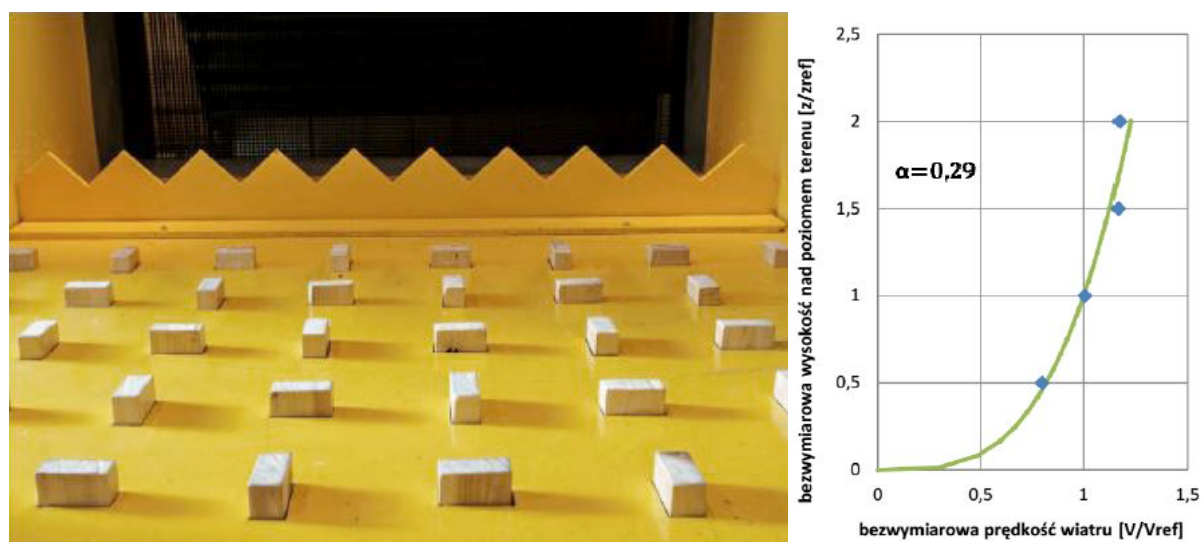
## V.2.2. Przebieg doświadczenia

Przeprowadzone badania polegały na pomiarach prędkości wiatru w wybranych punktach na powierzchni każdej z czterech brył (Il. 5.1). Końcowa analiza wyników badań zakładała ustalenie najlepszych miejsc (spośród wybranych lokalizacji), na powierzchni budynków, do montażu małych siłowni wiatrowych. Kształty oraz skala modeli zostały określone przez autorkę pracy. Dobrano je tak, aby każda reprezentowała skrajnie różny przykład formy budynku, który mógłby być zintegrowany z turbinami wiatrowymi. Jednocześnie wszystkie bryły posiadają wspólny mianownik w postaci tej samej skali i objętości, co pozwala w sposób szacunkowy wyłonić kształt budynku, który najkorzystniej mógłby wpłynąć na efektywność turbin wiatrowych.

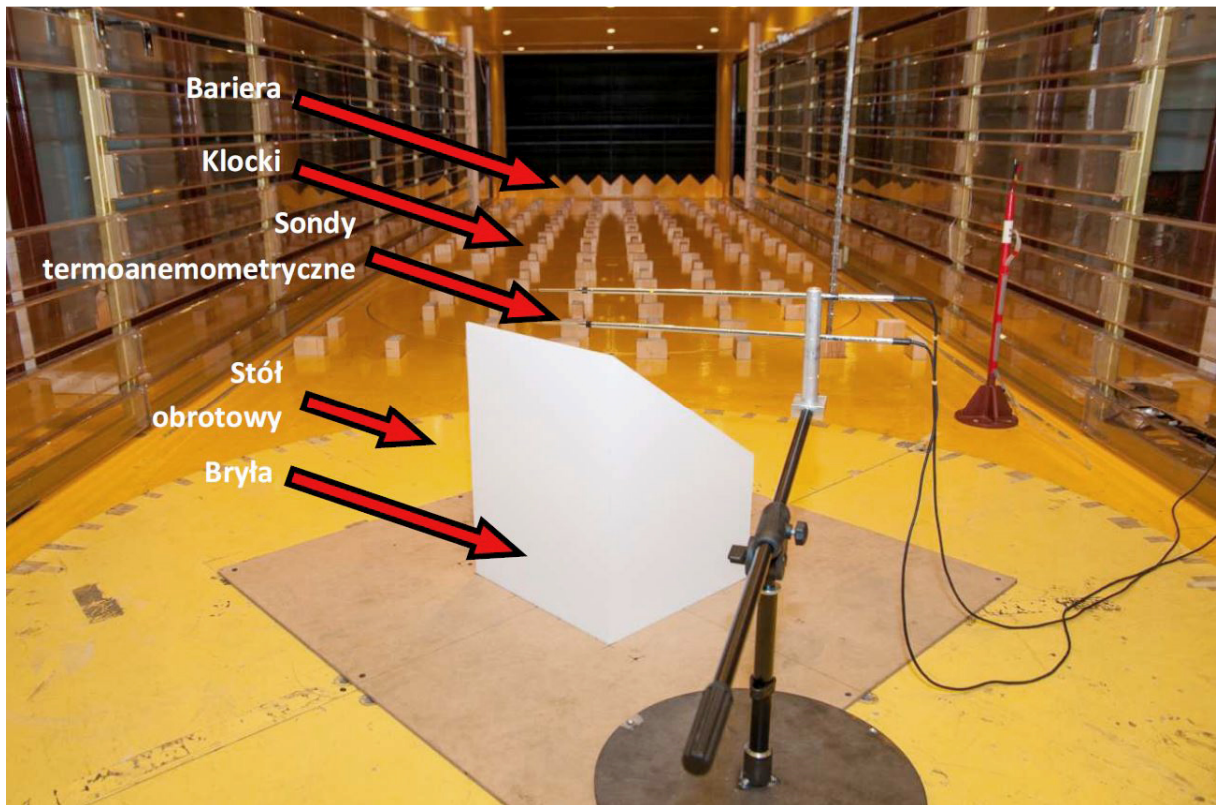


Il. 5.1 Zdjęcie przedstawia zestawienie brył użytych w doświadczeniu. Fot. Łukasz Flaga.

Pomiary zostały przeprowadzone przy prędkości wiatru równej  $v(z_{ref})=10$  m/s. Natomiast poziom turbulencji założony w badaniu wynosił 17 %. Pozwoliło to badać obiekty w środowisku zbliżonym do terenu miejskiego. Spełnienie tych założeń umożliwił odpowiedni układ klocków oraz bariera usytuowana na końcu tunelu. Kolejna ilustracja przedstawia uzyskany w badaniu profil wiatru (Il. 5.2, Il. 5.3).



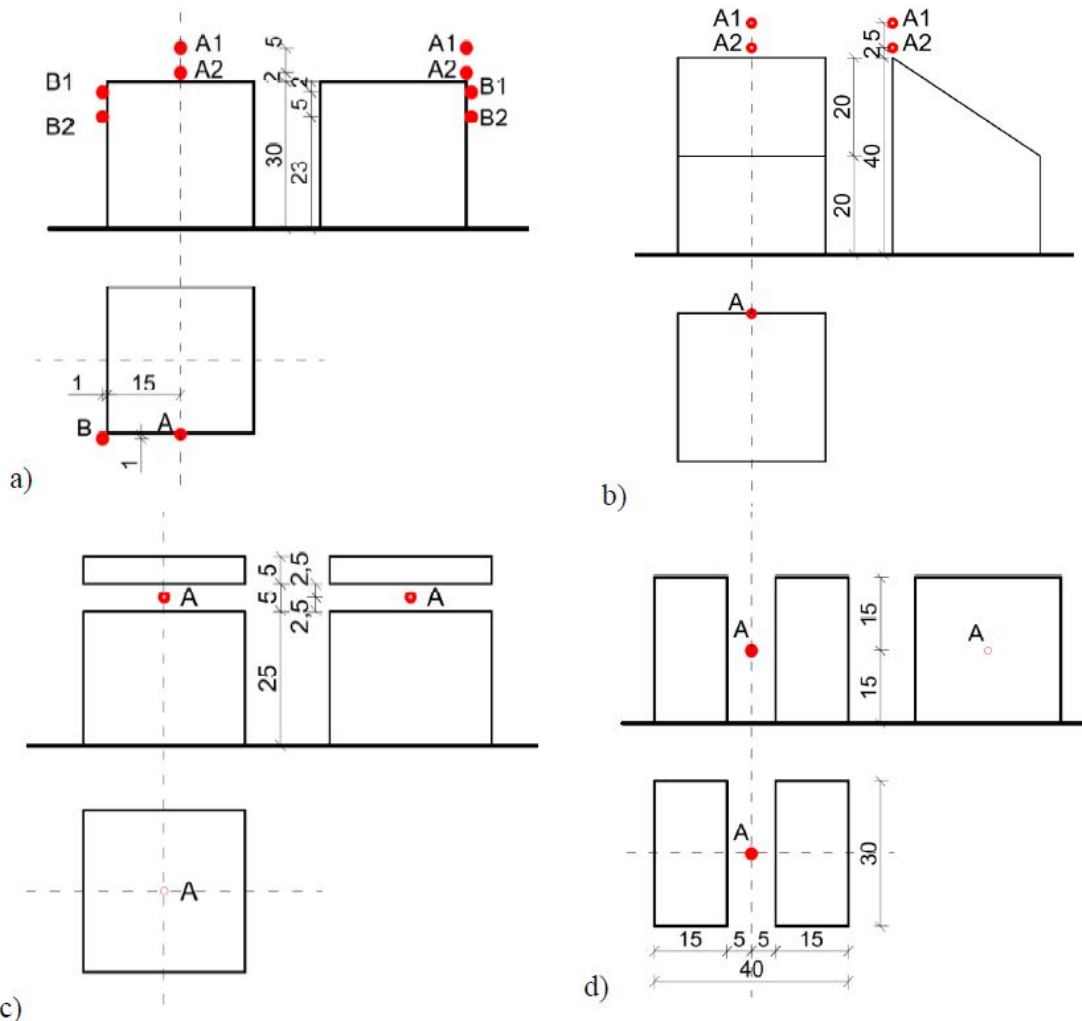
Il. 5.2 Elementy symulujące warstwę przyścienną oraz profil wiatru uzyskany dzięki nim w tunelu aerodynamicznym: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.9.



Il. 5.3 Zdjęcie przedstawia elementy układu pomiarowego znajdujące się we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.

Na podstawie ustaleń, przeprowadzonych pomiędzy autorką pracy doktorskiej a zespołem badawczym wykonywującym doświadczenie, zostały przyjęte punkty o teoretycznie najkorzystniejszym usytuowaniu pod kątem turbin wiatrowych. Na ich wybór wpłynęło przypuszczalne działanie wiatru w obrębie brył, a także walory architektoniczne umiejscowienia w danym punkcie urządzeń wiatrowych.

Dla każdego z czterech przypadków rozpatrzono kilka kierunków wiatru z przyrostem co  $30^\circ$ . Dla pierwszej bryły (przedstawiającej najprostszy pod względem kubaturowym przypadek budynku i zarazem najczęściej spotykany) ustalono cztery punkty pomiarowe (Rys. 5.6, Il. 5.4). Dwa pierwsze A1 oraz A2 przedstawiają sytuację najczęściej spotykaną w obiektach, gdzie turbiny wiatrowe stanowią element dodany do wcześniej zrealizowanego obiektu. Natomiast punkty B1 i B2 są częściej spotykane w budynkach projektowanych jako zintegrowane z urządzeniami wiatrowymi. Przypadek ten obserwujemy w obiekcie Kinetica<sup>55</sup> projektu Waugh Thistleton w Londynie. Z uwagi na położenie wybranych punktów pierwszej bryły w płaszczyznach symetrii, przypadek ten wymagał zbadania siedmiu kierunków napływu powietrza.



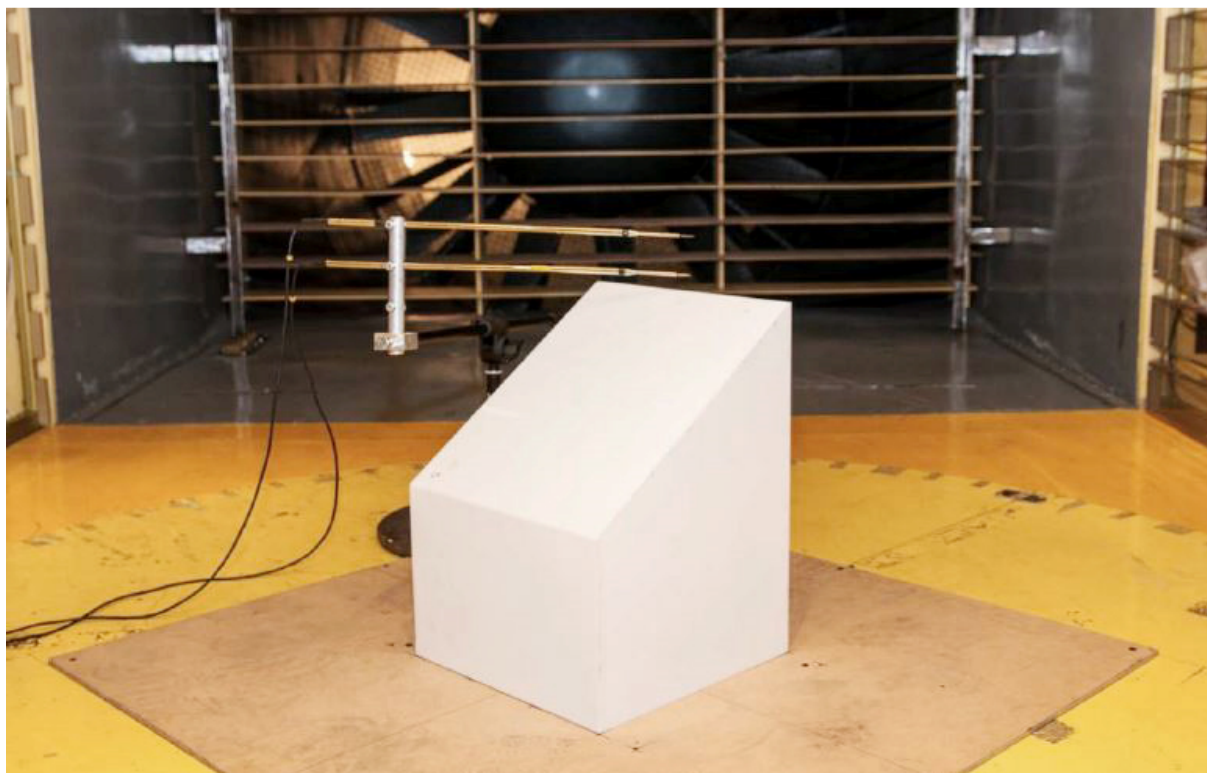
Rys. 5.6 Podstawowe wymiary modeli użytych w doświadczeniu oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych wokół każdej z brył: bryła 1 (a), bryła 2 (b), bryła 3 (c), bryła 4 (d) (wymiar podano w [cm]).



Il. 5.4 Widok bryły 1 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.



Bryła numer dwa przedstawiała przypadek, w którym szczyt budynku jest kształtowany tak, aby wzmacniać pęd powietrza w punktach montażu turbin (Il. 5.5). Można tak scharakteryzować biurowiec Strata SE1<sup>56</sup> projektu BFLS Architects w Londynie. Z uwagi na jego kształt wyznaczono dwa punkty pomiarowe mieszczące się na szczycie bryły. Ponieważ były one położone wzdłuż płaszczyzny elewacji brak symetrii sprawił, że należało wykonać badania dwunastu kierunków napływu wiatru.



Il. 5.5 Widok bryły 2 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.

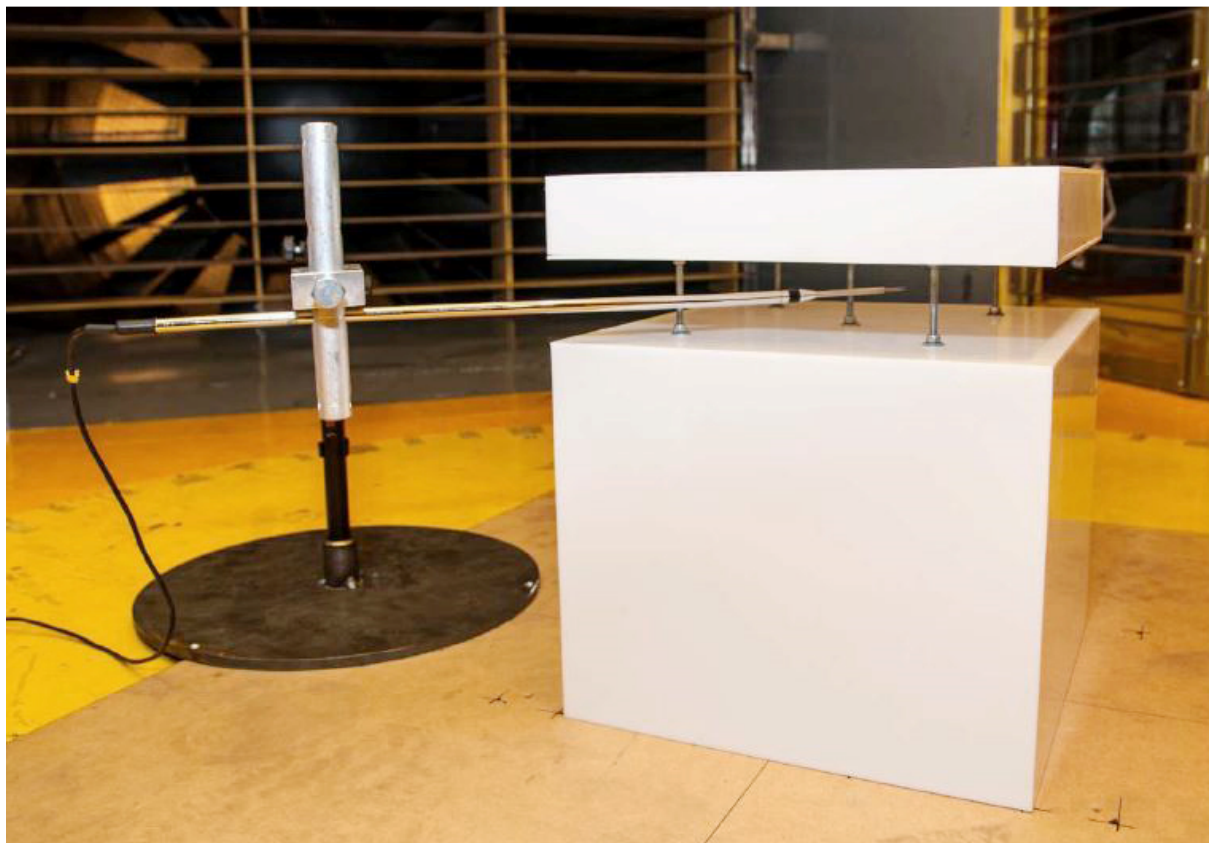
Kolejna bryła rozpatruje przypadki obiektów, w których występuje szczelina w kubaturze z umiejscowionymi w niej turbinami wiatrowymi (Il. 5.6). Najlepszymi przykładami takich rozwiązań są Oklahoma Medical Research Foundation (OMRF)<sup>57</sup> projektu Perkins+Will w Oklahomie (Stany Zjednoczone) oraz Pearl River Tower<sup>58</sup> projektu Skidmore Owings & Merrill w Guangzhou (Chiny). Badanie to obejmowało jeden punkt pomiarowy. Ponieważ był on położony w punkcie przecięcia dwóch płaszczyzn symetrii, należało zbadać jedynie cztery kierunki napływu wiatru.

---

<sup>56</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.100

<sup>57</sup> *Ibidem*, s.104

<sup>58</sup> *Ibidem*, s.136



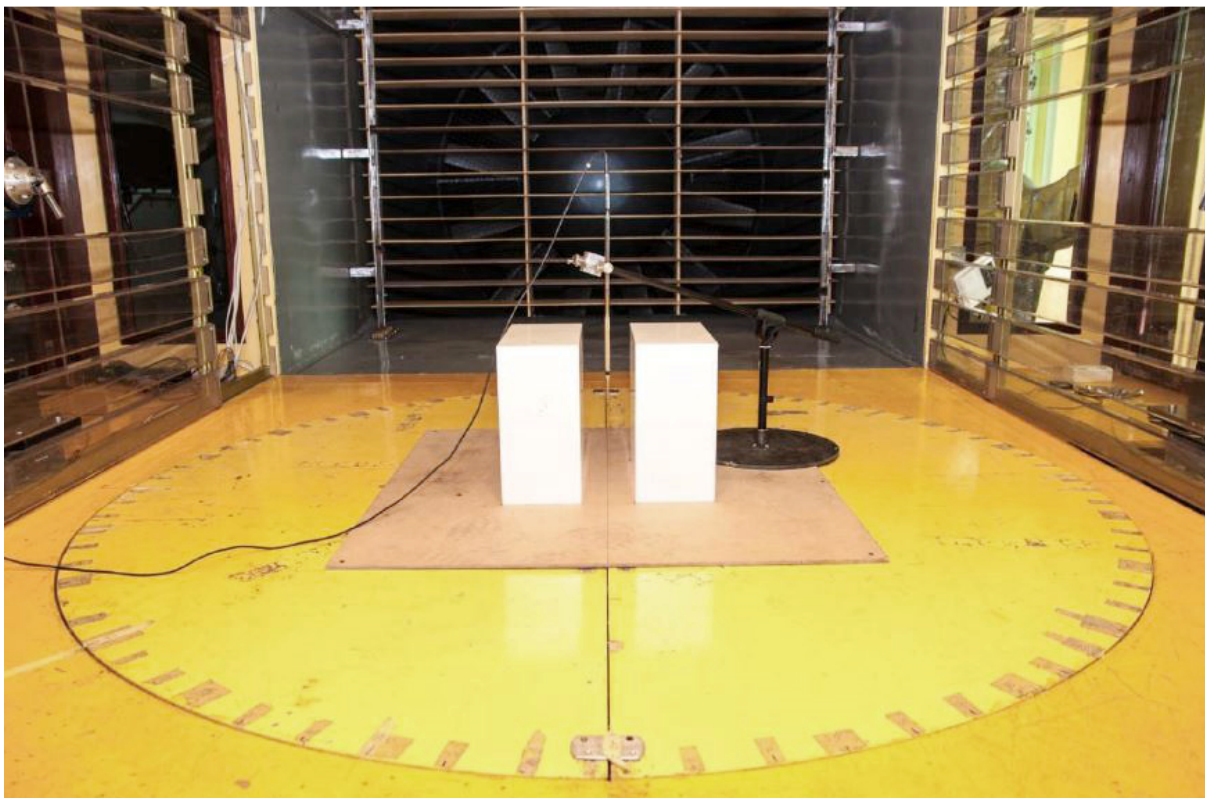
Il. 5.6 Widok bryły 3 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.

Ostatni, czwarty przypadek reprezentuje grupę obiektów, które złożone z dwóch oddzielnych wież tworzą przestrzeń porównywalną do tunelu powietrznego (Il. 5.7). Najtrafniejszym przykładem jest niewątpliwie Bahrain World Trade Center<sup>59</sup> projektu Atkins Design Studio w Manamie (Bahrajn). Warunki tej kategorii spełnia również mniej oczywisty przykład Adobe Headquarters Garage<sup>60</sup> projektu pracowni HOK w Kalifornii (Stany Zjednoczone). Bryła numer cztery wymagała zbadania jednego punktu pomiarowego z czterech kierunków napływu wiatru (z uwagi na usytuowanie punktu pomiarowego w punkcie przecięcia wszystkich trzech płaszczyzn symetrii).

---

<sup>59</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.102

<sup>60</sup> *Ibidem*, s.110



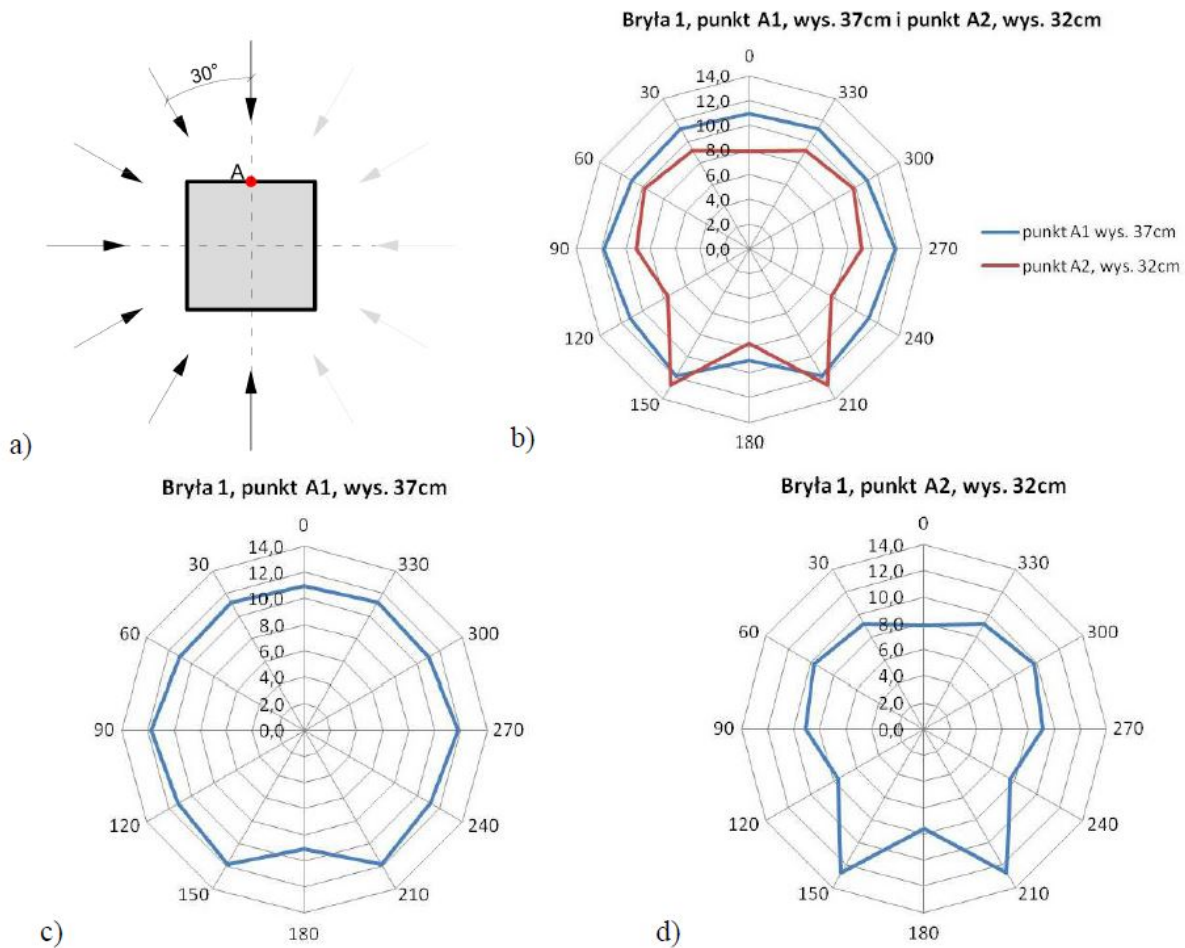
Il. 5.7 Widok bryły 4 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.

### V.2.3. Wyniki pomiarów oraz ich analiza

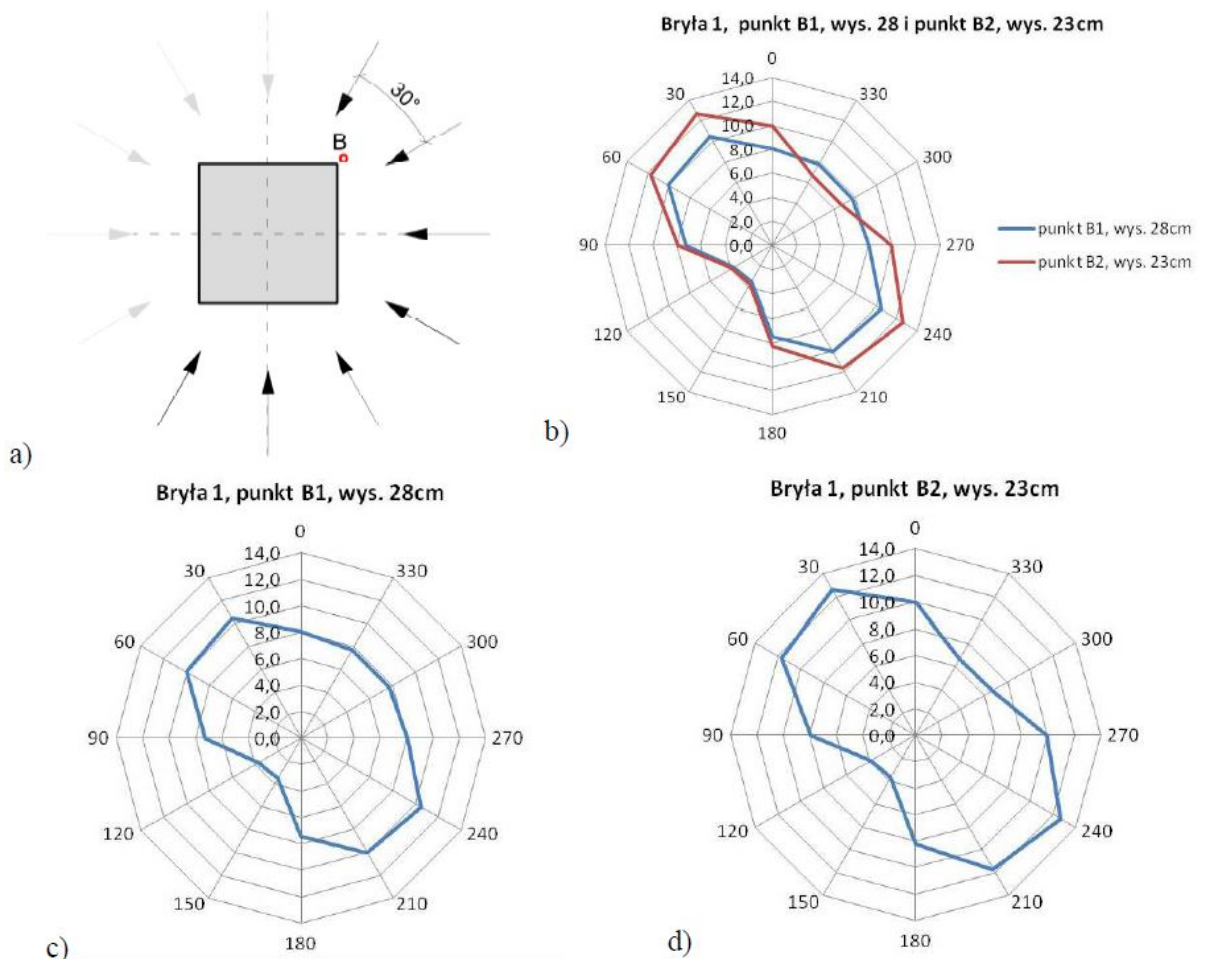
W przypadku bryły numer 1 wybrany punkt A charakteryzuje się dość równym rozkładem pola prędkości wiatru we wszystkich kierunkach (Rys. 5.7). Dla punktu A1 (znajdującego się nad punktem A2) średnie prędkości wiatru są wyższe oraz mniej zróżnicowane w zależności od kierunków. Najczęściej powtarzała się prędkość wiatru o wartości 11 m/s.

Natomiast w przypadku punktu B zauważono znaczne zróżnicowanie prędkości wiatru w zależności od jego kierunku (Rys. 5.8). Widoczne są różnice w prędkościach wiatru pomiędzy punktami B1 oraz B2 (usytuowanym poniżej punktu B1). Dla punktu B2 maksymalne prędkości napływającego powietrza odczytano w kierunkach 30°, 60°, 210° i 240°. Ich wartość wynosiła 11,5 – 12,5 m/s. Natomiast minimalne prędkości rzędu 4 – 7 m/s odczytano dla kątów 120°, 150°, 300° i 330°.

W przypadku budynku o budowie zbliżonej do bryły numer 1 najlepszą lokalizacją siłowni wiatrowej jest punkt A1. Zaletą tej lokalizacji jest wysoka wartości prędkości wiatru oraz jej stałość bez względu na jego kierunek. Pozwala to na ciągłą pracę urządzeń w zbliżonych warunkach, co korzystnie wpływa nie tylko na efektywną pracę, ale również na mniejsze zużycie urządzeń.

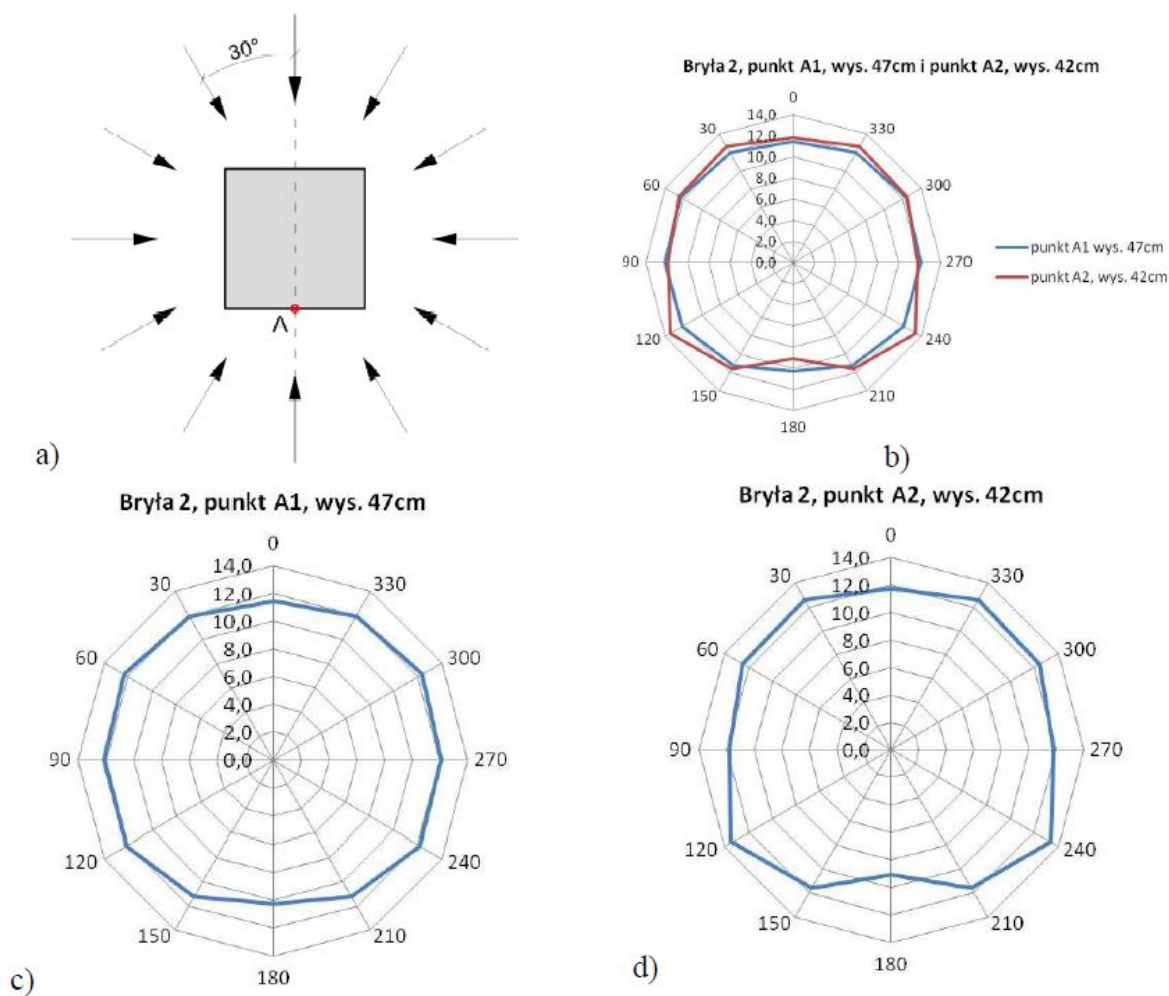


Rys. 5.7 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (c) i A2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 1 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów A1 i A2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.12.



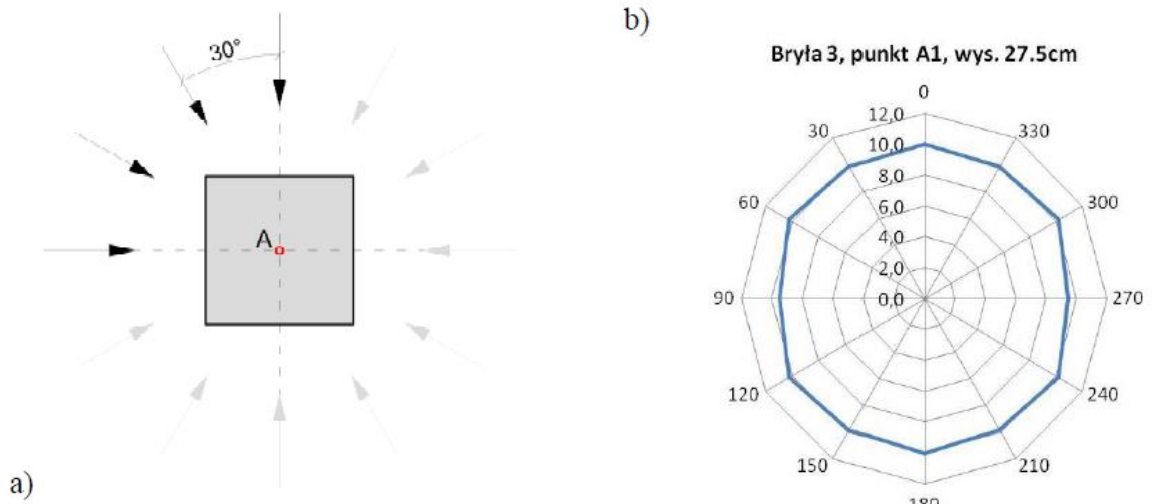
Rys. 5.8 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie B1 (c) i B2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 1 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów B1 i B2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.13.

Bardzo dużą jednorodnością dla różnych kierunków wiatru wykazały się wykresy prędkości wiatru w przypadku bryły numer 2 (Rys. 5.9). Pomimo różnicy wysokości pomiędzy punktami A1 i A2 dane uzyskane w obu przypadkach niewiele od siebie odbiegają. Dzięki ukształtowaniu bryły wiatr w punktach pomiarów osiągał prędkość około 12 m/s (poza kątem natarcia 180° gdzie prędkość spadła do 10 m/s). Z zebranych danych wynika, iż takie ukształtowanie obiektu byłoby zasadne w przypadku montażu turbin wiatrowych na jego szczycie i wpływałoby pozytywnie na efektywność ich pracy.



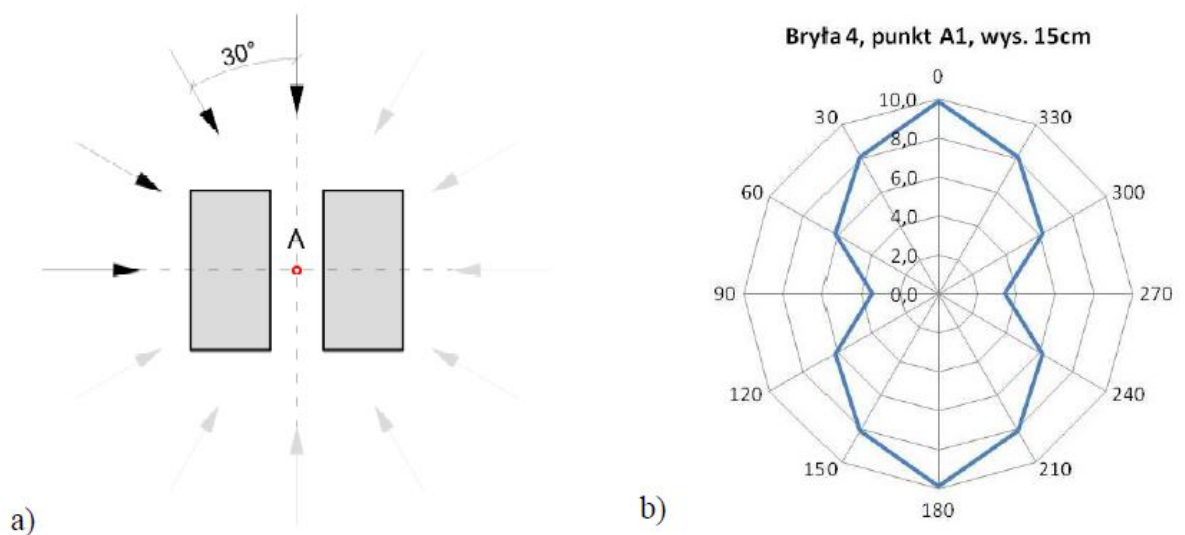
Rys. 5.9 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (c) i A2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 2 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów A1 i A2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.14.

Podobnie w przypadku bryły numer 3 pomiary prędkości wiatru wykazały dużą jednorodność (Rys. 5.10). Bez względu na kierunek wiatru, osiąga on prędkość około 10 m/s. Potwierdza to trafność wyboru punktu A1 jako miejsca potencjalnego montażu turbin wiatrowych. Nie zaobserwowano natomiast efektu wzrostu prędkości wiatru spowodowanego formą bryły – jak miało to miejsce w przypadku brył numer 1 i 2. Można spodziewać się wzrostu prędkości wiatru w przypadku kształtowania brzegów szczeliny jak w bryle numer 2.



Rys. 5.10 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (b) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 3 (a): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.14.

W ostatniej, 4 bryle punkt A1 znalazł się pomiędzy dwoma „wieżami” (Rys. 5.11). Jedynie w tym przypadku zauważono mocny efekt cienia aerodynamicznego (potocznie utożsamiany z zasłonięciem). Wystąpił on w pomiarach dla kątów  $45^{\circ} - 135^{\circ}$  oraz  $225^{\circ} - 315^{\circ}$ . Maksymalne prędkości napływającego powietrza dochodzące do 10 m/s uzyskano natomiast dla kątów  $0^{\circ}$  oraz  $180^{\circ}$ . Natomiast prędkości minimalne wynosiły zaledwie 3,5 m/s i wystąpiły dla kątów  $90^{\circ}$  oraz  $270^{\circ}$ . Kierunki te charakteryzowały się również dużą turbulencją, która wzrosła z 17% do 50%. Jest to bardzo niekorzystne zjawisko i niepożądane przy siłowniach wiatrowych. Z danych tych jednoznacznie wynika, iż punkt A1 jest niekorzystnym miejscem na montaż turbin wiatrowych.



Rys. 5.11 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (b) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 4 (a): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.15.

## V.2.4. Wnioski

Powyższe wyniki badań przedstawiono w tabeli porównawczej (Tab. 5.3).

	BRYŁA 1				BRYŁA 2		BRYŁA 3	BRYŁA 4
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	A	A
$v_{\max}$ WIATRU [m/s]	12	12,5	10,4	12,4	12,1	13,5	10	10
$v_{\min}$ WIATRU [m/s]	8,5	7,8	3,8	4	10,2	9	9,5	3,8
DUŻA JEDNORODNOŚĆ ŚREDNICH PRĘDKOŚCI WIATRU	■				■	■	■	
EFEKT CIENIA AERODYNAMICZNEGO								■

Tab. 5.3 Tabela porównawcza wyników przeprowadzonych pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji dla brył 1, 2, 3 i 4.

Zestawiając wyniki przeprowadzonych pomiarów można wyróżnić punkty A1 w bryle 1 oraz A1 i A2 w bryle 2. Ukształtowanie wymienionych brył pozytywnie wpłynęło na prędkości i przepływy wiatru w wyznaczonych punktach. Dodatkowym atutem jest duża jednorodność średnich prędkości wiatru, co pozwala na szeroki wybór lokalizacji turbin wiatrowych na budynku.

Spośród wyznaczonych punktów wyróżniał się również punkt A w bryle numer 3. Posiada on co prawda słabsze wyniki uzyskanych średnich prędkości wiatru, jednakże stanowi ciekawe rozwiązanie architektoniczne. Ponadto przy zmianie kształtu krawędzi wewnętrznych można polepszyć uzyskane wyniki.

Ekonomiczne uzasadnienie może mieć punkt A1 w bryle 4 pod warunkiem lokalizacji budynku w miejscu występowania dużej przewagi wiatrów wiejących z jednego kierunku. Takie rozwiązanie zastosowano w Bahrain World Trade Center<sup>61</sup> projektu Atkins Design Studio w Manamie (Bahrajn) gdzie obiekt jest „otwarty” w stronę Zatoki Perskiej, z której wieją silne wiatry.

W raporcie z przeprowadzonego doświadczenia zwrócono dodatkowo uwagę na dwa fakty:

- badania modelowe budynków zostały przeprowadzone na bryłach o ostrych krawędziach. Wpływ liczby Reynoldsa na wyniki badań można praktycznie pominąć, stąd stosunki prędkości średnich w punktach pomiarowych  $v_i$  do prędkości średniej odniesienia  $v(z_{ref})$  jako bezwymiarowe liczby podobieństwa będą praktycznie takie same w badaniach modelowych jak i w skali naturalnej w dużym zakresie prędkości wiatru,
- z pionowego profilu średniej prędkości wiatru wynika, że im większe będą wymiary (wysokości) rozważanych brył budynków, tym średnie prędkości wiatru w badanych punktach pomiarowych powinny też być większe, co ma istotne znaczenie w energetyce wiatrowej.

Przeprowadzone doświadczenie pozwala jedynie na ustalenie przybliżonych kształtów brył budynków, które mogą pozytywnie wpływać na pracę powiązanych z nimi turbin wiatrowych oraz ich umiejscowienie. Nie mniej jednak jest to dobra podstawa do rozpoczęcia pracy z projektem.

## V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW

Estetyka architektury zintegrowanej z turbinami wiatrowymi jest tematem często bagatelizowanym. Dla inwestorów najważniejsza jest efektywność energetyczna, a co za tym idzie finansowa opłacalność inwestycji. Jest to jak najbardziej zrozumiałe. Nie bez znaczenia jest również moda na ekologię oraz presja aby obiekt posiadał certyfikacje. Negatywnym skutkiem takich uwarunkowań są częste przypadki instalacji turbin wiatrowych w obiektach do nich nie przystosowanych. Nieodpowiedni wybór lokalizacji turbin oraz ich rodzaju skutkuje nie tylko brakiem

<sup>61</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.102  
96



realizacji (lub realizacją w niewielkim zakresie) podstawowego celu turbin jakim jest produkcja energii, ale również negatywnie wpływa na estetykę samego obiektu. Ponieważ przykładów budynków zintegrowanych z turbinami wiatrowymi jest na świecie stosunkowo niedużo, niewielki jest również zasób literatury o tej tematyce. Jedną z pozycji, nawiązującej do tej problematyki, jest wydana w 1996 roku książka zatytułowana *Wind Turbines in the Landscape, Architecture & Aesthetics*, której autorem jest Birk Nielsens Tegnesteue. Pozycja ta dotyczy wprawdzie turbin wiatrowych umieszczonych w krajobrazie, jednak wiele poruszonych aspektów dotyczy również turbin wiatrowych instalowanych w przestrzeni miasta.

Trudność polega na zachowaniu równowagi kompozycyjnej otoczenia. Wydaje się to być prostsze, niż w przypadku turbin umieszczonych w krajobrazie, gdyż przestrzeń miasta jest w całości stworzona przez człowieka. Element technologiczny jakim jest turbina wiatrowa może być dobrze wkomponowany i nie zaburzać otoczenia, które również składa się między innymi z elementów instalacji technicznych. Ponadto konstrukcja turbin wiatrowych, materiały z jakich są wykonane a także ich geometryczne, linearne kształty są niejako zaczerpnięte z otaczającej ich zabudowy. Wszystko to sprawia, że urządzenia tego typu mają dużą szansę na integrację z otoczeniem pod warunkiem umiejętnej ich aplikacji w tkance miejskiej. Każdy projekt budynku połączonego z turbinami wiatrowymi jest rozwiązany na jeden z dwóch sposobów: ukrycia lub wyeksponowania turbin. Najczęściej zostaje wybrany wariant drugi. Dzieje się tak z powodu stosunkowej rzadkości występowania tych urządzeń, ich wysokiej ceny, a co za tym idzie podniesienia prestiżu budynku posiadającego tak niestandardowe i proekologiczne rozwiązania. Kolejnym aspektem wpływającym na estetykę turbin jest ich skala. Większość urządzeń o średniej i małej mocy dedykowanych instalacji na budynkach ma skalę dostosowaną do centrów miast, gęstej i zróżnicowanej zabudowy. Są jednak realizacje w których zastosowane turbiny znacznie przekraczają skalę otaczającej zabudowy, a przez to nie wpisują się w krajobraz miejski. Sytuacja taka ma miejsce np. w Elbarkaden Green Office<sup>62</sup> w Hamburgu gdzie trzy duże turbiny Savoniusa znajdujące się na dachu budynku przekraczają wysokość dwóch kondygnacji i są wyraźnie przeskalowane.

Mogą zdarzyć się również przypadki turbin wiatrowych będących rzeźbiarskim elementem przestrzeni miejskiej. W takich realizacjach przeskalowanie staje się środkiem do realizacji celu a same urządzenia stają się częścią sztuki miejskiej. Przykładem takiego zastosowania turbin jest projekt instalacji Airway Gateway<sup>63</sup> w El Paso (Stany Zjednoczone) autorstwa Vicky Scuri.

Celem powinno być dążenie do osiągnięcia przez turbiny wiatrowe i otaczającą je przestrzeń miejską spójnej całości. Te same założenia powinny przyświecać samemu projektowi budynku z którym turbiny wiatrowe są zintegrowane. Poza doborem odpowiedniej skali architekci mają do dyspozycji takie elementy jak rytm, kolorystyka, geometria urządzeń, możliwość częściowego kamuflażu i przede wszystkim wybór miejsca i sposobu montażu w danym budynku. Zintegrowanie obiektu z turbinami tak, aby był on dobrym przykładem architektury ciekawej i estetycznej jest niezwykle trudne. Takie, dobre rozwiązania, mogą wzbogacić krajobraz miejski zamiast go niszczyć.

Poniżej przedstawiono zestawienie dwudziestu dziewięciu przykładów architektury połączonej z turbinami wiatrowymi. Są to zarówno budynki nowoprojektowane, jak i obiekty istniejące do których doinstalowano turbiny po latach użytkowania. Pierwsza z kart opisujących dany projekt zawiera podstawowe dane takie jak nazwa obiektu, autor, lokalizacja oraz rok powstania. Ponadto zostały umieszczone na niej informacje dotyczące zastosowanych turbin wiatrowych (producent, przewidywana roczna produkcja energii, moc zainstalowanej turbiny) oraz podstawowe informacje o obiekcie (rodzaj obiektu, kontekst zabudowy, funkcja, wysokość budynku). Został określony równocześnie czas zintegrowania budynku z turbinami wiatrowymi. W podpunkcie **INSTALACJA TURBIN**

<sup>62</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.148

<sup>63</sup>V.4.5. Mała architektura i przestrzeń publiczne, s.166

**WIATROWYCH** autorka wprowadza dwa określenia: PIERWOTNA i WTÓRNA. Obiekty opisane jako pierwotnie powiązane z turbinami wiatrowymi są realizacjami, które zostały projektowane od podstaw z myślą o zainstalowaniu turbin wiatrowych. Natomiast obiekty opisane jako wtórnie powiązane z turbinami wiatrowymi są budynkami zrealizowanymi wcześniej, do których turbiny wiatrowe zostały doinstalowane po dłuższym czasie użytkowania (np. podczas modernizacji). Ważnymi danymi zamieszczonymi na kartach są również procentowe udziały energii wytwarzanej przez turbiny wiatrowe w całkowitym zapotrzebowaniu danego obiektu na energię. Niestety informacje te nie były możliwe do uzyskania w większości przypadków, natomiast karty posiadające te dane dostarczają dużej wiedzy na temat faktycznego udziału turbin w całkowitej produkcji energii, a co za tym idzie ich celowości i słuszności zastosowania. Druga z kart przedstawiających każdy obiekt zawiera klasyfikacje przyporządkowujące zarówno obiekty jak i turbiny do grup stworzonych przez autorkę na podstawie analizy przypadków przedstawionych w niniejszej pracy. Każda karta posiada krótki opis obiektu oraz turbin z nim powiązanej. W treści opisu został przedstawiony również wpływ zainstalowanych urządzeń wiatrowych na estetykę obiektu.

ZESTAWIENIE WYBRANYCH REALIZACJI ARCHITEKTONICZNYCH  
OBIEKTÓW POWIĄZANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI

## Strata SE1 (The Razol)

BFLS Architects

8 Walworth Rd, Southwark, Londyn, Anglia

realizacja 2007 – 2010

### INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNE

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Norwin AS

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

50 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

3 turbiny o mocy 19 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

8%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

zabudowa średniowysoka

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

147,85 m



Il. 5.8 Źródło: <https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls/501249b028ba0d0a480001c3-strata-se1-bfls-photo>,  
dostęp: 10-08-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ■ ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT ■	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU ■	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

Turbiny mają zapewnić 8% zapotrzebowania energetycznego obiektu (zasilanie części wspólnych). Każda posiada 5 skrzydeł, a nie 3 jak większość, co ma znacznie zmniejszyć hałas powstały w trakcie pracy. Wyzwaniem stał projekt fundamentów. Zagadnieniami inżynierii wiatrowej zajmowali się RWDI–Anemos Ltd,. Wadą obiektu jest nieprzewidziany na etapie projektowym hałas, jaki wytwarzają turbiny w czasie pracy. Jego poziom jest na tyle wysoki, iż uruchomienie turbin wiatrowych następuje niezwykle rzadko (w czasie ich działania dyskomfort wywołany hałasem uniemożliwia pracę w obiekcie).

Trzy turbiny o średnicy 9 m każda stanowią część fasady budynku i jej zwieńczenie. Obiekt znacznie przewyższa swą wysokością otaczającą go zabudowę, co pozwala na całkowite wykorzystanie siły wiatru osiągającego na tym obszarze i wysokości prędkość do 56 km/h, a także wyróżnia budynek wśród otaczającej zabudowy. Dodatkowo aerodynamiczna forma szczytu została zaprojektowana w celu maksymalizacji zysków energii z siły wiatru. Forma obiektu w czytelny sposób wynika z jego integracji z turbinami wiatrowymi, zapewniając mu jednocześnie status czytelnego punktu orientacyjnego w panoramie miasta.



Il. 5.9 Źródło: <https://www.bournegroup.eu/bourne-steel-projects/strata-se1/>, dostęp: 10-08-2017.

## Bahrain World Trade Center

Atkins Design Studio

Manama, Bahrajn

realizacja 2008

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Norwin AS

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

1000 – 1300 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

3 turbiny o mocy 225 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

11 – 15%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

zabudowa średniowysoka

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

240 m



Il. 5.10 Źródło: <https://imágenesmi.com/im%C3%A1genes/bahrain-world-trade-center-logo-99.html>, dostęp: 12-08-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPLATOWE
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	ROTOROWE SAVONIUSA KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT ■	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU ■	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

Zastosowane turbiny wiatrowe (umieszczone na 60 m, 98 m i 136 m wysokości) mają 29 m średnicy. Wartość turbin stanowi ok. 3,5% kosztów całej inwestycji (ok. 5,32 mln USD). Kształt obiektu wpływa na wyrównanie prędkości wiatru na poszczególnych poziomach (bliżej poziomu terenu wiatry są słabsze i powodowałyby to nierównomierne zużywanie się turbin). Wieloosobowy zespół specjalistów pracował nad projektem konstrukcji turbin i mostów, do których zostały przytwierdzone. Regularne obroty turbin mogłyby doprowadzić mosty do drgań rezonansowych, które osłabiłyby konstrukcję i prowadziły do uszkodzenia obiektu.

Kompleks 50–cio kondygnacyjnych, bliźniaczych wieżowców z otwarciem widokowym na Zatokę Perską przypomina żagle i tworzy swą formą ogromny lej potęgując kształtem strumień wiatru, który napędza turbiny. Budynek był jedną z pierwszych tego typu realizacji i stał się inspiracją dla architektów i konstruktorów z całego świata. Bliźniacze wieże wraz z turbinami tworzą czytelną całość. Ponadto estetyka obiektu w sposób sugestywny nawiązuje do klimatów nadmorskich wpisując się w otaczający krajobraz.



Il. 5.11 Źródło: <https://www.amusingplanet.com/2015/11/the-bahrain-world-trade-center-has.html>, dostęp: 12–08–2017.

## Oklahoma Medical Research Foundation (OMRF), Research Tower

Perkins+Will

825 NE 13th Street, Oklahoma City, Oklahoma, Stany Zjednoczone

realizacja 2010

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Venger Wind, V2

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

85,5 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

18 turbin o mocy 4,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

10%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

zabudowa niska

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

37,80 m



Il. 5.12 Źródło: <https://perkinswill.com/work/oklahoma-medical-research-foundation.html>, dostęp: 19-03-2016.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPLATOWE	
		ROTOROWE SAVONIUSA	■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE	
		TYPY TORNADO	
		DARRIEUSA	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		TURBINY AUTONOMICZNE	■
		TURBINY ZAMASKOWANE	
		TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		■

Jedna z największych, obiektowych elektrowni wiatrowych w Stanach Zjednoczonych. Rozpoczyna pracę przy prędkości wiatru 8,9 m/h (poniżej średniej rocznej prędkości wiatru w mieście). Powstała jako część strategii zrównoważonego rozwoju. Wytwarzany hałas ma osiągać mniej niż 5 decybeli powyżej poziomu hałasu otoczenia – są zatem ciche oraz nie wywołują wibracji. Brak potrzeby zasilania do rozpoczęcia pracy jest ich niewątpliwą zaletą. Turbiny wiatrowe stały się dodatkowym atutem budynku, który w roku 2012 otrzymał certyfikację LEED Gold.

Forma dachów przykrywających turbiny (osłaniających je przed ptakami i nietoperzami) jest kontynuacją pasów znajdujących się na elewacji, będąc jednocześnie ramą dla całego budynku. Ponadto, pionowe turbiny są zwielokrotnieniem słupów konstrukcyjnych, które uwidocznione od parteru aż po dach nadają bryle lekkości. W tym przypadku turbiny nie są meritum całej architektury, a jedynie jej detalem nawiązującym do technologicznego charakteru obiektu. Istnieją opinie, że zainstalowane Venger Wind V2 zostały wybrane jedynie ze względu na swój kształt przypominający podwójną helisę (model struktury DNA) i nie produkują wystarczającej ilości energii jaką mógłby zapewnić inny model turbiny.



Il. 5.13 Źródło: <https://newatlas.com/largest-rooftop-wind-farm/23733/#gallery>, dostęp: 19-03-2016.

## Kettle Brand Foods

Flad Architects

3150 Kettle Way, Beloit, Wisconsin, Stany Zjednoczone

realizacja 2007

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

AeroVironment, Architectural Wind™

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

28 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

18 turbin o mocy 1 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt niski

KONTEKST

obszar wiejski

zabudowa niska

teren słabo zabudowany

FUNKCJA

obiekt przemysłowy

WYSOKOŚĆ

8 m



Il. 5.14 Źródło: [www.legacy.interioidesign.net](http://www.legacy.interioidesign.net), dostęp: 23-07-2015.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE ■	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU ■	

Fabryka otrzymała w 2008 roku tytuł Producenta Roku między innymi za wdrażanie inicjatywy rozwoju zrównoważonego. W obiekcie zostały zainstalowane liczne rozwiązania proekologiczne – między innymi fotoogniwa oraz system powtórnego wykorzystywania oleju jadalnego, który zostaje przetworzony na biopaliwo. W fabryce przewidziano również instalację umożliwiającą ponowne użycie wody wykorzystywanej w procesie produkcji. Jest to pierwsza fabryka w Stanach Zjednoczonych zajmująca się wytwarzaniem produktów spożywczych, która otrzymała certyfikat LEED Gold.

Produkcyjny charakter obiektu narzuca architekturze prostotę i duże kubatury hal. Gładka elewacja niewysokiego obiektu została urozmaicona jedynie otworami okiennymi. Zainstalowane na szczytach ścian małe turbiny stanowią nietypowy detal architektoniczny. Nie zakłócają one prostoty jednolitej kubatury hali, a jednocześnie są jej wyrazistym wykończeniem. Delikatne w swej budowie, o niewielkich rozmiarach, zostały zamontowane w regularnych odstępach wzbogacając attykę obiektu.



Il. 5.15 Źródło: <http://organicmechanic.com/category/wind-power/>, dostęp: 23-07-2015.

## Palestra

SMC Alsop Architects

197 Blackfriars Road, Londyn, Anglia

realizacja 2004 – 2006

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Renewable Devices, Swift

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

86 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

14 turbin o mocy 1,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

4% (wraz z panelami fotowoltaicznymi)

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

zabudowa wysoka

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt biurowy

WYSOKOŚĆ

56 m



Il. 5.16 Źródło: <https://www.architravel.com/architravel/building/palestra/>, dostęp: 23-07-2015.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ■ ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUŻELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Palestra jest użytkowany przez London Development Agency oraz London Climate Change Agency. Na dachu zainstalowano panele fotowoltaiczne oraz turbiny wiatrowe (wymienione przez producenta na turbiny typu Swift II po sześciu tygodniach użytkowania z powodu wad podzespołów). W pierwszych jedenastu miesiącach użytkowania 14 turbin wiatrowych w połączeniu z panelami słonecznymi, wytworzyło energię elektryczną o wartości 3,56 tys. £ (koszt instalacji – 436 tys. £), natomiast koszt budowy całego obiektu wyniósł 68 milionów £ (około 120.000.000 dolarów USD ). Kwoty te jasno obrazują nierentowność inwestycji.

Ukształtowanie bryły budynku nie wynika z zastosowanych technologii wiatrowych. Obecność turbin nie wpływa również na jego odbiór. Są one jedynie dodatkiem umieszczonym na dachu. Dolne kondygnacje Palestry posiadają na tyle skomplikowaną materiałowo (choć gładką) elewację, że odciągają uwagę od instalacji w jego górnej części. Równocześnie trafny wybór owalnych turbin Swift wycisza chaotyczną elewację składającą się z wielu drobnych, pionowych i poziomych podziałów.



Il. 5.17 Źródło: <https://www.architravel.com/architravel/building/palestra/#jp-carousel-25146>, dostęp: 23-07-2015.

## Adobe Headquarters Garage

HOK

San Jose, Kalifornia, Stany Zjednoczone  
realizacja 1996, 1998, 2003

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Mariah Power, Windspire

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

50 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

20 turbin o mocy 1,2 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

zabudowa wysoka

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

30 m



Il. 5.18 Źródło: <https://www.mercurynews.com/2017/07/13/adobe-sets-big-san-jose-expansion-near-proposed-google-village/>, dostęp: 23-07-2015.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE ■ TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Obiekt składa się z trzech wież: East, West i Almaden. Na dachu garażu wchodzącego w skład kompleksu biurowego firmy Adobe zostało zainstalowanych 20 nowych turbin Windspire o pionowej osi obrotu i wadze około 650 kg. Energia przez nie wytworzona zasila pojazdy elektryczne poprzez stacje ładujące znajdujące się w garażu. Założenie uzyskało w roku 2006 certyfikat LEED Platinum. Turbiny wiatrowe Windspire sprawdziły się na tyle dobrze w przypadku Adobe Headquarters w Kaliforni, że firma instaluje je również w swoim obiekcie w San Francisco.

Turbiny wiatrowe zostały umiejscowione pomiędzy dwoma wieżami biurowymi kompleksu. Dzięki takiej lokalizacji znajdują się one w strefie sztucznie wytworzonego tunelu wietrznego, gdzie średnia prędkość wiatru wynosi 6,25 m/s. Tworzą jednocześnie ażurowe ogrodzenie wewnętrznego placu rekreacyjnego. Urządzenia nie wpływają negatywnie na odbiór architektury. Umieszczenie ich na tak niskiej wysokości sprawiło, że są niemalże niewidoczne na tle biurowca.



Il. 5.19 Źródło: [http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=2483&cHash=3b3cb9265ea9f4f24362b6e9794dbc45](http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2483&cHash=3b3cb9265ea9f4f24362b6e9794dbc45), dostęp: 23-07-2015.

## Kinetica – Ramsgate Street

Waugh Thistleton

15 Ramsgate Street, Daston, Londyn, Anglia

realizacja 2008 – 2010

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Quietrevolution, qr5

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

40 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

4 turbiny o mocy 6 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

15%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

zabudowa niska

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt mieszkaniowo – usługowy

WYSOKOŚĆ

44,70 m



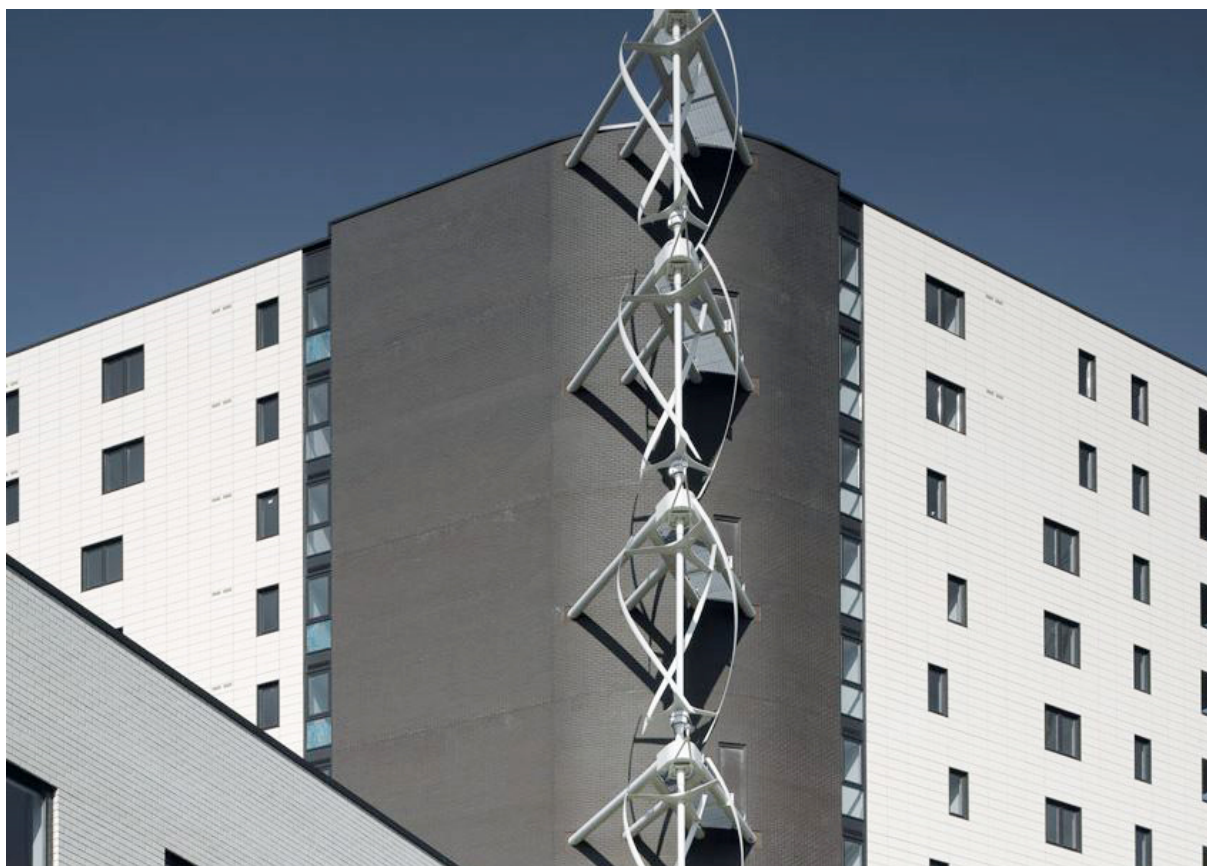
Il. 5.20, Il. 5.21 Źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 23-07-2015.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA ■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Kinetica znajduje się w dzielnicy Hackney w północno-wschodnim Londynie. Czternasto-piętrowa wieża zdecydowanie przewyższa wysokością otaczającą zabudowę (sięgającą około czterech pięter), co pozwala na efektywne wytwarzanie energii z siły wiatru. Obiekt połączono z turbinami qr5 firmy Quietrevolution, wykorzystując jak najlepiej geometrię budynku. Urządzenia mają 3 m średnicy i 5 m wysokości.

Budynek posiada ergonomiczny kształt nakierowujący strumień powietrza w miejsce usytuowania turbin wiatrowych, co pozwala na maksymalizację zysków energii oraz lepsze wykorzystanie potencjału urządzeń wiatrowych (dzięki takiemu ukształtowaniu turbiny są ośmiokrotnie wydajniejsze). Architekci postanowili nie maskować turbin, a nawet je podkreślić, umieszczając białe urządzenia na tle czarnego narożnika obiektu. Ażurowa konstrukcja przebiega niemalże przez całą wysokość prostej, gładkiej bryły i dodaje jej technologicznego akcentu. Jest to niewątpliwie jeden z lepszych przykładów architektury wiatrowej, w którym turbiny nie są jedynie instalacją dołożoną do budynku, ale wraz z nim tworzą architektoniczną całość.



Il. 5.22 Źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 23-07-2015.

**Twelve West**  
Zimmer Gunsul Frasca (ZGF) Architects LLP  
SW Washington Street, North Side, Portland, Oregon, Stany Zjednoczone  
realizacja 2007 – 2009

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Southwest Windpower, Skystream 3.7

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

9500 kWh

MOC ZAINSTALOWANA

4 turbiny o mocy 1,8 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

1%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

zabudowa niska

teren gęsto zabudowany

FUNKCJA

obiekt mieszkaniowo – usługowy

WYSOKOŚĆ

81,08 m



Il. 5.23, Il. 5.24 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/107>, dostęp: 23-07-2015.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE ■	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU ■	

Znany również jako Indigo 12 West, 12W lub ZGF Tower. W projekcie zostały zastosowane liczne rozwiązania oszczędzania wody i prądu. Budynek jest wyposażony w 1360 m<sup>2</sup> powierzchni paneli słonecznych, które zapewniają około 24% zapotrzebowania budynku na ciepłą wodę (wytwarzają przy tym ponad 15 razy więcej energii niż zainstalowane na dachu turbiny). Podstawy masztów turbin zostały zaprojektowane tak, aby zminimalizować przenoszenie drgań na budynek. Każda turbina waży około 90kg i jest samowystarczalna. Po zrealizowaniu inwestycji (koszt budowy obiektu wyniósł około 138 mln USD) okazało się, iż turbiny wiatrowe dostarczają niewielką część zakładanej produkcji energii (jedynie 5500 kWh rocznie). Obiekt posiada certyfikat LEED Platinum.

Cztery turbiny wiatrowe zostały zainstalowane na dachu na stalowych, ok.14 metrowych masztach. Łopaty turbin celowo zaprojektowano w smukłym, lekko wygiętym kształcie, aby zmniejszyć wytwarzany hałas, dzięki czemu Skystream są stosunkowo ciche. Podłużne maszty turbin korespondują z wertykalnym charakterem elewacji. Stanowią delikatne wykończenie budynku, jednocześnie nie wpływając znacząco na jego wyraz wizualny.



Il. 5.25 Źródło: <http://www.ariatopten.org/node/107>, dostęp: 23-07-2015.

## EXPO 2000 Pavilion for the Netherlands

MvRdV

Hannover, Niemcy  
realizacja 1997 – 2000

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

WES 5 Tulipo 2.5kW

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

6 turbin o mocy 2,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

teren wystawienniczy

zabudowa niska

teren słabo zabudowany

FUNKCJA

pawilon wystawowy

WYSOKOŚĆ

36 m



Il. 5.26 Źródło: <https://www.mvrdv.nl/projects/158/expo-2000>, dostęp: 24-07-2015.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Obiekt zaprojektowany i wybudowany z okazji Expo 2000 w Hannoverze. Przedstawia sześć ekosystemów Holandii. Prezentują je kolejne piętra tworzące wielopoziomową przestrzeń publiczną. Ideą projektu było ukazanie narodowych cech charakterystycznych, do których należy między innymi umiejętność zagospodarowania małej przestrzeni. Ścieżka zwiedzania zaczyna się na parterze i ciągnie się przez schody zewnętrzne oplatające budynek. Na dachu znajduje się małe jezioro otoczone wiatrakami generującymi energię elektryczną dla budynku. Pawilon jest niewątpliwie obrazem holenderskiej umiejętności łączenia natury, sztuki i technologii. Wnętrza zostały zaprojektowane przez MET Studio.

Turbiny wiatrowe, o poziomej osi obrotu, umieszczone na smukłych, wysokich masztach miały nawiązywać bezpośrednio do elektrowni wiatrowych, którymi charakteryzuje się pejzaż Holandii. Ich wybór oraz umiejscowienie nie wynikają z architektury obiektu, ale z jego idei. Jedynie kolorystyka turbin i masztów na których zostały osadzone nawiązuje do białych, smukłych słupów konstrukcyjnych uwidoczniionych na elewacjach budynku.



Il. 5.27 Źródło: <https://www.mvrdv.nl/projects/158/expo-2000>, dostęp: 24-07-2015.

**Neues Technisches Rathaus**  
Morschek & GHU Architekten GmbH  
Friedenstrasse 40, Monachium, Bayern, Niemcy  
realizacja 1997 – 2000

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY  
PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII  
MOC ZAINSTALOWANA  
PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ  
PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

brak danych  
brak danych  
brak danych  
brak danych

RODZAJ OBIEKTU  
KONTEKST

obiekt wysokościowy  
śródmieście  
teren gęsto zabudowany  
zabudowa średniowysoka

FUNKCJA  
WYSOKOŚĆ

obiekt usługowy  
63 m



Il. 5.28 Źródło: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/wir-ueber-uns/technisches-rathaus.html>,  
dostęp: 20-02-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA ■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Tak zwany ratusz techniczny jest siedzibą służb miejskich oraz wydziału budowlanego administracji miasta Monachium. Surowy charakter budynku podkreślają materiały wykończeniowe, w których przeważa szkło i beton. Otwarte przestrzenie biurowe mają wprowadzać wrażenie łatwiejszej komunikacji między mieszkańcami miasta, a urzędnikami.

Charakterystycznym elementem ratusza jest 12–sto metrowa turbina typu Darrieus’a umieszczona na szczycie 18–sto piętrowej wieży. Nowojorski artysta Vito Acconci stworzył instalację łączącą turbinę z placem wewnętrznym – tak zwany "Dziedziniec na wietrze". Będący częścią dziedzińca pierścień obraca się powoli dzięki energii generowanej przez turbinę. Całkowity koszt budowy wyniósł 115 milionów euro.



Il. 5.29 Źródło: <http://www.ghu-architekten.de/?p=28>, dostęp: 20–02–2018.

## Council House 2

Mick Pearce z Design Inc. oraz architekci miasta Melbourne

240 Little Collins Street, Melbourne, Australia

realizacja 2004 – 2006

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

6 turbin

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt administracyjno-biurowy

WYSOKOŚĆ

40 m



Il. 5.30 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc719eb3fc4b2142000077-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07-06-2017.

Il. 5.31 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc716db3fc4b2142000075-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07-06-2017.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

10–cio piętrowy biurowiec CH2 dostał maksymalną ocenę sześciu gwiazd GBCA. Jest wyposażony w rozwiązania znaczne zmniejszające emisję zanieczyszczeń, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, gazu oraz ograniczenia poboru wody z sieci wodociągowej. Główny projektant Mick Pearce wdrożył natomiast system zwany biomimicry architekture.

Do systemu należą między innymi turbiny wiatrowe, mechanizm uzdatniania wody oraz 48 m<sup>2</sup> paneli słonecznych. Technologia ogrzewania, wentylacji i chłodzenia (hvac) zostały zaprojektowane na zasadzie funkcjonowania kopca termitów. Zimny wiatr jest wciągany do podstawy kopca poprzez kanały, natomiast mokra gleba „magazynuje chłód”. Ogrzane powietrze zostaje usunięte z kopca przez otwory wentylacyjne za sprawą różnicy ciśnień. CH2 również wykorzystuje ruch konwekcyjny ogrzanego powietrza. Kanały wentylacyjne zostały zlokalizowane na północnej i południowej elewacji budynku. Na elewacji północnej zostały one pomalowane na czarno aby skuteczniej pochłaniać promienie słoneczne. Kanały od strony południowej odprowadzają zużyte powietrze. Zainstalowane turbiny wiatrowe wytwarzają energię elektryczną w ciągu dnia natomiast ich głównym celem jest usprawnienie system wentylacji w czasie nocnym.



Il. 5.32 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc716db3fc4b214200075-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07–06–2017.

## The Green Building

Terry Farrell & Partners

19 New Wakefield Street, Manchester, United Kingdom

realizacja 2002 – 2004

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

1 turbina o mocy 2,5 kW

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt mieszkaniowy

WYSOKOŚĆ

35,95 m



Il. 5.33 Źródło: <http://manchesterhistory.net/manchester/tours/tour8/area8page15.html>, dostęp: 07-06-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE ■	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU ■	

Projektanci mieli za cel stworzenie zrównoważonego środowiska do życia na nietypowej, trójkątnej działce znajdującej się w sąsiedztwie dworca kolejowego. W obiekcie mieszczą się 32 mieszkania na 10–ciu piętrach 12–sto piętrowego budynku. Na parterze i pierwszym piętrze znajdują się usługi. Obiekt posiada: słoneczny system ogrzewania wody, ogrzewanie podłogowe, maksymalizujące zyski ciepła potrójne szyby w oknach po stronie południowej, małe okna od strony północnej, pasywny system klimatyzacji oparty o wewnętrzne atrium, cylindryczny kształt bryły zwiększający sprawność cieplną, zintegrowane urządzenia do recyklingu szkła, papieru i aluminium oraz wspólną kompostownię. Dach pochylony został na stronę południową w celu najlepszego wykorzystania zysków ciepła.

W przypadku obiektu The Green Building umieszczenie turbiny wiatrowej na jego szczycie z pewnością nie poprawia estetyki obiektu. Natomiast sama lokalizacja urządzenia wydaje się być słuszną ze względu na ścisty kształt bryły, który może dodatkowo zwiększać siłę wiatru i tym samym pozwalać na pełniejszą eksploatację urządzenia.



Il. 5.34, Il. 5.35 Źródło: <http://manchesterhistory.net/manchester/tours/tour8/area8page15.html>, dostęp: 07-06-2017.

## Near North Apartments

Murphy/Jahn

1244 N. Clybourn Ave., Chicago, Illinois, USA Stany Zjednoczone  
realizacja 2007

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

520H Aerotecture International

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

16 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

8 turbin o mocy 1,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

10%

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

przedmieście

teren słabo zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt mieszkaniowy

WYSOKOŚĆ

17,66 m

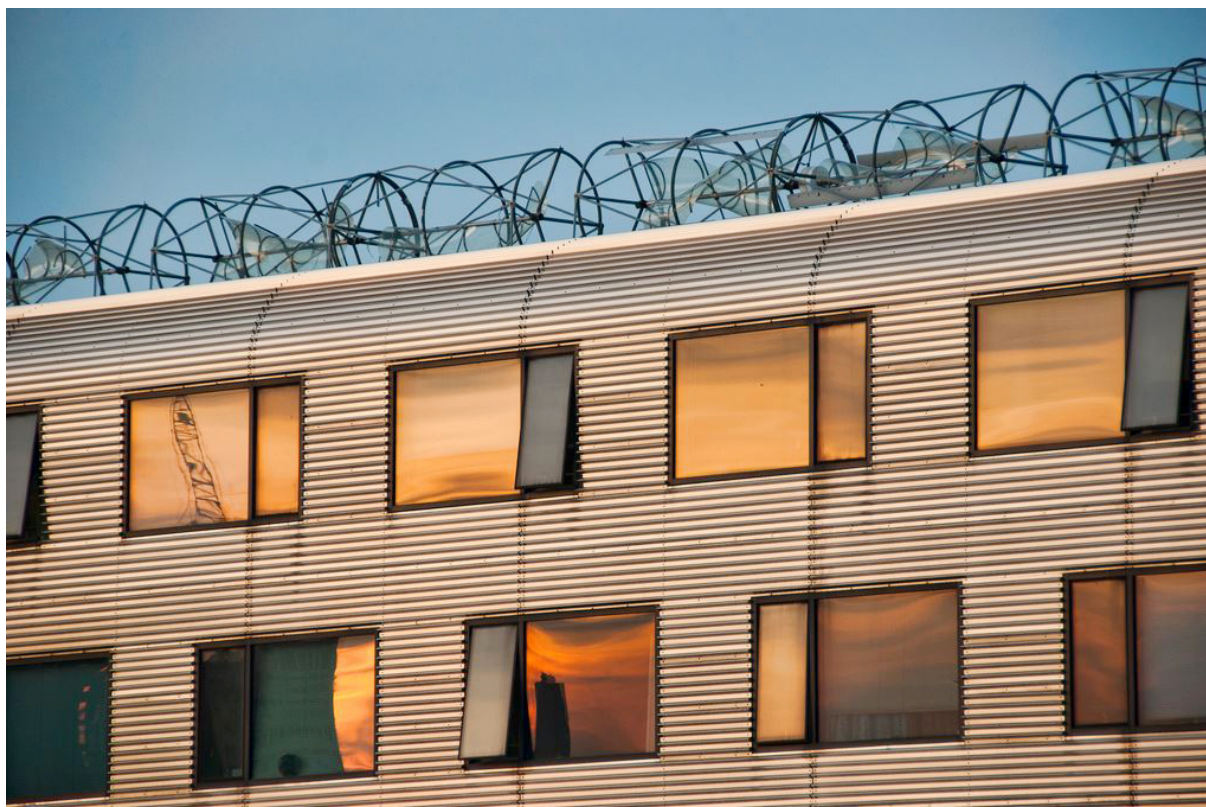


Il. 5.36 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/27/near\\_north\\_apartments\\_with\\_wind\\_turbines\\_\(chicago,\\_illinois,\\_usa\).html](http://www.solaripedia.com/13/27/near_north_apartments_with_wind_turbines_(chicago,_illinois,_usa).html), dostęp: 07-06-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE	
		ROTOROWE SAVONIUSA	■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO	
		DARRIEUSA	■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE		■
	TURBINY ZAMASKOWANE		
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT		
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		■

Jest to obiekt budownictwa socjalnego posiadający 5 pięter. Żelbetowa konstrukcja obiektu została pokryta blachą falistą. Zastosowane materiały i technologie miały na celu skrócenie czasu wykonania. Obiekt został wyposażony w kolektory słoneczne, system ponownego użycia szarej wody oraz turbiny wiatrowe.

Zainstalowane turbiny 520H Aeroturbine zostały zaprojektowane przez profesora Uniwersytetu Illinois Bila Beckera. Są dedykowane środowisku miejskiemu. Niewątpliwą zaletą jest ich modułowa konstrukcja, która pozwala na szeregowe łączenie modułów. Każdy moduł składa się z dwóch turbin łączących w sobie wirniki Savoniusa i Darrieusa. Ponieważ pracują one w różnych przedziałach prędkości wiatru ich połączenie prowadzi do uzyskania turbiny, która posiada możliwość stałego wytwarzania energii przy zmiennym wietrze. Jest to niezwykle ważne w środowisku miejskim. Pomimo iż forma budynku nie jest jednoznacznie zintegrowana z zainstalowanymi turbinami, to zarówno zastosowane materiały jak i obłoki elewacji dobrze z nimi współgrają tworząc czytelną całość.



Il. 5.37 Źródło: <https://www.flickr.com/photos/reallyboring/5587014887>, dostęp: 07-06-2017.

## Adventure Aquarium

Granary Associates, Hillier Architecture

1 Riverside Dr Camden, New Jersey, Stany Zjednoczone

realizacja 1992, 2007

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

AeroVironment AVX400 turbines

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

8 turbin o mocy 0,4 kW i 4 turbiny o mocy 1 kW

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

nadbrzeże

teren słabo zabudowany

zabudowa średniowysoka

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

brak danych



Il. 5.38 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly\\_adventure\\_aquarium.html](http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly_adventure_aquarium.html), dostęp: 16-07-2016.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUŻELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Obiekt znany dawniej jako New Jersey State Aquarium lub Thomas H. Kean New Jersey State Aquarium. Pierwsze otwarcie zaprojektowanego przez The Hillier Group obiektu nastąpiło w 1992 roku, natomiast został on przebudowany w 2005 roku. Podstawowym materiałem użytym do budowy jest beton. Towarzyszą mu aluminiowe fasady z dużymi przeszkleniami. Elementem charakterystycznym obiektu jest biała kopuła pokryta tkaniną. Ponieważ architektura budynku dostała same negatywne recenzje, co odbijało się wyraźnie na frekwencji odwiedzających, dokonano przebudowy zaledwie rok po jego otwarciu. W trakcie kolejnej przebudowy (wiosną 2007 roku) na dachu prostokątnego budynku północnego zostały zainstalowane turbiny wiatrowe.

Pomimo iż są one jedynie elementem dodanym do zastanej, pudełkowej bryły budynku, dobrze z nim korespondują. Trafnie dobrane pod względem estetycznym turbiny nawiązują do fal wodnych.



Il. 5.39 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly\\_adventure\\_aquarium.html](http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly_adventure_aquarium.html), dostęp: 16-07-2016.

## Global Institute of Sustainability, Arizona State University

Lord Aeck Sargent

Arizona, Stany Zjednoczone

modernizacja 2008

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

AeroVironment turbines

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

6 turbin o mocy 1 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt niski

KONTEKST

kampus uniwersytecki

teren słabo zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

brak danych



Il. 5.40 Źródło: <https://sustainability.asu.edu/news/archive/asu-named-among-top-20-most-sustainable-universities/>,  
dostęp: 07-06-2017.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ■ ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

ASU School of Sustainability jest pierwszą szkołą w Stanach Zjednoczonych skupiającą działalność naukową wokół zrównoważonego rozwoju. Została założona w 2007 roku na Arizona State University. Global Institute of Sustainability jest odrestaurowanym budynkiem kampusu wzdłuż którego wschodniej krawędzi dachu zostały zainstalowane turbiny wiatrowe. W budynku wykorzystano wiele proekologicznych rozwiązań jak panele fotowoltaiczne czy wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu. Modernizacja doprowadziła do zmniejszenia zużycia energii w obiekcie o ponad 18%, wody o ponad 50% a także przyznania srebrnego certyfikatu LEED. Zmiana miała na celu również edukację oraz inspirację studentów do szukania nowych dróg dla poprawy środowiska.

Forma budynku Global Institute of Sustainability nie wynika z zainstalowanych turbin wiatrowych. Jednakże ażurowe elementy elewacji dość dobrze korespondują z industrialnymi formami osłon turbin. Ponadto, ze względu na edukacyjny charakter inwestycji, niewątpliwą zaletą w przypadku tej realizacji jest umiejscowienie urządzeń wiatrowych z widocznym miejscem.



Il. 5.41 Źródło: <https://sustainability.asu.edu/news/archive/visit-wrigley/>, dostęp: 07-06-2017.

## Greenway Self Park

HOK

W Kinzie St/Clarke St, Chicago, Illinois, Stany Zjednoczone  
realizacja 2009

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Helix Wind S594 turbines

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

12 turbin o mocy 4,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

47,64 m

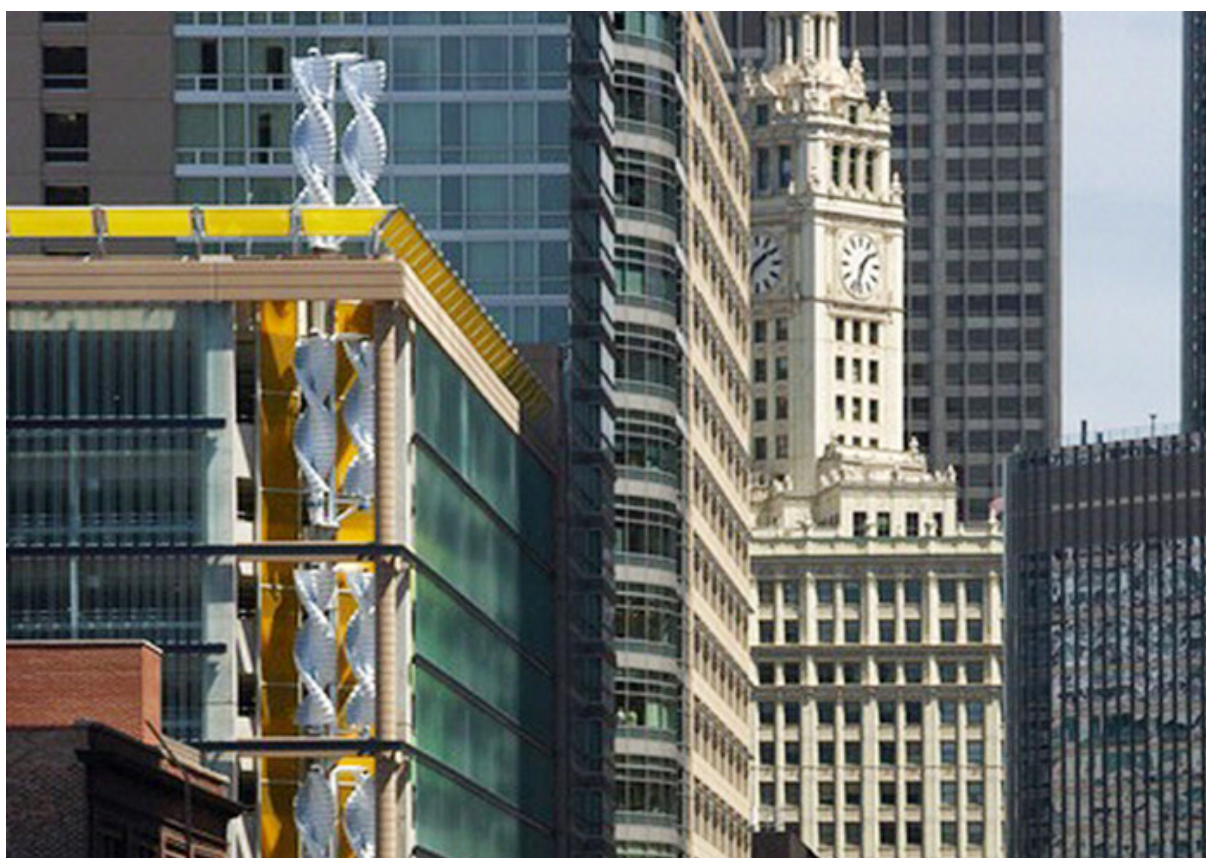


Il. 5.42 Źródło: <https://architizer.com/projects/greenway-self-park/>, dostęp: 07-06-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	■
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

Obiekt posiada szereg rozwiązań proekologicznych takich jak: zielony stropodach, system wykorzystania wody deszczowej, lokalne materiały wykończeniowe, oświetlenie energooszczędne. Dodatkowo ażurowe pokrycie elewacji (ok 20% przezierności) zapewnia dobrą cyrkulację powietrza bez użycia wentylacji mechanicznej. Ten 11–sto piętrowy parking posiada kilkanaście stacji ładowania samochodów elektrycznych oraz rozwinięty program zachęcający do korzystania z pojazdów energooszczędnych i ekologicznego stylu życia.

Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu zainstalowane zostały wzdłuż południowo–zachodniego narożnika budynku. Każde z urządzeń pracuje niezależnie. Takie usytuowanie w fazowanym narożniku parkingu pozytywnie wpływa na ich sprawność (dobry przepływ powietrza w tym obszarze). Ponadto podkreśla i definiuje narożnik obiektu jako ważny element tkanki miejskiej. Użyte w projekcie turbiny są również "kinetyczną rzeźbą" poruszającą się na tle jasnożółtych szklanych tafli. Ważnym elementem instalacji są urządzenia zarządzające energią. Pozwala to zarówno na pobór jak i sprzedaż nadmiernej ilości wytworzonej mocy do sieci energetycznej Chicago.



Il. 5.43 Źródło: <https://architizer.com/projects/greenway-self-park/>, dostęp: 07–06–2017.

## Hess Tower

Gensler

1501 McKinney St, Houston, Teksas, Stany Zjednoczone

realizacja 2008 – 2010

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

10 turbin

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

149,35 m



Il. 5.44, Il. 5.45 Źródło: <http://www.worldpropertyjournal.com/featured-columnists/hess-tower-cbre-debt-financing-hr-reit-hess-corporation-commercial-mortgages-office-building-sales-institutional-real-estate-investors-office-reits-lead-certified-shell-properties-5250.php>, dostęp: 03-05-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA ■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	■
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

Dzięki zastosowaniu wielu ekologicznych rozwiązań Hess Tower posiada złotą ocenę certyfikatu LEED. Jest 29-cio piętrowym biurowcem którego wyróżnia nie tylko zastosowanie turbin wiatrowych ale również zielony stropodach, most łączący go z sąsiednim budynkiem oraz udostępniony plac publiczny.

Jest jednym z niewielu przykładów realizacji, gdzie zdecydowano o demontażu turbin wiatrowych. Nastąpiło to w grudniu 2010 roku (kilka miesięcy po oddaniu obiektu do użytku), gdy pod wpływem porwistych wiatrów części turbiny spadły z budynku. Szczyt biurowca został zaprojektowany z myślą o integracji obiektu z turbinami wiatrowymi. Specjalnie ukształtowane nadwieszenie miało wzmocnić przepływ wiatru. Budynek jest bardzo zwarty i elegancki w swej formie. Zarówno ażurowe nadwieszenie dachu jak i lustrzana elewacja dodają Hess Tower lekkości, dzięki czemu estetyka obiektu współgra z założeniami jego zintegrowania z turbinami wiatrowymi.



Il. 5.46 Źródło: <http://www.worldpropertyjournal.com/featured-columnists/hess-tower-cbre-debt-financing-hr-reit-hess-corporation-commercial-mortgages-office-building-sales-institutional-real-estate-investors-office-reits-leed-certified-shell-properties-5250.php>, dostęp: 03-05-2018.

# San Francisco Public Utility Commission Headquarters

KMD Architects, Stevens Architects

525 Golden Gate, San Francisco, CA, Stany Zjednoczone

realizacja 2008 – 2012

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

8 turbin

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

7% (turbiny wiatrowe + ogniwa fotowoltaiczne)

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

55,17 m

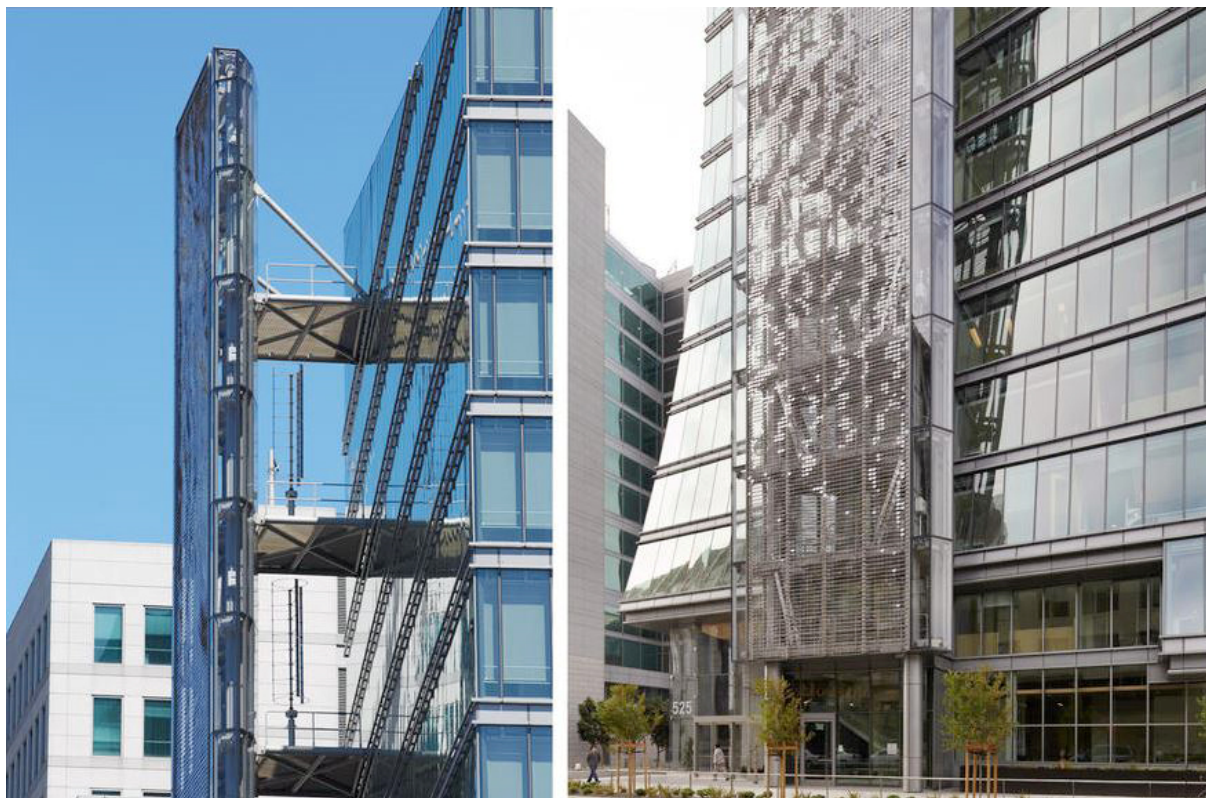


Il. 5.47, Il. 5.48 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE ■ TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	■
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

San Francisco Public Utilities Commission Headquarters jest budynkiem administracyjnym. Poza turbinami wiatrowymi posiada szereg proekologicznych rozwiązań takich jak recykling wody szarej i czarnej, panele słoneczne, system naturalnego chłodzenia (komin termiczny). Instalacje te zapewniają łącznie około 40% zapotrzebowania energetycznego budynku. Budynek przekroczył standardy LEED Platinum.

Użyte w projekcie turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu zostały w umiejętny sposób wbudowane pomiędzy fasadę północną, a wieżę wiatrową stając się integralną częścią architektury. Ta część obiektu została zaprojektowana z myślą o przyspieszeniu wiatru i optymalizacji wytwarzania energii. Na zewnętrznej stronie wieży wiatrowej została umieszczona instalacja artystyczna "Firefly", której autorem jest Ned Kahn. Setki małych, przezroczystych paneli z poliwęglanu poruszających się na wietrze obrazuje ruchy mas powietrza. Dodatkowym efektem wizualnym jest wyzwalanie przez nich migotania maleńkich lamp LED w czasie nocnym.



Il. 5.49, Il. 5.50 Źródło: <http://www.iaiopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.

**Pearl River Tower**  
Skidmore Owings & Merrill  
Zhujiang Avenue West, Tianhe, Guangzhou, Chiny  
realizacja 2006 – 2012

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

brak danych

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa wysokościowa

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

309,60 m



II. 5.51 Źródło: <http://www.skyscrapercenter.com/building/pearl-river-tower/454>, dostęp: 03-05-2018.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	■
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	

Pearl River Tower jest 71 piętrowym biurowcem. Projektanci podjęli się stworzenia najbardziej energooszczędnego budynku wysokościowego na świecie. Zastosowany system fasadowy umożliwia optymalne wykorzystanie światła dziennego. Podwójna elewacja od strony północnej i południowej wyposażona w system automatycznych żaluzji umożliwia wewnętrzną wentylację fasady. Obiekt został również wyposażony w zintegrowane panele fotowoltaiczne, kolektory słoneczne, zaawansowane systemy wentylacji, chłodzenia, a także system odzysku szarej wody. Zastosowane rozwiązania mają zmniejszyć zużycie energii o 58% w porównaniu z podobnymi budynkami.

Obiekt został usytuowany tak, aby „łapać” jak najwięcej wiatru. Także ukształtowanie bryły pozwala na maksymalne jego wykorzystanie. Jest jednym ze szandarowych projektów wysokościowych przyjaznych środowisku. Pierwotny projekt zakładał dodatkową instalację mikroturbin wiatrowych, jednak zrezygnowano z nich ze względów ekonomicznych (brak możliwości sprzedaży nadwyżek wyprodukowanej energii do sieci).



Il. 5.52 Źródło: <http://www.skyscrapercenter.com/building/pearl-river-tower/454>, dostęp: 03-05-2018.

## Croydon City House

brak danych

420–430 London Road, Croydon, Londyn, Anglia

realizacja 1965, modernizacja 2008

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Quiet Revolution qr5

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

8 turbin

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

przedmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt mieszkaniowy

WYSOKOŚĆ

46,33 m



Il. 5.53 Źródło: <https://www.onthemarket.com/details/5005365/>, dostęp: 03–05–2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA	
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA	■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE		■
	TURBINY ZAMASKOWANE		
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT		
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		■

Wolnostojący, 12–sto kondygnacyjny blok mieszkalny.

Jest to jeden z przykładów instalacji turbin wiatrowych w budynkach już istniejących. Prostą, prostopadłościenną bryłę bloku zwieńczono turbinami o pionowej osi obrotu. Wybranie w modernizacji tego właśnie źródła energii odnawialnej było nie przypadkowe. Ulica London Road przy której stoi obiekt jest niezwykle wietrznym obszarem w tkance miasta. Usytuowanie geograficzne, układu ulic i obiektów sąsiadujących, a także wysokość Croydon City House sprawiają, że jest on bardzo dobrym miejscem dla tego źródła energii. Pomimo iż zainstalowane turbiny wiatrowe nie poprawiają estetyki obiektu, jest to dobry przykład ich zastosowania z uwagi na istniejące warunki wietrzne. Wybrane zostały urządzenia o ażurowej budowie, nie dominujące swą formą nad zastaną bryłą bloku mieszkalnego.



Il. 5.54 Źródło: <https://www.flickr.com/photos/47566712@N02/4777131718/>, dostęp: 03–05–2018.

## Halifax Seaport Farmers' Market

Lydon Lynch Architects

1209 Marginal Road, Halifax, Nowa Szkocja, Kanada

realizacja 2010

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Southwest SkyStream turbines

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

4 turbin o mocy 2 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

nadbrzeże

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

brak danych

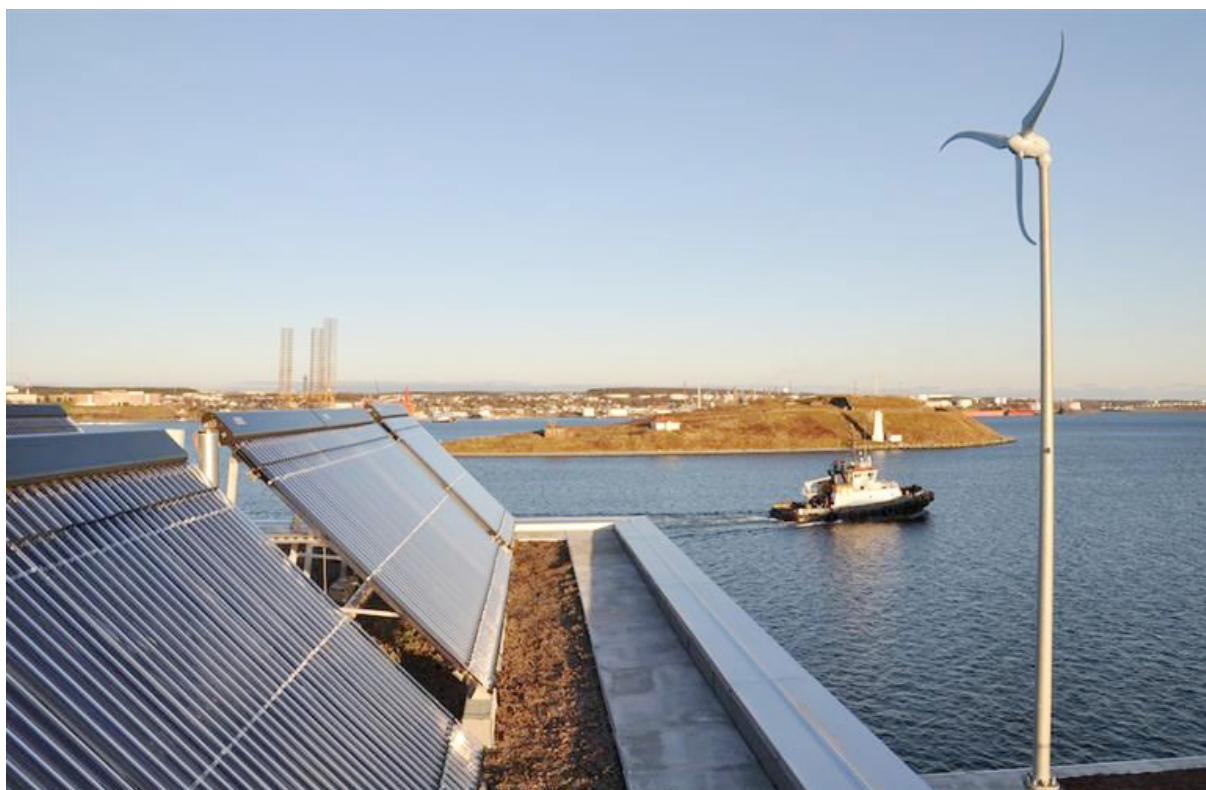


Il. 5.55 Źródło: [www.ecoyogini.blogspot.com](http://www.ecoyogini.blogspot.com)), dostęp: 08-11-2016.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE ■ WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Halifax Seaport Farmers' Market posiada głównie przestrzenie handlowe produktów rolnych. Zdobył certyfikat LEED Platinum. Dzięki zastosowaniu licznych rozwiązań proekologicznych zużywa 75% mniej energii oraz 75% mniej wody niż typowy budynek o podobnej kubaturze i funkcji. W obiekcie zainstalowano między innymi panele słoneczne, ogrzewanie geotermalne oraz dostępny dla wszystkich zielony dach. Dodatkowo zastosowano mniej kosztowne lecz o dużym znaczeniu, rozwiązania sprzyjające środowisku naturalnemu takie jak pokrycie ścian drewnem pochodzącym z odzysku. Halifax Seaport Farmers' Market zdobył miano jednego z najbardziej zrównoważonych budynków o niskim zużyciu energii w Ameryce Północnej<sup>64</sup>

Ponieważ jest to przykład zastosowania turbin wiatrowych w przestrzeni ścisłej zabudowy miejskiej, projektanci zadbali o wykorzystanie licznych rozwiązań dźwiękochłonnych, które miały zmniejszyć hałas pracujących turbin. Połączenie obiektu nadmorskiego z urządzeniami wiatrowymi było nie tylko dobrym rozwiązaniem ekonomicznym (z uwagi na bliskość wiatrów nadmorskich i czerpanie z nich energii) jak również wynikała z kontekstu miejsca.



Il. 5.56 Źródło: <http://archineers.com/projects/2014/03/07/seaport-farmers-market/>, dostęp: 03–07–2018.

<sup>64</sup> <http://www.lydonlynch.ca/sustainable-projects.php?halifax-seaport-farmers-market>, 03–07–2018

**HKU Centennial Campus**  
Wong & Ouyang / Sasaki Associates, Inc.  
28 Wang Hoi Road, Hong Kong, Chiny  
realizacja 2006

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY  
PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII  
MOC ZAINSTALOWANA  
PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ  
PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

Motorwave Ltd  
4,5 MWh  
brak danych  
brak danych

RODZAJ OBIEKTU  
KONTEKST

obiekt wysokościowy  
kampus uniwersytecki  
teren umiarkowanie zabudowany  
zabudowa wysokościowa

FUNKCJA  
WYSOKOŚĆ

obiekt usługowy  
94,39 m



II. 5.57 Źródło: [https://www.hkgbc.org.hk/sb13/en/gbtour\\_HK.aspx](https://www.hkgbc.org.hk/sb13/en/gbtour_HK.aspx), dostęp: 03-08-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Budynek 14-sto piętrowego kampusu uniwersyteckiego HKU uzyskał certyfikat LEED Platinum. Posiada wiele rozwiązań proekologicznych, wspierających zrównoważony rozwój. Został zaprojektowany w sposób umożliwiający chwywanie naturalnego światła oraz korzystanie z bryzy. W budynku znajduje się również zielony stropodach, energooszczędny system klimatyzacji pomieszczeń, zbiornik wody lodowej, kompostownik do żywności a także system oszczędzania oraz odzysku wody. Zainstalowano również urządzenia do produkcji energii odnawialnej (panele fotowoltaiczne i turbiny wiatrowe), które jednocześnie służą celom demonstracyjnym i naukowo badawczym uniwersytetu. Zastosowane na terenie kompleksu HKU rozwiązania przyczyniają się do około 30% oszczędności energii w porównaniu do porównywalnych obiektów o tej samej skali i funkcji.

Turbiny wiatrowe zostały zamontowane punktach kampusu (zarówno na dachu jak i w bardziej przyziemnych partiach obiektu) posiadających bardzo dobre warunki wiatrowe. System wiatrowy HKU składa się z trzech typów urządzeń: zespołów mini turbin wiatrowych opracowanych we współpracy z Wydziałem Mechanicznym HKU oraz dwóch typów turbin VAWT o wysokościach 8 m i 3 m.



Il. 5.58 Źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HKU\\_Centennial\\_Campus\\_L3\\_Podium\\_201412.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HKU_Centennial_Campus_L3_Podium_201412.jpg), dostęp: 03-08-2018.

## 4940 Building

Sinclair Hille Architects

North 118 Street, Omaha, NE 68164, Stany Zjednoczone  
realizacja 2008

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

brak danych

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ  
PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

6%

RODZAJ OBIEKTU

obiekt niski

KONTEKST

przedmieścia

teren słabo zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

brak danych



Il. 5.59 Źródło: [http://www.gbig.org/org\\_profiles/2038](http://www.gbig.org/org_profiles/2038), dostęp: 03-08-2018.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA	
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUŻELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA	■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE		■
	TURBINY ZAMASKOWANE		
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT		
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		■

Morrissey Engineering stawia nacisk na integrację systemów energii odnawialnej zarówno z obiektami nowoprojektowanymi jak i istniejącymi. Budynek 4940 jest siedzibą, a zarazem wizytówką firmy. Został wyposażony w system słoneczny (fotowoltanika), wiatrowy (turbiny wiatrowe), geotermalny (gruntowa pompa ciepła), a także odzysk wody deszczowej oraz rekuperację. Dodatkowo przy budowie zostały wykorzystane materiały z recyklingu. Obiekt maksymalizuje korzyści ze światła dziennego. Ponadto został wyposażony w cyfrowy system sterowania oświetleniem, odblaskowe pokrycie dachowe (w celu redukcji przegrzewania obiektu) oraz monitorowanie zużycia energii w czasie rzeczywistym. Liczne elementy projektu pozwalające zredukować zużycie energii doprowadziły do 40% obniżenia produkcji CO<sub>2</sub>. Obiekt posiada certyfikat LEED Platinum.

Architekci postarali się o zachowanie równowagi pomiędzy estetyką i funkcjonalnością tworząc równocześnie obiekt przyjazny dla środowiska. Dzięki licznym przeszkleniom budynek w pełni koresponduje z otaczającym go krajobrazem. Delikatna forma turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu w żaden sposób nie wpływa na formę obiektu oraz nad nią nie dominuje. Jest natomiast ciekawym elementem zwieńczającym dach, który jednocześnie podkreśla proekologiczne aspekty budynku.



Il. 5.60 Źródło: <https://www.ecmweb.com/content/electric-submeters-optimize-building-performance-engineering-firm-s-headquarters>, dostęp: 03-08-2018.

# Harold Washington Social Security Center

Lester B. Knight Associates

600 West Madison Street, Chicago, Illinois, Stany Zjednoczone

realizacja 2009

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

712V Hybrid Aeroturbines

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

4 turbin

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa zróżnicowana niska/wysoka

FUNKCJA

obiekt biurowy

WYSOKOŚĆ

55 m



Il. 5.61 Źródło: <http://chicago-outdoor-sculptures.blogspot.com/2007/11/batcolumn.html>, dostęp: 03-08-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Centrum Bezpieczeństwa Socjalnego Harolda Washingtona zbudowane w 1975 roku jest 10 piętrowym budynkiem rządowym. Stanowi przykład instalacji turbin wiatrowych w obiekcie istniejącym. Poza zainstalowanymi w 2009 roku Aeroturbinami (mającymi wytwarzać 2500 watów przy prędkości wiatru 51 kilometra na godzinę), posiada liczne rozwiązania energooszczędne (min. 12 paneli słonecznych, energooszczędne oświetlenie czy kontrolę zarządzania energią). Zmniejszają one roczne zużycie energii o ponad 20 procent. Biurowiec wyróżnia wielkogabarytowa rzeźba Claesa Oldenburga zatytułowana Batcolumn, znajdująca się przy elewacji frontowej.

Turbiny zostały zainstalowane na szczycie budynku. Z uwagi na wysokość obiektu i ażurową budowę urzędów, nie wpływają one na jego estetykę. Z poziomu człowieka turbiny są niemal niewidoczne. Natomiast ich obraz z dalszej perspektywy dobrze koresponduje z rzeźbą Oldenburga – łączy je ażurowa, metalowa konstrukcja obu obiektów. Równocześnie delikatna budowa turbiny nie zaburza mocnej, spójnej bryły biurowca. Poza możliwością stania się nowym laboratorium testowania energii odnawialnej w miastach, przypadek ten pokazuje wariant modernizacji obiektów w środowisku gęstej zabudowy miejskiej.



Il. 5.62 Źródło: [http://www.aeroteecture.com/projects\\_ssa.html](http://www.aeroteecture.com/projects_ssa.html), dostęp: 03-08-2018.

## Elbarkaden Green Office, HafenCity Hamburg

Bob Gysin + Partner BGP Architekten

Hamburg, Niemcy

realizacja 2014

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

3 VAWT CleanVerTec

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

3 turbiny

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysoki

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa zróżnicowana niska/średniowysoka

FUNKCJA

obiekt biurowy

WYSOKOŚĆ

29,35 m



Il. 5.63 Źródło: [www.bgp.ch/Code/PR.asp?ID\\_UT=5&ID=578&FID=863&Offset=1](http://www.bgp.ch/Code/PR.asp?ID_UT=5&ID=578&FID=863&Offset=1), dostęp: 01-10-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Projekt kompleksu Elbarkaden skupia się na dwóch podstawowych czynnikach: szacunku dla nietypowego i zarazem niezwykle prestiżowego kontekstu jakim jest wschodni brzeg portu w Magdeburgu oraz połączenia trzech różnych części kompleksu posiadających odmienne funkcje. Zarówno inwestor jak i projektanci położyli nacisk na zrównoważony rozwój, który przejawia się tu w zastosowaniu takich rozwiązań jak maksymalne wykorzystanie światła dziennego, wykorzystanie wody deszczowej, system fotowoltaiczny na dachu, wykorzystanie energii geotermalnej, dobrze izolowane fasady, instalacja turbin wiatrowych oraz system monitoringu zużycia energii w całym kompleksie.

Trzy duże turbiny wiatrowe zamontowane na dachu części Green Office stały się symbolem całego kompleksu. Nie wpływają one na kształtowanie bryły. Smukłe, stalowe słupy podpierające podcień na parterze siedmiopiętrowego budynku są jedynym, materiałowym nawiązaniem łączącym estetykę Elbarkaden z zamontowanymi na dachu turbinami. Jednak pomimo kolorystycznych i materiałowych nawiązań do elementów elewacji (słupy, stolarka okienna, obróbki blacharskie), turbiny wyraźnie sprawiają wrażenie elementów dodanych, nie tworzących spójnej całości z obiektem.



Il. 5.64 Źródło: [www.bgp.ch/English/PR.asp?ID\\_UT=5&ID=578&FID=856&Offset=1](http://www.bgp.ch/English/PR.asp?ID_UT=5&ID=578&FID=856&Offset=1), dostęp: 01-10-2018.

## Pepsico/Quaker Oats – Sustainability Center

brak danych

555 West Monroe, Chicago, Illinois, Stany Zjednoczone

realizacja 2001 – 2002

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Hybrid AeroSolar 610V

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

brak danych

MOC ZAINSTALOWANA

4 turbin o mocy 1 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

teren umiarkowanie zabudowany

zabudowa zróżnicowana niska/wysoka

FUNKCJA

obiekt usługowy

WYSOKOŚĆ

79,40 m

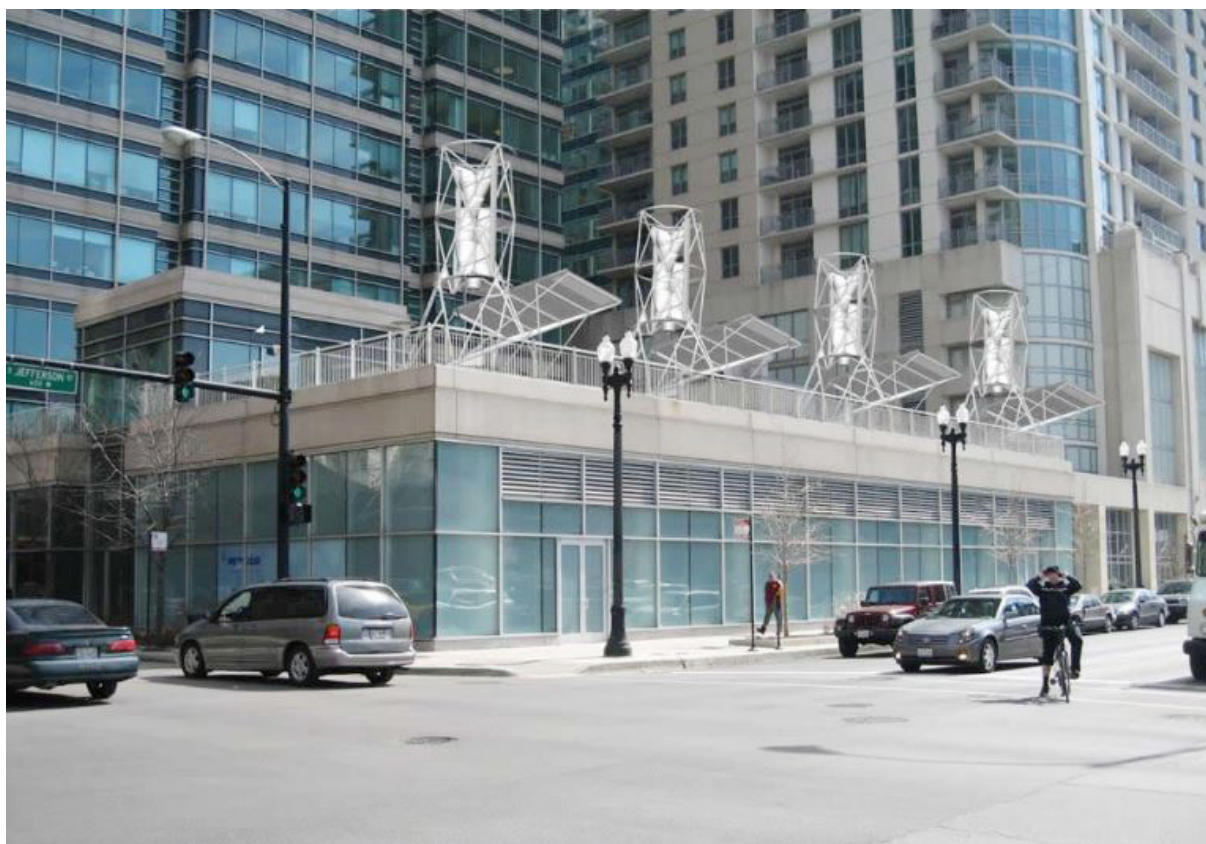


Il. 5.65 Źródło: [www.loopnet.com](http://www.loopnet.com), dostęp: 28-01-2017.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Biurowiec PepsiCo powstał w wyniku współpracy z Aerotecture International Inc. Projektanci zwrócili szczególną uwagę na obniżenie zużycia energii, ograniczenie zużycia wody, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, a także zminimalizowanie produkcji odpadów osiągając srebrny certyfikat LEED. Jednymi z ważniejszych urządzeń wpływających na dobry bilans energetyczny budynku są turbiny wiatrowe.

Projektanci zastosowali Hybrid AeroSolar będące połączeniem turbin wiatrowych z panelami słonecznymi (o mocy 700 Watt każdy). Turbiny są zainstalowane na dachu wieżowca, natomiast ich konstrukcja nośna została zakotwiona w betonowych skrzyniach będących częścią zielonego ogrodu na dachu. AeroSolar nie wpływają na kształtowanie bryły budynku. Nie nawiązują również do architektury obiektu będąc jedynie kolejnym instalacyjnym dodatkiem. Jedynie wybór ich lokalizacji (w ogrodzie na dachu) nadaje im dodatkową funkcję edukacyjną oraz ideową. Instalacja w miejscu będącym obszarem rekreacyjnym pracowników podkreśla proekologiczny charakter obiektu.



Il. 5.66 Źródło: [http://www.aerotecture.com/projects\\_pepsico.html](http://www.aerotecture.com/projects_pepsico.html), dostęp: 28-01-2017.

## Becton Engineering and Applied Science Center

Marcel Breuer

15 Prospect Street, New Haven, Connecticut, Stany Zjednoczone

realizacja 2009

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

AeroVironment Inc.

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

26 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

10 turbin o mocy 1 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ

brak danych

PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM

ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

śródmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa średniowysoka

FUNKCJA

obiekt edukacyjny

WYSOKOŚĆ

22,64 m



Il. 5.67 Źródło: <https://yalealumnimagazine.com/articles/2575-no-tilting-please>, dostęp: 25-01-2017.



RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ■ ROTOROWE SAVONIUSA
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	■
	TURBINY ZAMASKOWANE	
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Budynek powstał w 1970 roku (projekt Marcela Breuera). Mieści w sobie biura, laboratoria, kawiarnię oraz audytorium. Jego elewacja została pokryta prefabrykowanymi płytami betonowymi. Umieszczenie w 2009 roku mikro turbin wiatrowych na obiekcie było nie tylko sposobem pozyskania odnawialnej energii, ale przede wszystkim stało się symbolem dla studentów, wykładowców, pracowników i mieszkańców Yale New Haven, ukazującym postęp i zaangażowanie uczelni w rozwój zrównoważony. Zainstalowane turbiny wiatrowe spełniają funkcję nie tylko energetyczną, czy wizualną, ale również badawczą i propagującą nowoczesne technologie OZE. Konstrukcja zainstalowanych urządzeń zapewnia pracę przy niewielkim wietrze (zaledwie 11,25 km/h). Turbiny są ciche. Zostały zwrócone na zachód, ale posiadają mechanizm pozwalający na samodzielny obrót o 30° na północ lub południe co maksymalizuje ich wydajność. Zarówno turbiny jak i zapis danych w czasie rzeczywistym są z powodzeniem wykorzystywane w zajęciach dydaktycznych prowadzonych na uniwersytecie.

Zainstalowane turbiny nie nawiązują do zastelej bryły obiektu. Ich lekka, śmigłowo budowa jest przeciwieństwem ciężkiego wyrazu prefabrykowanych, betonowych płyt. Elementem spajającym urządzenia z budynkiem jest kolorystyka i ich techniczny, industrialny charakter.



Il. 5.68 Źródło: <http://www.sosbrutalism.org/cms/16246931>, dostęp: 06-11-2018.

## Eagles' Nest / Lincoln Financial Field

NBBJ, Agoos Lovera Architects

1020 Pattison Avenue, Philadelphia 19147, Philadelphia, Stany Zjednoczone  
realizacja 2003, renowacja 2013

INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

WTÓRNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

Urban Green Energy (UGE)–4KS

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

4 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

14 turbiny

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ  
PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

brak danych

RODZAJ OBIEKTU

obiekt średniowysoki

KONTEKST

zabudowa podmiejska

teren bardzo słabo zabudowany

zabudowa niska

FUNKCJA

obiekt sportowy

WYSOKOŚĆ

brak danych



Il. 5.69 Źródło: <https://www.suiteexperiencegroup.com/all-suites/nfl/philadelphia-eagles/>, dostęp: 24-11-2018.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPIĄTOWE ROTOROWE SAVONIUSA	
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA	■
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE		■
	TURBINY ZAMASKOWANE		
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT		
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU		■

Stadion został zaprojektowany na 69176 miejsc znajdujących się na trzech poziomach widowni. Posiada na narożnikach trzy otwarte place, część rozrywkową (Headhouse) oraz wieżę z sygnaturą i balkon "Gniazdo Orłów" z widokiem na murawę i centrum Filadelfii. Architekci wzięli pod uwagę potrzebę elastyczności użytkowania obiektu. Dlatego też istnieje możliwość organizacji nie tylko rozgrywek sportowych, ale również imprez koncertowych. Stadion został wyposażony w rozwiązania umożliwiające produkcję zielonej energii takie jak panele słoneczne oraz turbiny wiatrowe. Mają one zapewnić produkcję 100% całkowitego zapotrzebowania na energię w dniach poza rozgrywkami oraz ok. 30% całkowitego zapotrzebowania obiektu na energię.

Obiekt przeszedł modernizację w roku 2013. Zainstalowano 14 turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu i wysokości ponad 4,5 m. Ekspozycja turbin na przeciwległych końcach murawy (w dwóch grupach po 7) miała spełniać rolę wizualnej promocji zrównoważonych idei jakie przyświecały twórcom projektu oraz całemu zespołowi Lincoln Financial Field. Lokalizacja i dobór turbin zostały tak zaprojektowane, aby nie przeszkadzały widzom w uczestnictwie w wydarzeniach mających miejsce na terenie obiektu.



Il. 5.70 Źródło: <https://www.sportsvideo.org/2018/01/30/panasonics-everest-wifi-excels-during-nfc-championship-game-at-lincoln-financial-field/>, dostęp: 24-11-2018.

## Shanghai Tower

Gensler

Yincheng Middle Rd 501, 200120 Shanghai, Chiny  
realizacja 2015

### INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH

PIERWOTNA

PRODUCENT, NAZWA TURBINY

brak danych

PRZEWIDYWANA ROCZNA PRODUKCJA ENERGII

350 MWh

MOC ZAINSTALOWANA

270 turbin o mocy 0,5 kW każda

PROCENTOWY UDZIAŁ ENERGII WYTWAŻANEJ  
PRZEZ TURBINY WIATROWE W CAŁKOWITYM  
ZAPOTRZEBOWANIU OBIEKTU NA ENERGIĘ

10%

RODZAJ OBIEKTU

obiekt wysokościowy

KONTEKST

śródmieście

teren gęsto zabudowany

zabudowa wysoka

FUNKCJA

obiekt biurowo-usługowy

WYSOKOŚĆ

632 m



Il. 5.71 Źródło: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>, dostęp: 19-01-2019.

RODZAJ ZASTOSOWANEJ TURBINY WIATROWEJ	TURBINY O POZIOMEJ OSI OBROTU	ŚMIGŁOWE WIELOPŁATOWE ROTOROWE SAVONIUSA ■
	TURBINY O PIONOWEJ OSI OBROTU	KARUZELOWE TYPU TORNADO DARRIEUSA
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MONTAŻ TURBIN	TURBINY AUTONOMICZNE	
	TURBINY ZAMASKOWANE	■
	TURBINY TWORZĄCE OBIEKT	
KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	TURBINY WYWIERAJĄCE WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	
	TURBINY NIE WYWIERAJĄCE WPŁYWU NA KSZTAŁTOWANIE OBIEKTU	■

Shanghai Tower jest jednym z elementów tak zwanej pionowej urbanistyki miasta. Wieża zapewnia przestrzenie publiczne, parki, place, sklepy, restauracje itp. umieszczone na poziomach atrium zwanych również ogrodami nieba. Pomiedzy nimi znajduje się dziewięć cylindrycznych części, jedna nad drugą, obleczonej szklaną fasadą. Pojedynczy budynek zamienia się niemal w samowystarczalne miasto. Nietypowy kształt wieży powstał na potrzeby specyficznego klimatu w którym często występują tajfuny. Zwężający się profil oraz zaokrąglone narożniki budynku mają zmniejszać działające na budynek obciążenia wiatrem. Stała się niewątpliwie znakiem rozpoznawczym panoramy Shanghaju. Przezroczysta, spiralna wieża przedstawia zrównoważone podejście do projektowania obiektów wysokościowych. Została wyróżniona trzygwiazdkowym rankingiem China Green Building oraz certyfikatem LEED Platinum od amerykańskiej Rady Budownictwa Ekologicznego.

Na najwyższych piętrach wieży zainstalowano ponad dwieście turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu. Zostały one zamontowane wertykalnie. Nie wpływają na bryłę budynku. Z uwagi na prostą konstrukcję i niewielkie (w stosunku do wieży) gabaryty wtapiają się w elewację tworząc misterne zwieńczenie Shanghai Tower. Dodatkowo wieża posiada 54 turbiny również o pionowej osi obrotu lecz zainstalowane w tradycyjny sposób.



Il. 5.72 Źródło: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>, dostęp: 19-01-2019.

## V.4. RÓŻNORODNOŚĆ ZASTOSOWAŃ ENERGII WIATRU W ARCHITEKTURZE

Człowiek od zawsze próbował podporządkować sobie naturę, wykorzystując ją do swych celów. Dzieje się tak również z przemieszczaniem się powietrza. Zastosowanie energii kinetycznej wiatru w architekturze ma wiele możliwości, nie ogranicza się jedynie do zamiany jej na energię elektryczną z wykorzystaniem turbin wiatrowych.

### V.4.1. Przewietrzanie i wentylacja

Jednym z głównych zastosowań energii wiatrowej jest przewietrzanie terenów zurbanizowanych. Już od czasów starożytnych budowano miasta w taki sposób, aby przemieszczające się masy powietrza mogły w sposób naturalny zapewniać wymianę powietrza w centrach obszarów zabudowanych. Pomaga to ograniczyć negatywne skutki ścisłej zabudowy, takie jak tworzenie „wyspy ciepła” (temperatura w centrach dużych miast jest wyższa o kilka do kilkunastu stopni od temperatury na ich peryferiach), spowodowane emisją ciepła powstałego w czasie spalania paliw, stratami ciepła z ogrzewania budynków zimą lub emisją ciepła w czasie pracy urządzeń klimatyzacyjnych latem. Dostęp do świeżego, niezanieczyszczonego powietrza i możliwość jego regularnej wymiany ma istotny wpływ na pozbycie się smogu z miast. Z każdym rokiem stanowi on poważniejszy problem dla Polskich miast, które są coraz bardziej zabudowywane. Brak starań o utrzymanie tak zwanych korytarzy przewietrzania miasta skutkuje przekraczaniem dopuszczalnych norm jakości powietrza i wpływa negatywnie na zdrowie mieszkańców. Przykładem jest Miasto Kraków w którym zostały wytyczone korytarze przewietrzania miasta (Rys. 5.12). Zostały również ustalone i uwzględnione w Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa wytyczne mające na celu ochronę wytyczonych korytarzy. Niestety korytarze te są blokowane przez bariery architektoniczne (wysoką i gęstą zabudowę).



Rys. 5.12 Korytarze przewietrzania miasta – Kraków. Opracowanie własne na podstawie ekspertyzy K. Błażejczyka dotyczącej systemu wymiany i regeneracji powietrza w Krakowie.

Aby przepływ powietrza przez zabudowę odbywał się bez przeszkód należy więcej uwagi poświęcić procesowi kształtowania tkanki miejskiej i przewidywać ruchy mas powietrza już na etapie projektowym. Należy unikać powstawania lokalnych stref dużej prędkości wiatru (co również niekorzystnie wpływa na jakość życia tworząc uczucie ciągłego przeciągu), a jednocześnie projektować taki układ struktury urbanistycznej, ażeby powietrze mogło swobodnie przepływać przez miasto. Aby

zapobiec niepotrzebnemu rozpraszaniu się zabudowy należy integrować ciągi zieleni miejskiej oraz pozamiejskiej z dominującymi kierunkami wiatrów.

Mając świadomość zasad przepływu powietrza pomiędzy terenami zabudowanymi jesteśmy zatem w stanie zapewnić odpowiednie napowietrzenie i przewietrzanie miasta poprzez prawidłowe kształtowanie tkanki miejskiej. Polega ono przede wszystkim na właściwym projektowaniu układu ulic, wysokości zabudowy czy też obecności placów i stref zieleni.

Prawidłowe przewietrzanie oraz wentylacja miasta były jednym z założeń projektu miasta przyszłości Masdar City (Il. 5.73). Ma być ono pierwszym, w pełni ekologicznym, zrównoważonym, samowystarczalnym energetycznie miastem. Zaprojektowane przez Normana Fostera (Foster and Partners) powstaje w emiracie Abu Zabi w Zjednoczonych Emiratach Arabskich (oddalone około 17 km na południowy wschód od stolicy). Głównym inwestorem jest Mubadala Development Company. Masdar City ma być nieemitującym CO<sub>2</sub> miastem całkowicie zasilanym energią słoneczną, wiatrową, wodną i biopaliwową. Poza aspektami ekologicznymi, ma to być atrakcyjne miejsce do życia jak również komercyjnie opłacalna inwestycja. Masdar City będzie spełniać warunki, które mają uczynić je miastem zrównoważonym. Należą do nich: wytwarzanie i zarządzanie energią, wytwarzanie i zarządzanie wodą, gospodarka odpadami, planowanie, inżynieria i architektura, zrównoważone materiały budowlane oraz planowanie i zarządzanie transportem.



Il. 5.73 Masdar City widok z lotu ptaka, źródło: [https://www.google.pl/search?q=masdar+city&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiYxtu25KDZAhWIhaYKHbMcBWMQ\\_AUICigB&biw=1920&bih=949#imgrc=7xzf2lAX\\_jaf5M;](https://www.google.pl/search?q=masdar+city&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiYxtu25KDZAhWIhaYKHbMcBWMQ_AUICigB&biw=1920&bih=949#imgrc=7xzf2lAX_jaf5M;) dostęp: 02-02-2017.

Miasto jest w budowie od 2006 roku. Docelowo ma zajmować powierzchnię 6 km<sup>2</sup> i umożliwiać zamieszkanie 50 000 osobom oraz zapewniać dodatkowo 40 000 miejsc pracy dla osób przyjezdnych. Zostało zaprojektowane tak, aby było maksymalnie wygodne dla użytkowników i wywierało minimalny wpływ na środowisko naturalne. Struktura miasta składa się z przestrzeni edukacyjnych i rekreacyjnych

oraz obiektów mieszkaniowych, handlowych, produkcyjnych i biurowych. Mieszkańcy mają więc ułatwiony dostęp do zróżnicowanych usług, a także możliwość mieszkania i pracy w jednym miejscu, co zmniejsza potrzeby transportowe.

Głównymi zainstalowanymi technologiami, z których ma korzystać miasto, są systemy solarne, ogniwa fotowoltaiczne oraz źródła energii geotermalnej. Sam projekt Masdar City ma znacząco wpłynąć na zredukowanie zużycia energii. Wąskie uliczki i zacienione chodniki zmniejszają potrzebę klimatyzacji. Również północno-wschodnia ekspozycja miasta ma zminimalizować ilość promieni słonecznych docierających bezpośrednio do budynków, co uchroni je przed przegrzewaniem. Projektanci zakładają, że 80% zużytej wody zostanie poddana recyklingowi. Przemysłany został również tak ważny problem jak gospodarka odpadami. Nieorganiczne odpady z całego miasta mają być poddawane recyklingowi, organiczne natomiast trafią do elektrowni jako paliwo. Zużycie wody i energii ma wynosić jedną czwartą zużycia podobnej wielkości miasta. Natomiast materiały budowlane użyte do wznoszenia miasta mają pochodzić z recyklingu (w tym drewno certyfikowane z racjonalnie zarządzanych lasów).

Dodatkowym atutem miasta będą budynki wykorzystujące najnowsze technologie umożliwiające produkcję czystej energii oraz minimalizujące jej straty i zużycie. Ma do nich należeć między innymi obiekt projektu pracowni LAVA. Masdar Headquarters, czyli tzw. „centrala” powstanie w centrum ekomiasta i będzie dużym, wielofunkcyjnym zespołem z wewnętrznym placem. Dachy kompleksu mają zostać w całości pokryte ogniwami fotowoltaicznymi. Charakterystycznym elementem placu będą zacieniające go „parasole”. W ciągu dnia mają zacieniać plac pobierając jednocześnie energię cieplną, natomiast składać się w nocy. Zgromadzona przez nie energia cieplna będzie służyć do ogrzewania budynków w centrum Masdaru. Ukształtowanie bryły Masdar Headquarters (proj. Adrian Smith i Gordon Gill) ma ułatwić naturalną wentylację i chłodzenie, kierując ciepłe powietrze ponad poziom dachu. Bryła kompleksu będzie zapewniać również dostęp naturalnego światła i tworzyć wewnętrzne dziedzińce przypominające oazy.

Do najważniejszych obiektów ecomiasta należy niewątpliwie 45 metrowa wieża wiatrowa mająca powstać w pobliżu Masdar Institute (Il. 5.74). Będzie ona w stanie wychwycić powietrze, które w normalnych warunkach nie miałoby szans dotrzeć do miasta i skierować je na otwartą przestrzeń publiczną znajdującą się u jej podstawy. Czujniki znajdujące się w górnej części tej konstrukcji pozwalają na sterowanie żaluzjami, które umożliwiają otwarcie w kierunku wiejącego wiatru i zamknięcie z innych stron, aby skierować wiatr w dół wieży. Rozwiązanie to zostało zaczerpnięte z rozwiązań tradycyjnej architektury arabskiej i połączone z najnowszą technologią. W znacznym stopniu ułatwia przewietrzanie miasta.





Il. 5.74 Wieża wiatrowa w pobliżu Masdar Institute, źródło: <http://openbuildings.com/buildings/masdar-institute-profile-39425#!buildings-media/0>, dostęp: 02-02-2017.

Masdar City odgrywa ważną rolę w transformacji gospodarki Abu Zabi opartej do tej pory głównie na wydobyciu ropy naftowej. Predystynuje ona jednak do roli gospodarki opartej na najnowszej wiedzy i innowacjach.<sup>65</sup>

#### V.4.2. Dynamiczne fasady

Ciekawym rozwiązaniem, po które coraz częściej sięgają projektanci, są dynamiczne fasady. Tworzone z wielu ruchomych elementów, zmieniających swoje położenie w czasie, stanowią nową jakość w architekturze. Ruchome elewacje stają się niezwykle ciekawym elementem obiektu architektonicznego. Jednym z rodzajów fasad dynamicznych są elewacje, których ruchome elementy poruszane są poprzez podmuch wiatru. Działanie siły wiatru wprawia elementy fasady w ruch tworząc nową jakość – elewację zmienną w czasie. Rozwiązania tego typu są niezwykle zaskakujące, pomysłowe i wymagają współpracy międzybranżowej architektów, mechaników oraz producentów materiałów elewacyjnych.

Przykładem tego typu realizacji jest The Swiss Science Center – Technorama (Il. 5.75), centrum nauki znajdujące się w Winterthur w Szwajcarii. Projekt wykonany przez pracownię Dürig AG

<sup>65</sup> [www.masdarcity.ae](http://www.masdarcity.ae)

Architekten. Natomiast autorem niezwyklej fasady jest Ned Kahn. Stworzyli oni niepowtarzalną elewację budynku, składającą się z tysięcy aluminiowych paneli poruszających się pod wpływem podmuchu wiatr (Il. 5.76). Zmieniająca się wciąż struktura obrazuje turbulencje mas powietrza, do których dochodzi wzdłuż elewacji obiektu. Ponieważ układ wzorów powstających na ścianie budynku nie jest wynikiem komputerowych obliczeń, tylko naturalnych procesów zachodzących w naturze, jest on wciąż zmienny i nieprzewidywalny. Dzięki temu elewacja nieustannie zmienia się w czasie. Dodatkowo efekt płynącej ściany wzmacnia duża przestrzeń otwartego, miejskiego placu znajdującego się przed budynkiem muzeum.

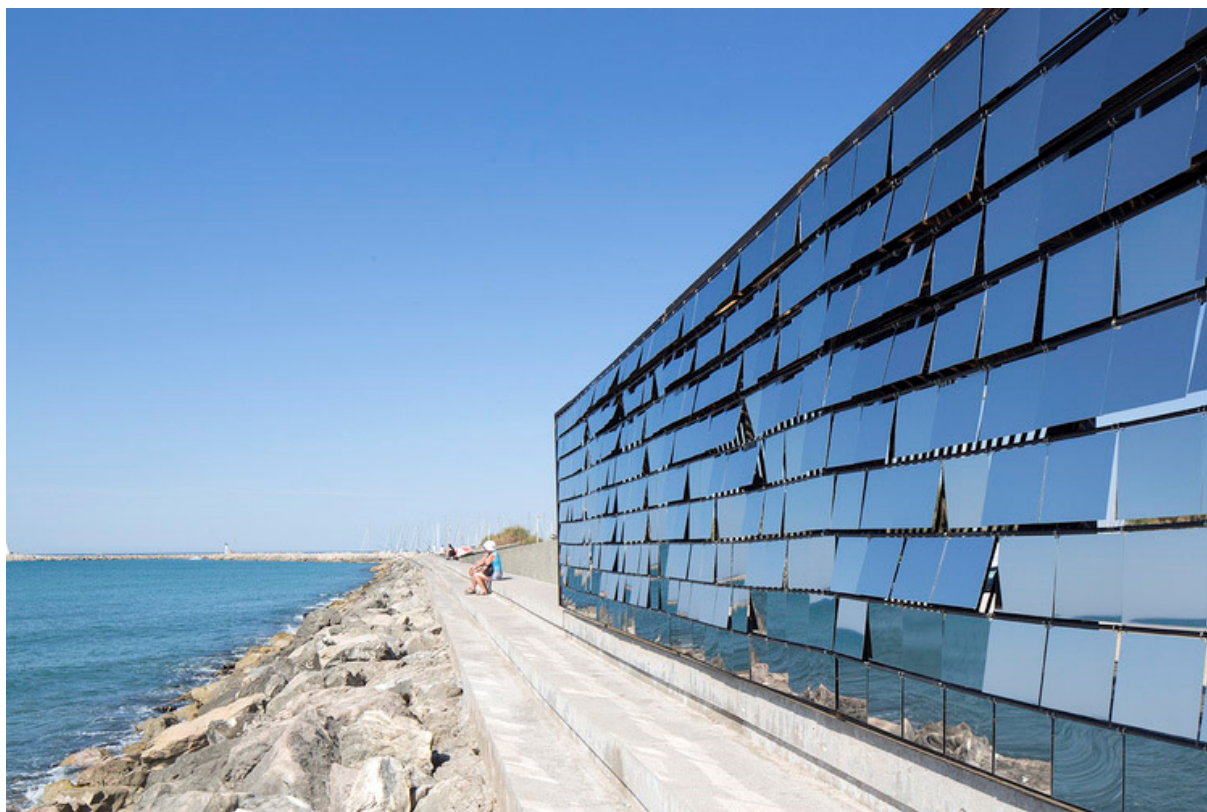


Il. 5.75 Technorama, źródło: <http://nedkahn.com/portfolio/technorama-facade/>, dostęp: 03-02-2017.



Il. 5.76 Technorama – detal elewacji, źródło: <https://smartercities.wikispaces.com/Technorama+Facade>, dostęp: 03-02-2017

Podobny zabieg został zastosowany w "Breath Box", pawilon zaprojektowany przez NAS Architecture w roku 2014 (Il. 5.77). Skierowana w stronę horyzontu ściana została wykończona 300 lustrzanymi płytkami odbijającymi i zniekształcającymi obraz morza. Ruchome elementy zostały przymocowane w sposób umożliwiający ich ruch pod wpływem wiatru. Takie rozwiązanie daje wrażenie pulsowania czy też płynięcia elewacji, która zamienia otaczający ją pejzaż w mozaikę. Doświadczenia odbierania budynku przez obserwatora są za każdym razem nieco inne i zmieniają się w czasie.



Il. 5.77 "BREATH BOX" – Efemeryczny pawilon na 2014 Festival des Architectures Vives – detal elewacji, źródło: <https://nasarchitecture.com/Pavillon-ephemere-pour-le-Festival-des-Architectures-Vives-2014>, dostęp: 16-02-2018.

#### V.4.3. Reklama

Projektanci i inwestorzy równie często wykorzystują powierzchnię turbin wiatrowych jako obszar reklamy. Dość często umieszczane są na łopatach turbin logo, nazwy firm lub kolorystyka nawiązująca do firmy, której siedzibą jest dany budynek. Przykład takiego rozwiązania można obserwować Mylly Shopping Centre w Turku gdzie zainstalowane turbiny mają kolory zaczerpnięte bezpośrednio z logo sklepu (Il. 5.78). W takim przypadku spełniają one podwójną rolę. Produkcją energii oraz są częścią reklamy firmy, która mieści się w danym obiekcie.



Il. 5.78 Mylly Shopping Centre, Turku, Finlandia, źródło: <https://www.windside.com/products/ws-12>, dostęp: 26-01-2019.

#### V.4.4. Sztuka

Turbiny wiatrowe zintegrowane z architekturą lub będące częścią przestrzeni publicznej (placów, skwerów, parków itp.) są czasami wykorzystywane przez artystów w ich instalacjach. Jednym z takich przypadków jest turbina Windside WS-4B użyta przez Tarję Ervasti w instalacji o nazwie „permanent light art work” (Il. 5.79). Praca została zrealizowana w roku 2005. W opisywanej instalacji turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu zainstalowana na dachu jednego z budynków w Helsinkach została połączona z iluminacją świetlną na elewacji frontowej obiektu. Urządzenie produkuje prąd potrzebny do działania instalacji oraz będąc jej częścią wyznacza dynamikę pracy oświetlenia.



Il. 5.79 Instalacja Permanent light art work, autorka: Tarja Ervasti, Helsinki 2005 r., źródło: <http://www.tarjaervasti.com/index.php/gallery-light-art>, dostęp: 16-02-2018.

Przykładem realizacji łączącej turbinę wiatrową ze sztuką jest również instalacja integrująca 12-metrową turbinę wiatrową typu Darrieus'a z placem wewnętrznym powstała w Monachium<sup>66</sup>. Jest dziełem nowojorskiego artysty Vito Acconci. Tak zwany "Dziedziniec na wietrze" jest częścią placu wewnętrznego i składa się z pierścienia obracającego się powoli za przyczyną energii generowanej przez turbinę (Il. 5.80).



Il. 5.80 Instalacja COURTYARD IN THE WIND, autor: Vito Acconci, Monachium 2000 r., źródło: <http://acconci.com/courtyard-in-the-wind/>, dostęp: 16-02-2018.

<sup>66</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.118

Jedną z nowszych i dość dyskusyjnych instalacji turbin wiatrowych jest ich montaż na Wieży Eiffla (Il. 5.81). Dwie turbiny wiatrowe UGE VisionAIR5 o pionowej osi obrotu zostały zamontowane w ramach zielonej modernizacji obiektu. Są to ciche urządzenia nie tworzące hałasu, który mógłby wpływać na odbiór obiektu przez zwiedzających. Znajdują się na wysokości około 122 m i są pomalowane farbą imitującą materiał konstrukcyjny wieży Eiffla tak, aby wtapiać się w strukturę obiektu. Turbiny umieszczone pomiędzy stalowymi elementami są niemal niezauważalne z perspektywy przechodnia, dlatego też nie wpływają znacząco na estetykę obiektu. Producent zapewnia, że urządzenia mają wyprodukować ponad 10 000 kWh energii elektrycznej w ciągu roku. Nie są to duże ilości energii, jednakże jej produkcja nie była jedynym celem instalacji turbin. Zielona modernizacja wieży miała stać się również elementem edukacyjnym dla turystów z całego świata, którzy zwiedzają symbol Paryża. Urządzenia produkujące zieloną energię mają informować o najnowszych rozwiązaniach OZE oraz zachęcać do ich stosowania. Słuszność instalacji turbin wiatrowych na tak charakterystycznym i niepowtarzalnym obiekcie, zarówno pod względem estetycznym jak i historycznym, jest dyskusyjna. Niemniej jednak wieża powstała między innymi jako demonstracja wiedzy i możliwości technicznych epoki. Z tego względu umieszczenie na niej w czasie modernizacji najnowszych rozwiązań technicznych, jakimi są współcześnie turbiny wiatrowe, wydaje się być dobrą drogą.



Il. 5.81 Zbliżenie na turbiny wiatrowe UGE zamontowane na 122 metrze wieży Eiffla, aut. fot. Aleksandra Głuchowska, Paryż 2018 r.

#### V.4.5. Mała architektura i przestrzeń publiczne

Turbiny wiatrowe są również wykorzystywane w architekturze jako część małej architektury współtworzącej przestrzeń publiczną miast. Jednym z przykładów jest instalacja będąca częścią Airway Gateway w El Paso projektu Vicki Scuri (Il. 5.82). Jest to projekt renowacji istniejącej infrastruktury będącej częścią „bramy” do międzynarodowego lotniska El Paso i centrum miasta. Autorka tworząc kompozycję inspirowała się obrazami lotu i ruchu. Projekt stanowi zespół szesnastu

50–metrowych, podświetlonych (programowalne oświetlenie LED) turbin wiatrowych umieszczonych na stalowych wieżach. Smukłe i ażurowe konstrukcje odznaczają się na tle nieba nie przytłaczając jednocześnie krajobrazu. Dodatkowej lekkości dodają płynnie poruszające się turbiny wiatrowe. Wieże zaprojektowane przez artystkę nawiązują swą formą do miejsca, promując równocześnie zrównoważony rozwój – w tym energię odnawialną.



Il. 5.82 Instalacja Airway Gateway, autorka: Vicky Scuri, El Paso, Stany Zjednoczone 2014 r., źródło: <https://www.vickiscuri.com/project-airway.html>, dostęp: 26-01-2019.

Turbiny wiatrowe małej mocy mogłyby stać się częścią infrastruktury autostrad i innych dróg szybkiego ruchu. W lokalizacjach o dobrych warunkach wietrznych stałyby się bardzo dobrym źródłem energii. W ostatnich latach powstały pierwsze drogi solarne czerpiące energię z promieniowania słonecznego. W 2016 roku jedna z pierwszych dróg tego typu została oddana do użytku we Francji w wiosce Tourouvre-au-Perche. Wyprodukowaną energią droga zasila latarnie w 3400 osobowej miejscowości. W 2017 testowy odcinek solarnej autostrady powstał w Chinach. Tam również (we wschodniej prowincji Zhejiang) zbudowano 500-metrowy odcinek drogi solarnej mającej zamieniać energię słoneczną na fale elektromagnetyczne, które miałyby służyć ładowaniu pojazdów elektrycznych poruszających się na drodze. Również Holandia inwestuje w rozwój OZE zintegrowanych z infrastrukturą drogową. W roku 2014 wybudowali pierwszą ścieżkę rowerową z wbudowanymi panelami słonecznymi. W wielu miejscach na świecie prowadzi się badania nad połączeniem paneli słonecznych z pasami drogowymi. Jest to dobry punkt wyjścia do wprowadzenia w infrastrukturę drogową również turbin wiatrowych małej mocy. Badania w tym kierunku prowadzi od kilku lat Sunwal Muneer (założyciel Capture Mobility). Prototyp jego turbiny, która ma w przyszłości produkować energię z pędu powietrza wytwarzanego przez przejeżdżające samochody, zdobył w roku 2014 nagrodę ONZ Clean Energy.

## V.5. PROGNOZY ROZWOJU ARCHITEKTURY WIATROWEJ

Architektura wiatrowa rozwija się w dużym tempie. Sprzyjają ku temu zarówno szybki rozwój technologiczny, jak również panująca tendencja budowania w duchu zrównoważonego rozwoju. Ekologia jest dziś nie tylko wymogiem – stała się także modą. Architekci i inwestorzy dbają o to, aby nowoprojektowane obiekty wyprzedzały technologicznie budynki istniejące. Częściowo jest to związane z dotacjami jakie można pozyskać na cele ochrony środowiska. W dużej mierze jednak architektura staje się coraz częściej wizytówką i znakiem rozpoznawczym firmy, dzielnicy czy też miasta. Inwestorzy coraz częściej zastępują projekty tradycyjne rozwiązaniami innowacyjnymi. Chęć wyróżnienia się i obecne możliwości technologiczne są niewątpliwie dobrym gruntem dla rozwoju nowych nurtów w architekturze. Jednym z nich może stać się architektura wiatrowa.

Nadal aktualne jest stwierdzenie Ch. Jencksa: „*Architektura zmienia się przez techniczne rozwiązania i możliwości nowych technik budowlanych, elektroniczne wyposażenie. Staje się architekturą zmienną i architekturą zdolną do działania, aktywną. Zmiany specyfiki budowli i ich użyteczności, nazywane „Management of Change”, dotyczyć mogą całych struktur, jak i ich części.*”<sup>67</sup>

Do koncepcji architektury wiatrowej należy tak zwana architektura dynamiczna. Są to głównie budynki wysokościowe, których głównym założeniem jest pozyskiwanie energii elektrycznej z siły wiatru, a turbinę stanowią one same (lub ich znaczna część). Architektura dynamiczna wprowadza trzy wiodące innowacje do tradycyjnego modelu wieżowca, są to: zmienny kształt, produkcja czystej energii oraz samowystarczalność energetyczna. Obiekty projektowane w tym nurcie mają „śledzić” słońce wykorzystując jak najwięcej jego promieniowania oraz poruszać się wraz z wiatrem przetwarzając jego siłę w energię. Założenia te mają sprawić, aby nowoczesna architektura stała się bardziej wydajna i przyjazna środowisku.

Całkiem nowy wymiar architektury wiatrowej prezentuje włosko – izraelski architekt David Fisher. Realizuje on w swych projektach dwie koncepcje: prefabrykację (zakładającą szerokie zastosowanie w budownictwie gotowych elementów) oraz Dynamic Architecture, czyli wprowadzenie do architektury czwartego wymiaru - czasu. Jeden z jego ostatnich projektów to koncepcja wieżowca Rotating Tower w Dubaju, który sam ma być jednocześnie elektrownią wiatrową (Il. 5.83). 420–sto metrowy wieżowiec ma pomieścić hotel, mieszkania i biura. Pomiędzy poszczególnymi kondygnacjami znajdują się niezależne turbiny o pionowej osi obrotu wymuszające obrót całego piętra. Każde ma się obracać z maksymalną prędkością 6 m/min lub wykonywać jeden pełny obrót w ciągu 90 minut. Centralną oś obiektu ma stanowić nieruchomy, betonowy rdzeń na który zostaną „wciągnięte” wcześniej zmontowane, prefabrykowane elementy kolejnych modułów tworzących piętra. Obiekt ma być pierwszym na świecie wieżowcem budowanym od góry do dołu. Projektanci przewidują, że taki sposób wznoszenia budynku znacznie obniży koszty, będzie bezpieczniejszy, szybszy i bardziej przyjazny dla środowiska. Poszczególne elementy konstrukcyjne miałyby zostać wyprodukowane przez specjalnie w tym celu stworzoną fabrykę Rotating Tower Group. Projektanci zakładają, że umieszczone pomiędzy piętrami turbiny wiatrowe produkowałyby ilość energii znacznie przewyższającą zapotrzebowanie budynku, dzięki czemu mogłyby zaopatrywać również obiekty sąsiednie. W czasie pracy wszystkich turbin wieżowiec ma wytworzyć energię elektryczną równą zapotrzebowaniu swojemu i 10 budynków o podobnych gabarytach i funkcji. Ciekawymi zagadnieniami do rozwiązania przez projektantów są komunikacja, problem siły odśrodkowej powstającej w tak funkcjonującym budynku, a także sposób prowadzenia i działania instalacji sanitarnych i elektrycznych. Projekt koncepcyjny ma już ponad 10 lat i nie wiadomo czy kiedykolwiek budynek ten zostanie zrealizowany.

---

<sup>67</sup> Jencks Ch., „Le Corbusier – tragizm współczesnej architektury”, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, ISBN 8322101716, Warszawa 1982, s.176





Il. 5.83 Wizualizacje projektu koncepcyjnego wieżowca Rotating Tower w Dubaju, źródło: <https://inhabitat.com/dubais-crazy-rotating-wind-powered-skyscraper-is-actually-being-built/>, dostęp: 13-02-2019.

Kolejną koncepcją Dynamic Architecture Davida Fishera jest wieża w Moskwie (Il. 5.84). Wysoka na ponad 400 metrów ma mieścić 70 pięter. Tak jak jego poprzednik ma być wykonany z elementów prefabrykowanych. Projektanci zakładają, że turbiny wiatrowe pojawiłyby się pomiędzy każdym z obracających się pięter. Zagwarantowałyby to możliwość produkcji energii elektrycznej wystarczającej nie tylko dla wieży, ale również wielu budynków sąsiednich. Wieżowiec stałby się prawdziwą elektrownią.



Il. 5.84 Wizualizacje projektu koncepcyjnego wieżowca Rotating Tower w Moskwie, źródło: <http://wideworldofgeometry.pbworks.com/w/page/14141559/CEOs%201>, dostęp: 13-02-2019.

Przykładem obiektu samowystarczalnego pod względem energii elektrycznej jest także tak zwany Anti Smog (Il. 5.85). Projekt belgijskiego architekta Vincenta Callebauta, mający wyznaczać nowy nurt w dziedzinie budownictwa ekologicznego. Obiekt architektonicznie wykraczający poza współczesne standardy ma być nie tylko, jak w przypadku Power Tower, energetycznie wystarczający. Życzeniem projektanta było, aby również przyczyniał się do usuwania z otaczającego go powietrza trujących zanieczyszczeń. Projekt ma zostać zrealizowany w jednej z przemysłowych dzielnic Paryża. Vincent Callebaut nazywa go organicznym „pasożytem” umieszczonym w post-industrialnym środowisku przepelnionym działającymi i opuszczonymi fabrykami. Anti Smog ma składać się z dwóch części. Pierwszą ma być podwieszona na moście nad kanałem de l’Ourcq „Słoneczna Kropla”. Wewnątrz mają się znajdować pomieszczenia użyteczności publicznej, w tym wielka sala wystawowa i centralnie zlokalizowany ogród pełen zieleni. Wyposażona ma być w setki modułów fotowoltaicznych oraz systemy przechowujące wodę deszczową. Są to jednak standardowe elementy, wykorzystywane dziś przez projektantów tworzących „zieloną” architekturę. Elementem wyróżniającym Anti Smoga ma być fasada pokryta warstwą dwutlenku tytanu, który ma wpływać na zmniejszenie poziomu zanieczyszczeń w powietrzu. Reagując z cząsteczkami smogu, ma je redukować i co za tym idzie, oczyszczać atmosferę. Drugą częścią budynku jest 45 metrowa Wieża Wiatrowa. Wewnątrz ma się znajdować galeria sztuki, oraz ogród, do którego będzie się można dostać spiralną pochylnią. Wieża ma wykorzystywać specjalne turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu – działające na zasadzie Turbiny Darrieusa. Wyżej wymieniona część budynku ma również zostać wyposażona w elewację multimedialną - ekrany diodowe, na których wyświetlane będą aktualne wiadomości.



Il. 5.85 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Anti Smog projektu Vincenta Callebaut, źródło: [http://vincent.callebaut.org/zoom/projects/071123\\_ourcq/ourcq\\_pl024.jpg](http://vincent.callebaut.org/zoom/projects/071123_ourcq/ourcq_pl024.jpg), dostęp: 13-02-2019.

Innym przykładem nowatorskiej koncepcji budynku czerpiącego energie z siły wiatru jest LO2P Recycling Skyscraper (Il. 5.86). Projekt Atelier CMJN zajął pierwsze miejsce w konkursie magazynu Etolo

na projekt najlepszego drapacza chmur. Obiekt sam w sobie jest potężną turbiną wiatrową, która nie tylko wytwarza prąd, ale i wyłapuje zanieczyszczone powietrze za pomocą specjalnych membran. Projektanci precyzują materiały z jakich miałyby powstać ich projekt - miałyby to być surowce pochodzące z recyklingu samochodów ( być może dlatego kształt wydaje się nawiązywać do samochodowego koła ). Tak więc LO2P ma być po części elektrownią, centrum recyklingu, a także gigantycznym „filtrem powietrza” w jednym. Centrum recyklingu mające się znaleźć u podstawy wieży wytwarzałoby ciepło i dwutlenek węgla, które zostałyby wykorzystane w ciepłarniach do produkcji biopaliw i żywności. Miałyby on powstać w New Delhi w Indiach, gdzie wzmożony ruch kołowy i wynikające z niego zanieczyszczenia są jednymi z głównych problemów, z którymi borykają się mieszkańcy.



Il. 5.86 Wizualizacje projektu koncepcyjnego LO2P Recycling Skyscraper projektu Atelier CMJN, źródło: <http://www.evolo.us/lo2p-delhi-recycling-center/>, dostęp: 18-02-2019.

Włoscy architekci Francesco Colarossi, Giovanni Saracino i Luis Saracino są autorami koncepcji Wiatr Słoneczny (Il. 5.87). Zdobyli drugie miejsce w konkursie na most łączący Bagnarę w rejonie Emilia-Romania i Scillę w Kalabrii. Autorzy zaproponowali, aby pomiędzy podporami istniejącego mostu powstało 26 ogromnych turbin wiatrowych o poziomej osi obrotu. Projekt zakłada powstanie 20 kilometrowej autostrady, która miałaby zapewnić energię 15 tysiącom rodzin. Most pozyskiwałby również energię poprzez nawierzchnię drogi. Technologia zwana „Słoneczna Autostrada”, wykorzystująca energię słońca, stosowana jest już we Francji i od niedawna również w Chinach. Poza ekologicznymi i ekonomicznymi zaletami koncepcji jej plusem jest również estetyka obiektu przypominającego misternie utkaną koronkę rozciągniętą pomiędzy malowniczymi wzgórzami.



Il. 5.87 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Solar Wind Bridge projektu Francesco Colarossi, Giovanni Saracino i Luisy Saracino, źródło: <http://londinoupolis.blogspot.com/2011/08/solar-wind-bridge.html>, dostęp: 18-02-2019.

Koncepcją wieży wiatrowej o nieco innej budowie jest Anara Tower w Dubaju (Il. 5.88). Ponad 600 metrowy, smukły wieżowiec miałby być zakończony olbrzymią turbiną wiatrową o poziomej osi obrotu. Po wybudowaniu byłby to jeden z największych budynków na świecie. Posiadałby pomieszczenia handlowe, biura, 300 luksusowych apartamentów, a także 250 pokoi hotelowych. Co 27 pięter miałyby znajdować się pionowe ogrody oraz panoramiczna restauracja na szczycie obiektu. Cechą charakterystyczną obiektu jest zintegrowana, ogromna turbina wiatrowa mająca na celu niemal bezdźwięcznie pozyskiwać czystą energię z siły wiatru.



Il. 5.88 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Antara Tower w Dubaju projektu Atkins Design Studio, źródło: <http://londinoupolis.blogspot.com/2011/08/solar-wind-bridge.html>, dostęp: 18-02-2019.

Przedstawione powyżej koncepcje architektoniczne są wybranymi przykładami spośród wielu projektowanych dziś wizji budynków przyszłości. Architekci od zawsze snuli wizję futurystycznych miast i pojedynczych obiektów. Takie nowatorskie koncepcje są niezwykle potrzebne. Architektura (tak jak inne dziedziny) będzie się rozwijać tylko wtedy, gdy architekci będą wciąż szukać nowych rozwiązań. Nawet jeśli dziś idee te wydają się nietrafione, przesadzone, nierealne, czy wręcz nieprawdopodobne, mogą stać się drogą do niezwykle, inspirujących i dobrze działających rozwiązań w przyszłości. Dobrym przykładem jest Plan Voisin autorstwa Le Corbusiera. Utopijna wizja przebudowy centrum Paryża została przedstawiona na Wystawie Światowej (Il. 5.89). Spotkała się z dezaprobatą odbiorców. Profesor Piotr Biegański wyrażał opinie iż Plan Voisin: „*przebudowy centrum Paryża śmiałością pomysłu przerasta możliwości akceptacji przez społeczeństwo*”<sup>68</sup>.



Il. 5.89 Zdjęcie makiety Planu Voisin Le Corbusiera, źródło: <http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=6159&sysLanguage=en&itemPos=2&itemCount=2&sysParentName=Home&sysParentId=65>, dostęp: 18-02-2019

<sup>68</sup> Biegański P., *U źródeł architektury współczesnej*, PWN, Warszawa 1972, s. 338.

## V.6. WNIOSKI

Przeprowadzone dotychczas badania (polegające przede wszystkim na analizie przykładów architektury światowej, zbieraniu materiałów ze stron internetowych pracowni architektonicznych oraz przeprowadzaniu analizy wybranej literatury przedmiotu) wykazały możliwość wyodrębnienia wspólnych cech charakterystycznych obiektów powiązanych z turbinami wiatrowymi. Zostały one opisane w podrozdziale „KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY WIATROWEJ W ODNIESIENIU DO TRADYCYJNEJ”<sup>69</sup>.

Przeprowadzone studium realizacji architektonicznych przyczyniło się również do utworzenia systematyki badanych obiektów. Została ona przedstawiona w rozdziale trzecim zatytułowanym „KLASYFIKACJA DOTYCZĄCA TURBIN POWIĄZANYCH Z ARCHITEKTURĄ”<sup>70</sup>.

Na podstawie szczegółowej analizy budynków zintegrowanych z turbinami wiatrowymi autorka pracy wyodrębniła trzy charakterystyczne przypadki dotyczące kwestii estetyki obiektów:

- **Budynki całkowicie zintegrowane z turbinami wiatrowymi.**

Pomijając kwestie technicznego powiązania obiektu z urządzeniami przetwarzającymi energię wiatru na energię elektryczną, autorka rozprawy ma na myśli budynki stanowiące wraz z turbinami integralną całość kubaturową oraz estetyczną. Można stwierdzić, że są one projektowane przez architektów od początku niemalże jako budynek – turbina. W takich przypadkach zarówno kształt obiektu, jego usytuowanie, jak i zastosowane materiały (konstrukcyjne, a także wykończeniowe) wynikają bezpośrednio z początkowych założeń obiektu zintegrowanego. Sztandarowym przykładem realizacji tego typu jest BWTC<sup>71</sup> w Manamie (Bahrain) zaprojektowany przez pracownię Atkins. Obiekty tego typu są zdecydowanie najciekawsze w grupie projektów połączonych z turbinami wiatrowymi. Przemyślane i spójne koncepcje jasno przedstawiają główną myśl architekta. Pozytywnie wyróżniają się swoją estetyką na tle wielu realizacji obiektów połączonych z turbinami wiatrowymi.

- **Budynki w których obecność turbin wiatrowych wpływa pośrednio na kształtowanie bryły.**

Do tej grupy należą głównie budynki nowo projektowane, które zostały pierwotnie połączone z turbinami wiatrowymi. Proces projektowy przebiegał w tych przypadkach z uwzględnieniem turbin, natomiast ich zastosowanie nie determinowało całkowicie formy budynku. W takiej sytuacji miejsce usytuowania oraz rodzaj urządzeń wiatrowych zostają wybrane jako najlepsze w danej, zastanej sytuacji. Są to obiekty architektoniczne projektowane z uwzględnieniem aspektów ważnych dla prawidłowego działania turbin wiatrowych. Przykładem realizacji tego typu jest budynek Greenway Self Park w Chicago<sup>72</sup> projektu pracowni HOK. Turbiny wiatrowe typu VAWT zostały zainstalowane wzdłuż narożnika budynku, co pozytywnie wpływa na ich sprawność (dobry przepływ powietrza w tym obszarze).

- **Budynki w których obecność turbin wiatrowych nic nie wnosi do architektury obiektu.**

Do tej grupy zaliczamy zarówno obiekty nowe jak i istniejące, w których kubaturę zostały wkomponowane turbiny wiatrowe w sposób niewynikający z architektury obiektu. Zazwyczaj nie podnosząc przy tym estetyki obiektu. Wielokrotnie natomiast zakłuczając podstawową

<sup>69</sup> V.1. KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY WIATROWEJ W ODNIESIENIU DO TRADYCYJNEJ s. 79

<sup>70</sup> III.2. KLASYFIKACJA DOTYCZĄCA TURBIN POWIĄZANYCH Z ARCHITEKTURĄ s. 44

<sup>71</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.102

<sup>72</sup> *Ibidem*, s.130

formę obiektu. Przykładem obiektu tego typu jest między innymi Croydon City House<sup>73</sup> w Londynie (Anglia). Turbiny zostały zainstalowane na dachu obiektu. Jest to dobry wybór lokalizacji turbin. Estetyka bryły nie wynika z powiązania jej z turbiną.

Niektórzy krytycy architektury mogą być zdania, iż turbiny wiatrowe są jedynie instalacjami dodanymi do obiektu, które powinny być umiejętnie zakamuflowane, aby nie szpeciły architektury. Jednakże techniczne wyposażenie obiektów może stanowić ich nierozdzielalną część, a także istotny aspekt estetyczny. Industrialny charakter zabudowy miejskiej jest równocześnie idealnym środowiskiem do aplikacji tego typu rozwiązań.

Autorka pracy wyróżnia trzy grupy turbin wiatrowych ze względu na ich powiązanie z budynkami<sup>74</sup>. Autonomiczne turbiny dodane do budynku, turbiny zamaskowane oraz turbiny „tworzące obiekt”. Każda z grup w charakterystyczny sposób kształtuje detal architektoniczny budynków nadając im często niepowtarzalną formę. Trafny wybór turbiny wiatrowej już na etapie projektu koncepcyjnego może pozytywnie wpłynąć na estetykę obiektu architektonicznego, a nawet stać się pretekstem do kształtowania całej bryły, tak jak w przypadku Bahrain World Trade Center.



Il. 5.90 New Haven, Becton Engineering Center, Yale University, źródło: <http://www.flickrriver.com/photos/doctorcasino/24987296534/>, dostęp: 29-12-2016.

<sup>73</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.138

<sup>74</sup> Systematyka omówiona w podrozdziale III.2.1. Klasyfikacja ze względu na montaż, s.45

Istnieją również przykłady budynków powiązanych z turbinami wiatrowymi, których ideą nie była produkcja energii czy poprawa estetyczna bryły. Obiektem, w którym zostały zainstalowane turbiny wiatrowe przede wszystkim w celach edukacyjnych oraz informacyjnych jest Budynek Becton Engineering Center na Uniwersytecie Yale<sup>75</sup> (Il. 5.90). Zbudowany w latach 70-tych dwudziestego wieku został wyposażony w 2009 roku w dziesięć mikroturbin wiatrowych. Mają one nie tylko produkować energię, ale przede wszystkim stać się dla studentów i wykładowców symbolem zaangażowania uczelni w rozwój zrównoważony. 10 kW-owy system firmy AeroVironment, Inc. nie wytwarza dużo hałasu i nie wymaga silnych podmuchów wiatru do produkcji energii elektrycznej. Kompaktowe w swej formie turbiny mają możliwość obrotu w granicach 30 stopni w zależności od kierunku wiatru, aby zmaksymalizować wydajność systemu. Dzięki swym niedużym gabarytom, zastosowane turbiny mogą powielać rytm betonowej elewacji, będąc w pewnym stopniu kontynuacją myśli architekta oraz swoistym zwieńczeniem budynku. Przykład ten obrazuje jak turbiny wiatrowe mogą stać się detalem architektonicznym lub pozostać jedynie elementem technicznego wyposażenia budynku. Zależy to od odpowiedniego doboru urządzenia w zakresie rodzaju, wielkości, koloru, materiału wykonania itp. Umiejętnie dobrane i umiejscowione w odpowiednim (pod względem wizualnym) miejscu podkreślają indywidualizm stylistyczny architektury, prestiż obiektu, czy też koncepcję energetyczną budynku.

W artykule zatytułowanym „Detal architektoniczny w świetle współczesnych imperatywów projektowych” profesor Waclaw Celadyn podkreśla, iż „Zmianom stylistycznym w architekturze towarzyszyły przemiany w sferze detali architektonicznych. Jako forma detalu budowlanego detale architektoniczne są wyrazem nowych tendencji w budownictwie. Aktualnie obowiązujący energetyczny imperatyw projektowy staje się determinantą nowej stylistyki architektonicznej. Detale uzyskują odmienne od dotychczasowego znaczenie, pełniąc często funkcje techniczne związane z różnymi aspektami energii w architekturze. Nowa estetyka techniczna skutkuje bogactwem przestrzennych rozwiązań elewacji.”<sup>76</sup>

M. Lewis określa detal architektoniczny jako „... wszelkie zdobienia upiększające obiekt, dodające mu urody, znaczenia i wyróżniające go. Może podkreślić komponenty konstrukcyjne i osłaniające, które są zasadniczymi elementami architektury, określić przeznaczenie i przynależność kulturową budowli, przekazywać pożądane treści, wzbudzać zainteresowanie i cieszyć swym pięknem.”<sup>77</sup>

Historycznie detal architektoniczny kształtowany był przez reguły stylistyczne, charakterystyczne dla konkretnego stylu. Obecnie mamy wiele nurtów projektowych, które nie zamykają architektury w ścisłych ramach. Panuje całkowita dowolność w kształtowaniu zarówno obiektów architektonicznych jak i samych detali, ograniczona jedynie przez wyobraźnię projektanta, możliwości techniczne, jak i materiałowe oraz przepisy prawa budowlanego. Współcześnie detal stracił w znacznej części swą wagę jako element dekoracyjny natomiast uzyskał wagę elementu przedstawiającego często stan zaawansowania technicznego obiektu. Niezmiernie ważna stała się równocześnie jego użyteczność.

Profesor Waclaw Celadyn stawia nacisk na rozróżnienie detalu architektonicznego od detalu budowlanego. W artykule „*Detal architektoniczny w świetle współczesnych imperatywów projektowych*” pisze: „Detal budowlany jest pojęciem o szerszym znaczeniowo zakresie niż detal architektoniczny i określa rozwiązania techniczne w zakresie skal typowych dla najmniejszych elementów budynków. Może być widoczny lub też ukryty w strukturze budynku. Przyczynia się do zapewnienia stabilności konstrukcji i stanowi jego zawężenie pojęciowe. Detal architektoniczny, aby

<sup>75</sup>V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.152

<sup>76</sup> Celadyn W., *Detal architektoniczny w świetle współczesnych imperatywów projektowych*, Międzynarodowa konferencja Naukowa Definiowanie Przestrzeni Architektonicznej – Detal Architektoniczny Dziś, organizowana przez Instytut Projektowania Architektonicznego Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, w dniach 23 – 24 listopada 2012 r.

<sup>77</sup> Lewis M. [red.], *Architektura: elementy stylu architektonicznego*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2010, s. 320.



pełnić swą funkcję estetyczną, musi zawsze być widoczny w odróżnieniu od detalu budowlanego, który tego warunku często nie spełnia.”

Współczesna architektura jest nierozzerwalnie związana z wyposażeniem technicznym budynku. Wszelkiego rodzaju instalacje wentylacji, klimatyzacji itp. stanowią nieodłączną część obiektu. Niestety często są one jedynie „doklejonym” elementem, niejednokrotnie negatywnie wpływającym na estetykę bryły architektonicznej. Opiswany problem jest szczególnie uwydatniony na przykładzie dzisiejszych urządzeń pozyskujących bezpośrednio dla danego obiektu energię ze źródeł odnawialnych. Licznie dziś wykorzystywane panele fotowoltaiczne, baterie słoneczne, akumulatory żelowe, czy też elektrownie wiatrowe stanowią coraz popularniejsze źródło energii odnawialnej, a zarazem nieodzowne wyposażenie obiektów pasywnych. Mimo licznych zalet praktycznych, przedstawione urządzenia w dużym stopniu wpływają zarówno na kształtowanie bryły architektonicznej, jak i samych elewacji obiektów. Wadą w/w systemów jest często ich wygląd i gabaryty, które niejednokrotnie wolelibyśmy zakamuflować. Znaczącym problemem staje się maskowanie niechcianych instalacji. Warto jednak podejść do problemu inaczej i zamiast maskować, wykorzystać dodane elementy wyposażenia technicznego jako części integralne, kształtujące obiekt i nadające mu niepowtarzalną formę. Jak stwierdza Johan Huizinga „Tym, do czego dążymy – jest aby dzieło użytkowe mogło być jednocześnie doświadczeniem pięknym, jak też źródłem duchowej satysfakcji.”<sup>78</sup>. Takie podejście do w/w zagadnienia stawia przed architektem wyzwanie kształtowania unikatowych detali wyróżniających dany obiekt. Jednym ze sztandarowych obiektów w których projektant tworzy z niechcianych elementów instalacji nową jakość jest wybudowane już w latach 70-tych Centrum Pompidou projektu Renzo Piano i Richarda Rogersa. Autorzy odwracając budynek na „lewą stronę” zamienili niechciane instalacje w niepowtarzalną strukturę elewacji. Projekt był na tyle nowatorski i niepowtarzalny, że do dzisiejszego dnia cieszy się niesłabnącym zainteresowaniem i stał się jednym z symboli Paryża.

Współczesna architektura niesie ze sobą nie tylko nowe, odważne formy, ale również cały szereg technologii ją wypełniających. Obiekty stają się coraz bardziej multimedialne. Posiadają rozbudowaną sieć instalacji wewnętrznych. Architekt ma możliwość maskować niechciane urządzenia techniczne pozostawiając czystą, estetyczną formę, a może również wykorzystać współczesne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe używając nieodzownej infrastruktury obiektu jako elementu nadającego mu cechy indywidualne. Kreuje nimi niepowtarzalny detal. Rozwiązania tego typu wzbudzają w odbiorcy ciekawość. Budynki, w których zostały zastosowane, są na tyle niepowtarzalne i unikatowe, że mają szansę stać się jednymi z najbardziej rozpoznawalnych i zapadających w pamięć obiektów.<sup>79</sup> „Architektura dostosowała się tym samym do nowej epoki innowacyjnej stając się niejako jej manifestacją. Historyczne detale dekoracyjne zostały zastąpione nie tyle nową stylistycznie dekoracją, ile „elementami wyposażenia” fasad o ściśle określonej funkcji technicznej.”<sup>80</sup>

---

<sup>78</sup> Kuryłowicz S., *Architektura – idea i jej realizacja 1998 – 1999*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2000, s. 20; cyt. za: J. Huizinga, *Homo Ludens. Zabawa jako źródło kultury*, Czytelnik, Warszawa, 1985, s.211.

<sup>79</sup> Autorka pracy doktorskiej poruszył ten temat w artykule naukowym, *Turbiny wiatrowe jako detal architektoniczny*, Międzynarodowa konferencja Naukowa *Definiowanie Przestrzeni Architektonicznej – Detal Architektoniczny* Dziś, organizowana przez Instytut Projektowania Architektonicznego Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, w dniach 23 – 24 listopada 2012 r.

<sup>80</sup> Celadyn W., *op. cit.*



## VI. PODSUMOWANIE

### VI.1. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań, analiza realizacji architektonicznych oraz literatury związanej z tematem pracy potwierdzają między innymi iż:

1. **Wśród obiektów architektonicznych powiązanych z turbinami wiatrowymi istnieje możliwość wyodrębnienia trzech grup obiektów, różniących się między sobą stopniem oddziaływania turbin na architekturę obiektu.**
2. Dobór urządzeń wytwarzających prąd z energii wiatru oraz sposób ich powiązania z obiektem architektonicznym wpływa znacząco na estetykę danego obiektu. Ponadto forma obiektu oraz usytuowanie turbiny wiatrowej mają istotny wpływ na jej efektywność.
3. Wybór technologii wiatrowych nie we wszystkich przypadkach determinuje kształtowanie obiektu architektonicznego.
4. Warunki środowiskowe (klimatyczne oraz terenowe) jak również kubatura i funkcja obiektu w większości przypadków mają znaczący wpływ na wybór urządzeń wiatrowych stosowanych w danym obiekcie.
5. Jeśli przyjmiemy, że terminem „architektura wiatrowa” określamy tylko obiekty, których formę determinują zastosowane urządzenia wiatrowe, jesteśmy w stanie wyodrębnić cechy charakterystyczne tej architektury oraz określić ich wpływ na efektywność zastosowanych technologii wiatrowych.

Proponowane przez autorkę i przedstawione w rozdziale V.1. KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY WIATROWEJ W ODNIESIENIU DO TRADYCYJNEJ (s. 79) zasady projektowania architektury wiatrowej są streszczeniem pięciu podstawowych elementów procesu projektowego, przez który przechodzi każdy projektant zaczynający pracę nad budynkiem, a które powinny zostać spełnione w przypadku tworzenia budynku powiązanego z turbinami wiatrowymi. W wyniku przeprowadzonych badań autorka wyodrębniła trzy osobne grupy obiektów architektonicznych przedstawione w V.6. WNIOSKI (s. 174). Zaliczają się do nich: **budynki całkowicie zintegrowane z turbinami wiatrowymi, budynki w których obecność turbin wiatrowych wpływa pośrednio na kształtowanie bryły oraz budynki w których obecność turbin wiatrowych nic nie wnosi do architektury obiektu.** Po dokonaniu analizy przykładów podanych w niniejszej pracy autorka proponuje rozgraniczyć i uściślić trzy pojęcia: budynek zintegrowany z turbinami wiatrowymi, architektura wiatrowa oraz budynek posiadający zainstalowane siłownie wiatrowe.

**BUDYNEK ZINTEGROWANY Z TURBINAMI WIATROWYMI** – W literaturze anglojęzycznej często pojawia się sformułowanie ‘building-integrated wind turbines’, które określa turbiny wiatrowe posiadające możliwość montażu i pracy na budynkach. W słowniku języka polskiego określenie „zintegrowany” oznacza „połączony w całość lub będący częścią całości”. Budynek zintegrowany z turbinami wiatrowymi to obiekt zaprojektowanym według zasad architektury wiatrowej. Nie jest to budynek do którego doinstalowano jedynie turbiny wiatrowe i przystosowano do produkcji energii odnawialnej. Jest to budynek zaprojektowany, już na etapie wczesnych projektów koncepcyjnych, jako integralna całość z turbiną/turbinami wiatrowymi. To szczególny przykład architektury wiatrowej, w którym cały budynek (kształtem, usytuowaniem itd.) „dąży” do jak najefektywniejszej pracy turbin wiatrowych. Natomiast zainstalowane turbiny wiatrowe nie zaburzają architektury tworząc wraz z budynkiem integralną całość. Integracja o której mowa dotyczy zarówno aspektów technicznych jak

i estetycznych. Często są to turbiny projektowane specjalnie pod konkretny projekt architektoniczny. Jako przykład budynku zintegrowanego z turbinami wiatrowymi można podać między innymi Bahrain World Trade Center w Manamie (Bahrajn)<sup>81</sup> oraz Pearl River Tower w Guangzhou (Chiny)<sup>82</sup>. W obiektach należących do tej grupy turbiny wiatrowe determinują w przeważającej części architekturę budynku.

**ARCHITEKTURA WIATROWA** – są to budynki w których obecność turbin wiatrowych wpływa pośrednio na kształtowanie bryły. To obiekty architektoniczne o dowolnej funkcji, w których do produkcji energii elektrycznej jest wykorzystywana energia kinetyczna wiatru. Jest projektowana i realizowana według zasad opisanych w powyższej pracy<sup>83</sup>. Często posiada urządzenia i instalacje zapewniające nie tylko możliwość pozyskania energii, ale również akumulacji i sterowania wyprodukowaną energią. Ponadto, aby w jak najkorzystniejszy sposób pozyskiwać energię wiatru i zamieniać ją na energię elektryczną obiekt architektury wiatrowej powinien brać pod uwagę kształt budynku, jego usytuowanie względem przeważających wiatrów oraz dobór odpowiednich turbin wiatrowych wraz z wyborem najlepszego punktu instalacji na obiekcie. Przykładem architektury wiatrowej jest budynek Kinetica w Londynie (Anglia)<sup>84</sup>. W obiektach należących do tej grupy stopień oddziaływania turbin wiatrowych na architekturę budynku jest znaczny.

Wszystkie przykłady architektury poddane analizie w niniejszej pracy są **BUDYNKAMI POSIADAJĄCYMI ZAINSTALOWANE SIŁOWNIE WIATROWE** – są to wszystkie budynki posiadające instalacje turbin wiatrowych zarówno na kubaturze obiektu (elewacji, dachu itd.) jak i w jego bezpośrednim otoczeniu oraz wykorzystujące energię przez nie wyprodukowaną. W obiektach należących tylko do tej grupy stopień oddziaływania turbin wiatrowych na architekturę budynku jest minimalny i odnosi się jedynie do formy zainstalowanych turbin.

W niniejszej pracy została przedstawiona analiza 29 przypadków realizacji architektonicznych z całego świata powiązanych z turbinami wiatrowymi. Większość z nich jest jednak tylko budynkami posiadającymi instalacje turbin wiatrowych. Niektóre można nazwać architekturą wiatrową. Zostały zaprojektowane z myślą o efektywnym działaniu turbin wiatrowych. Są zlokalizowane w miejscach o dużej wietrzności, kształt bryły wpływa na wzmożony pęd powietrza w strefie zainstalowanych turbin itd. Tylko kilka z przedstawionych realizacji autorka nazywa „budynkiem zintegrowanym z turbinami wiatrowymi”.

---

<sup>81</sup> V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.102

<sup>82</sup> *Ibidem*, s.136

<sup>83</sup> V. WPŁYW ENERGII WIATROWEJ NA KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY s. 79

<sup>84</sup> V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW s.112

ZESTAWIENIE PROJEKTÓW  
PRZEDSTAWIONYCH I PODDANYCH ANALIZIE W NINIEJSZEJ PRACY

	INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH	BUDYNEK ZINTEGROWANY Z TURBINAMI WIATROWYMI	BUDYNEK ARCHITEKTURY WIATROWEJ	BUDYNEK POSIADAJĄCY ZAINSTALOWANE SIŁOWNIE WIATROWE
<b>Strata SE1 (The Razol)</b> BFLS Architects Londyn, Anglia, 2010	PIERWOTNA	■	■	■
<b>Bahrain World Trade Center</b> Atkins Design Studio Manama, Bahrajn, 2008	PIERWOTNA	■	■	■
<b>OMRF Research Tower</b> Perkins+Will Oklahoma City, Stany Zjednoczone, 2010	PIERWOTNA		■	■
<b>Kettle Brand Foods</b> Flad Architects Beloit, Stany Zjednoczone, 2007	PIERWOTNA			■
<b>Palestra</b> SMC Alsop Architects Londyn, Anglia, 2006	PIERWOTNA			■
<b>Adobe Headquarters Garage</b> HOK San Jose, Stany Zjednoczone, 2003	WTÓRNA			■
<b>Kinetica – Ramsgate Street</b> Waugh Thistleton Londyn, Anglia, 2010	PIERWOTNA		■	■
<b>Twelve West</b> ZGF Architects Portland, Stany Zjednoczone, 2009	PIERWOTNA			■
<b>EXPO 2000 Pavilion for the Netherlands</b> MvRdV Hannover, Niemcy, 2000	PIERWOTNA			■
<b>Neues Technisches Rathaus</b> Morschek & GHU Architekten GmbH Bayern, Niemcy, 2000	PIERWOTNA			■
<b>Council House 2</b> Mick Pearce Melbourne, Australia, 2006	PIERWOTNA	■	■	■
<b>The Green Building</b> Terry Farrell & Partners Manchester, United Kingdom, 2004	PIERWOTNA			■
<b>Near North Apartments</b> Murphy/Jahn Chicago, Stany Zjednoczone, 2007	PIERWOTNA			■
<b>Adventure Aquarium</b> Granary Associates, Hillier Architecture New Jersey, Stany Zjednoczone, 2007	WTÓRNA			■
<b>Global Institute of Sustainability</b> Lord Aeck Sargent Tempe, Stany Zjednoczone, 2008	WTÓRNA			■

	INSTALACJA TURBIN WIATROWYCH	BUDYNEK ZINTEGROWANY Z TURBINAMI WIATROWYMI	BUDYNEK ARCHITEKTURY WIATROWEJ	BUDYNEK POSIADAJĄCY ZAINSTALOWANE SIŁOWNIE WIATROWE
<b>Greenway Self Park</b> HOK Chicago, Stany Zjednoczone, 2009	PIERWOTNA		■	■
<b>Hess Tower</b> Gensler Houston, Stany Zjednoczone, 2010	PIERWOTNA		■	■
<b>San Francisco Public Utility Commission Headquarters</b> KMD Architects, Stevens Architects San Francisco, Stany Zjednoczone, 2012	PIERWOTNA	■	■	■
<b>Pearl River Tower</b> Skidmore Owings & Merrill Guangzhou, Chiny, 2012	PIERWOTNA	■	■	■
<b>Croydon City House</b> Londyn, Anglia, 2008	WTÓRNA			■
<b>Halifax Seaport Farmers' Market</b> Lydon Lynch Architects Halifax, Kanada, 2010	PIERWOTNA		■	■
<b>HKU Centennial Campus</b> Wong & Ouyang / Sasaki Associates, Inc Hong Kong, Chiny, 2006	PIERWOTNA			■
<b>4940 Building</b> Sinclair Hille Architects Omaha, Stany Zjednoczone, 2008	PIERWOTNA			■
<b>Harold Washington Social Security Center</b> Lester B. Knight Associates Chicago, Stany Zjednoczone, 2009	PIERWOTNA			■
<b>Elbarkaden Green Office</b> Bob Gysin + Partner BGP Architekten Hamburg, Niemcy, 2014	PIERWOTNA			■
<b>Pepsico/Quaker Oats – Sustainability Center</b> Chicago, Stany Zjednoczone, 2002	PIERWOTNA			■
<b>Becton Engineering and Applied Science Center</b> Marcel Breuer New Haven, Stany Zjednoczone, 2009	WTÓRNA			■
<b>Eagles' Nest / Lincoln Financial Field</b> NBBJ, Agoos Lovera Architects Philadelphia, Stany Zjednoczone, 2013	WTÓRNA			■
<b>Shanghai Tower</b> Gensler Shanghai, Chiny, 2015	PIERWOTNA	■	■	■

Tab. 6.1 Zestawienie projektów przedstawionych i poddanych analizie w niniejszej pracy (opracowanie własne).

Na powyższych przykładach czytelnie klaruje się podział budynków na obiekty zintegrowane z turbinami wiatrowymi (które jednocześnie z całą pewnością można nazwać architekturą wiatrową), budynki architektury wiatrowej oraz budynki posiadające zainstalowane siłownie wiatrowe. Warty podkreślenia jest fakt, iż obiekty znajdujące się w pierwszej i drugiej grupie są zawsze obiektami w których turbiny zostały umieszczone pierwotnie. Wśród realizacji architektonicznych, które znalazły się tylko w grupie trzeciej (budynki posiadające zainstalowane siłownie wiatrowe) ponad 30% obiektów ma turbiny zainstalowane wtórnie (np. w czasie modernizacji). Ponadto budynki zaliczane tylko do grupy trzeciej stanowią ponad 60% wszystkich analizowanych realizacji. Proporcje te czytelnie ukazują, jak dużo nowopowstałych budynków z turbinami wiatrowymi zostaje zaprojektowana bez rozwiązań mających wpływ na efektywność turbin. Wśród tych realizacji siłownie wiatrowe traktowane są w większości jako kolejny element instalacji, który bez przeprowadzenia szczegółowych analiz i dostosowania bryły budynku często nie wykorzystuje w pełni swoich możliwości.

Efektywność systemów połączonych z budynkami podniosłoby również stale aktualizowane prognozowanie warunków wietrznych w danej lokalizacji. Przyszłościowe okazałyby się z pewnością programy mogące symulować z dużą dokładnością strumienie i prędkości przepływów wiatru wokół budynków w gęstej zabudowie miejskiej.

Niestety turbiny wiatrowe instalowane na budynkach są nadal w większości przypadków jedynie wizualizacją zrównoważonego projektowania i podejścia inwestorów. Nie produkują wystarczającej ilości energii aby stały się opłacalne. Dzieje się tak w głównej mierze przez zły dobór urządzeń oraz ich lokalizacji w danym obiekcie. Nader często powiązanie turbin wiatrowych z obiektem odbywa się niedbale i z pominięciem ważnych aspektów min. warunków wietrznych w danej lokalizacji, które skutkuje złym doborem turbin.

Niemniej jednak jest to niezwykle rozwojowy sektor OZE. Umiejętne integrowanie turbin wiatrowych z budynkiem może przynieść wymierne efekty. Dobrze dobrane urządzenia mogą spełniać swoje założenia i produkować znaczne ilości energii odnawialnej. Oczywiście nie jest to rozwiązanie dla każdego budynku. W większości przypadków zainstalowanie turbin wiatrowych jest niepotrzebnym zabiegiem działającym negatywnie na budynek – pod względem estetycznym oraz ekonomicznym. Istnieją natomiast lokalizacje/obiekty, zarówno w centrach miast jak i na obszarach słabo zabudowanych, w których z powodu warunków atmosferycznych i estetycznych zastosowanie odpowiednich turbin wiatrowych może być dobrym i efektywnym rozwiązaniem. W takich przypadkach należałoby z niego skorzystać z uwagi na znaczne korzyści energetyczne, które może przynieść. Istnieją budynki, które formą bryły stwarzają wokół siebie bardzo dobre warunki wietrzne nie będąc równocześnie projektowanymi z myślą o turbinach wiatrowych. Przykładem jest Warszawski wieżowiec Warsaw Spire projektu M. & J-M. Jaspers – J. Eyers & Partners, czy też siedziba Komendy Wojewódzkiej Policji w Katowicach. Jeśli w takich przypadkach właściciele chcieliby zainwestować w OZE warto rozważyć zastosowanie turbin wiatrowych, o ile nie wpływałyby negatywnie na estetykę obiektu.

## VI.2. STRESZCZENIE DYSERTACJI W JĘZYKU POLSKIM

Praca porusza problematykę wykorzystywania energii wiatru w architekturze. W szczególności dotyczy turbin wiatrowych powiązanych z budynkami.

Celem badań jest przede wszystkim sprecyzowanie uwarunkowań doboru technologii wiatrowej, określenie wpływu parametrów przestrzennych obiektu architektonicznego na efektywność zastosowanych technologii oraz określenie cech charakterystycznych architektury wiatrowej.

W dysertacji zastosowane zostały metody badawcze oparte na analizie i krytyce piśmiennictwa, metodzie porównawczej oraz obserwacji, dedukcji i statystyce. Analizie zostały poddane publikacje



związane bezpośrednio z tematem pracy. Były to książki, publikacje pokonferencyjne, artykuły naukowe oraz informacje zawarte na stronach internetowych producentów turbin wiatrowych, pracowni projektowych oraz organizacji i stowarzyszeń zajmujących się energią wiatrową w Polsce i na świecie. Ważnym elementem dysertacji jest raport z pracy naukowo-badawczej opracowanej przez autorkę i wykonanej w Laboratorium Wiatrowym Politechniki Krakowskiej.

Praca ma na celu udowodnienie następujących tez badawczych: wśród obiektów architektonicznych powiązanych z turbinami wiatrowymi istnieje możliwość wyodrębnienia trzech grup różniących się między sobą stopniem oddziaływania turbin na architekturę obiektu. Dobór urządzeń wytwarzających prąd z energii wiatru oraz sposób ich zintegrowania z obiektem architektonicznym wpływa znacząco na estetykę danego obiektu. Forma obiektu oraz usytuowanie turbiny wiatrowej mają istotny wpływ na jej efektywność.

Autorka poddała analizie 29 przykładów budynków powiązanych z turbinami wiatrowymi. Na tej podstawie zostały określone cechy charakterystyczne architektury wiatrowej oraz zdefiniowano architekturę zintegrowaną z turbinami wiatrowymi.

Badania zakończyły się udowodnieniem tezy i wyodrębnieniem trzech grup obiektów architektonicznych powiązanych z turbinami wiatrowymi: budynek posiadający zainstalowane siłownie wiatrowe, budynek architektury wiatrowej oraz budynek zintegrowany z turbinami wiatrowymi.

Ponadto dysertacja przedstawia przegląd najnowszych turbin wiatrowych stosowanych w architekturze, nakreśla obszar wykorzystania energii wiatrowej w architekturze, zwraca uwagę na problematykę związaną z zastosowaniem turbin wiatrowych w architekturze oraz przedstawia potencjalne kierunki rozwoju architektury wiatrowej.

Słowa kluczowe: energia wiatru, odnawialne źródła energii, turbiny wiatrowe.

### VI.3. STRESZCZENIE DYSERTACJI W JĘZYKU ANGIELSKIM (SUMMARY OF THE DISSERTATION)

The research deals with issues of wind energy usage in architecture. In particular, it concerns wind turbines associated with the buildings.

The aim of the study is primarily to clarify the conditions of wind technology selection, to determine the impact of spatial parameters of an architectural object on the effectiveness of the technologies used and determine the characteristics of wind architecture.

The research methods were based on analysis of the literature, the comparative method as well as observation, deduction and statistics. The subject of analysis were publications directly related to the topic of work. These were books, post-conference publications, scientific articles and information from the websites of wind turbine manufacturers, design studios, organizations and associations dealing with wind energy in Poland and in the world. An important element of the work is a report on the research work prepared by the author and performed in the Wind Laboratory of the Cracow University of Technology.

The purpose of this study was to prove the following research thesis: among the architectural objects associated with wind turbines, there is the possibility of separating three groups that differ in their degree of impact of the turbines on the architecture of the object. Selection of equipment generating electricity from wind energy and the way they are integrated into an architectural object has a significant impact on the aesthetics of a given object. The form of the object and the location of the wind turbine have a significant impact on its efficiency.

The author analyzed 29 examples of buildings associated with wind turbines. On this basis, the characteristics of wind architecture were determined, and the architecture integrated with wind turbines was defined.

The research resulted in proving the thesis and distinguishing three groups of architectural objects associated with wind turbines: a building with installed wind power stations, a building of wind architecture and a building integrated with wind turbines.

In addition, the dissertation presents an overview of the latest wind turbines used in architecture, outlines the area of wind energy use in architecture, draws attention to the problems related to the use of wind turbines in architecture and presents potential directions of development of wind architecture.

Key words: wind energy, renewable energy, wind turbines.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Bartmański M., *Stan energetyki wiatrowej w Polsce*, Akademia Górniczo–Hutnicza, Materiały dydaktyczne dla Studentów Podyplomowych „Odnawialne Zasoby i Źródła Energii”, Kraków 2004
2. Biegański P., *U źródeł architektury współczesnej*, PWN, Warszawa 1972
3. Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*. Wydanie drugie zmienione, Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978–83–926319–8–9, Gliwice 2008
4. Boczar T., *Wykorzystanie energii wiatru*, Wydawnictwo PAK, ISBN: 978-83-926319-6-5, Warszawa 2010
5. Borowski S., Mroziński A., Kolber P., koordynator modułu Dulcet E. *Badania technologiczne rozwiązań stosowanych w energetyce wiatrowej*, Bydgoszcz 2011r. Opracowanie wykonane na zlecenie Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk im. Stanisława Leszczyckiego – IGIPZ PAN z siedzibą w Warszawie
6. Burton T. (et al.), *Wind energy: handbook*, Wydanie Repr., John Wiley & Sons, ISBN: 0 471 48997 2, Chichester 2008
7. Celadyn W., *Detal architektoniczny w świetle współczesnych imperatywów projektowych*, Międzynarodowa konferencja Naukowa Definiowanie Przestrzeni Architektonicznej – Detal Architektoniczny Dziś, organizowana przez Instytut Projektowania Architektonicznego Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, w dniach 23 – 24 listopada 2012 r.
8. Chochowski A., *Energetyka wiatrowa*, [w:] *Zarządzanie w energetyce*, praca zbiorowa, Difin, ISBN: 978-83-7251-859-0, Warszawa 2008
9. Damska E., *Budownictwo i architektura młynów wietrznych w Polsce*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej. Nr 6, 1967. Seria „Architektura”, ISSN 0137-1371
10. Erickson W., Johnson G., Young D. Jr., *A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions*, USDA Forest Service Gen. Tech., 2005
11. Flaga A., *Analiza wzdłużnego, poprzecznego i skrętnego oddziaływania wiatru na smukłe budowle inżynierskie w ujęciu stochastycznym*, Kraków 1983
12. Flaga A., *Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania.*, Wydawnictwo Arkady, ISBN: 978–83–213–4526–0, Warszawa 2008
13. Głuski F., *Siłownia wiatrowa*, PPW „Rzeczpospolita” Zespół redakcji SAM, Warszawa 1990
14. Gnatowska R., *Planowanie terenów zabudowanych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju z zastosowaniem metod modelowych*, Czasopismo Inżynieria Ekologiczna 2013, nr 33, s. 35–40
15. Górzyński J., *Audyt energetyczny*, ISBN: 9788386337163, Warszawa 2002
16. Houghton E. L., Carruthers N. B., *Wind Forces on Buildings and Structures an introduction*, Edward Arnold (Publishers), ISBN-10: 0713133740, Londyn 1976
17. Jeleński T., Świątek L., Rozdział 6, *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, redakcja naukowa Kronenberg J., Bergier T., Fundacja Sendzimira, ISBN: 978–83–62168–00–2, Kraków 2010
18. Jencks Ch., „ *Le Corbusier – tragizm współczesnej architektury*”, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, ISBN: 8322101716, Warszawa 1982.
19. Kazmerski L. L., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1997.
20. Knopper L. D., Ollson Ch. A., *Health effects and wind turbines: A review of the literature*. „Environmental Health”. 10, s. 78, 2011
21. Krier L., *Architektura wspólnoty*, Wydawnictwo słowo/obraz terytoria, ISBN: 978–83–7453–054–5, Gdańsk 2011

22. Kukliński W., *Wykorzystanie odnawialnych zasobów i źródeł energii sposobem na niezależność energetyczną budownictwa jednorodzinnego*, Praca dyplomowa: Studia Podyplomowe „Odnawialne zasoby i źródła energii”, promotor: prof. J. Zimny, AGH, Kraków 2005
23. Kuryłowicz S., *Architektura – idea i jej realizacja*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISBN: 9788372421364, Kraków 2000
24. Lewis M. [red.], *Architektura: elementy stylu architektonicznego*, Wydawnictwo Arkady, ISBN: 978-83-213-4635-9, Warszawa 2010
25. Lisik A., Mikoś J., Majchrowicz J., Mikoś–Rytel w.: *Koncepcja kształtowania energooszczędnych niskich budynków mieszkalnych z uwzględnieniem krajowych możliwości w zakresie rozwiązań technologiczno–konstruktorskich*, Centralny Program Badań Podstawowych IPPT PAN, Warszawa 1987
26. Lisik A., Mikoś–Rytel w.: *Podstawy kształtowania niskich budynków mieszkalnych i ich zespołów wykorzystujących odnawialne źródła energii*, Centralny Program Badań Podstawowych IPPT PAN – *Ekobudynek*, , Warszawa 1986
27. Miszczak M., Waszkiewicz C., *Energia słońca, wiatru i inne*, Instytut Wydawniczy „Nasza Księgarnia”, ISBN: 83-10-09331-4, Warszawa 1988
28. Park J., Jung HJ., Lee SW., J Park J., *A New Building–Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building*, ISSN 1996–1073, Energies 2015
29. Pierpont N., *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*, ISBN-10: 0984182705, Santa Fe 2009, s. 294
30. Poerschke U., *Wind turbine integration in architecture and the built environment*, The Pennsylvania State University, ISBN: 978–0–615–54244–7, 2011
31. Poerschke, U., Woollen, M., Stewart, S., Srebric, J., Murtha T., *Design Investigations on Building-Integrated Wind Energy: Lessons from an Architecture Studio*, Proceedings of the 2011 American Solar Energy Society (ASES) Conference, Raleigh, NC, pp.955-62.
32. Praca zbiorowa pod redakcją Lisik A., *Odnawialne źródła energii w architekturze*, ISBN: 83-7335-073-X, Gliwice 2002
33. Rekstad N.M., Srebric J., Poerschke U.: *Microclimate Analyses for the Design of Building -Integrated Wind Turbines*, in: Chimay Anumba and Ali M. Memari (ed.): AEI 2013. Building Solutions for Architectural Engineering, pp. 604-13
34. Soliński I., Ostrowski J., Soliński B., *Energia wiatru. Komputerowy system monitoringu*, Wydawnictwa AGH, ISBN: 978-83-7464-246-0, Kraków 2010
35. Szpakowska E., *Architektura miasta idealnego*, praca doktorska opracowana na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej, promotor: prof. dr hab. inż. arch. Dariusz Kozłowski, Kraków 2011 (wersja cyfrowa, źródło: Repozytorium Politechniki Krakowskiej, <http://suw.biblos.pk.edu.pl/search&termId=2&query=%21Szpakowska+%21Ernestyna>, dostęp: 13.01.2012).
36. Szumanowska M., Szumanowski A., *Fotoogniwa i turbiny wiatrowe w systemach energetycznych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN: 83-87012-18-1, Warszawa 1997
37. Tegnestue B.N., *Wind Turbines in the Landscape, Architecture & Aesthetics*, ISBN 87-985801-1-6, Aarhus, Dania 1996
38. Tytko R., *Odnawialne źródła energii*, ISBN: 978-83-928382-2-7, Warszawa 2010
39. Tymiński I., *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku*, IB–MER, ISBN: 9788386264353, 1997
40. Wiśniewski G., Oniszk–Popławska A., Zespół IEO, *Krajowy Plan Rozwoju Mikroinstalacji Odnawialnych Źródeł Energii do roku 2030*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2015
41. Wiśniewski G. (red.), Więcka A., Dziamski P., Kamińska M., Rosołek K., Santorska A., *Małoskalowe odnawialne źródła energii i mikroinstalacje. Kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne, małe*

- elektrownie wiatrowe*, Instytut Energetyki Odnawialnej, ISBN: 978-83-61340-05-8, Warszawa 2012
42. Wiśniewski G., Dziamski P., Michałowska-Knap K., Oniszk-Popławska A., Regulski P., *Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r.*, Instytut Energetyki Odnawialnej, ISBN 0239-3646, Warszawa 2009
  43. Woś A., *Klimat Polski*, Wyd. PWN, ISBN: 8301127805, Warszawa 1999
  44. Yudelson J., Meyer U., *The World's Greenest Buildings – Promise versus Performance in Sustainable Design*, Routledge (Taylor & Francis Group), ISBN: 978-0-415-60629-5, USA & Canada 2013
  45. Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010
  46. Biała księga. Energia dla przyszłości. Odnawialne zasoby energii. Komisja Europejska. Bruksela, 27 listopada 1997
  47. COM(2010) 639 final z 10 listopada 2010 r., *Energia 2020 Strategia na rzecz konkurencyjnego, zrównoważonego i bezpiecznego sektora energetycznego*.
  48. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 2009/28/WE z dnia 23 Kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003
  49. Europejski Trybunał Obrachunkowy, sprawozdanie specjalne „Wsparcie z funduszy polityki spójności na rzecz wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych – czy osiągnięto dobre rezultaty?”, Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg 2014
  50. Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum, *Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce i województwie Śląskim*, Katowice 2014
  51. Polityka energetyczna Polski do roku 2030 przyjęta Uchwałą Rady Ministrów nr 202/2009 z dnia 10 listopada 2009 r.
  52. Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Kioto, 11 grudnia 1997 r. Dz. U. z 17 października 2005 Nr 203 poz. 1684
  53. Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UN FCCC). Nowy Jork, 9 maja 1992 r. Dz. U. z dnia 17 października 2005 Nr 53 poz. 238
  54. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., *Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji*, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016
  55. *Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce i województwie śląskim*, Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum, Katowice 2014
  56. *Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku*, PSEW
  57. *The Economics of Wind Energy*, The European Wind Energy Association, March 2009
  58. Zielona księga. Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. Komisja Europejska. Bruksela 8 marca 2006
  59. Zielona księga. Ku europejskiej strategii bezpieczeństwa energetycznego. Komisja Europejska. Bruksela, 29 listopada 2000
  60. Zielona księga. O efektywności energetycznej lub jak osiągnąć więcej zużywając mniej. Komisja Europejska. Bruksela, 22 czerwca 2005
  61. Zielona księga. Ramy polityczne na okres 2020–2030 dotyczące klimatu i energii. Komisja Europejska. Bruksela, 22 stycznia 2014
  62. Zielona księga. Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030. Komisja Europejska. Bruksela, 27 marca 2013

## STRONY INTERNETOWE

1. [www.acconci.com](http://www.acconci.com)
2. [www.aerotecture.com](http://www.aerotecture.com)
3. <http://www.aiatopten.org>
4. [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)
5. <http://www.architectmagazine.com>
6. [www.architects24.com](http://www.architects24.com)
7. <https://architizer.com>
8. [www.argoxee.com.pl](http://www.argoxee.com.pl)
9. [www.avinc.com](http://www.avinc.com)
10. [www.bgp.ch](http://www.bgp.ch)
11. [www.biblos.pk.edu.pl](http://www.biblos.pk.edu.pl)
12. [www.cire.pl](http://www.cire.pl)
13. [www.cleantechnica.com](http://www.cleantechnica.com)
14. [www.detail-online.com](http://www.detail-online.com)
15. [www.dynamicarchitecture.net](http://www.dynamicarchitecture.net)
16. [www.e-architect.co.uk](http://www.e-architect.co.uk)
17. [www.ecopowershop.com](http://www.ecopowershop.com)
18. [www.eia.gov](http://www.eia.gov)
19. [www.elektrownie-wiatrowe.org.pl](http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl)
20. [www.emporis.com](http://www.emporis.com)
21. [www.energy.gov](http://www.energy.gov)
22. [www.evolu.us](http://www.evolu.us)
23. [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
24. [www.generator-y-wiatrowe.pl](http://www.generator-y-wiatrowe.pl)
25. [www.gensler.com](http://www.gensler.com)
26. [www.globenergia.pl](http://www.globenergia.pl)
27. [www.green-power.com.pl](http://www.green-power.com.pl)
28. <http://greensource.construction.com>
29. [www.ghu-architekten.de](http://www.ghu-architekten.de)
30. [www.hopefulenergy.com](http://www.hopefulenergy.com)
31. <https://www.hku.hk>
32. [www.iea.org](http://www.iea.org)
33. [www.ieo.pl](http://www.ieo.pl)
34. [www.inhabitat.com](http://www.inhabitat.com)
35. <http://www.jetsongreen.com>
36. <http://www.lydonlynch.ca>
37. [www.masdarcity.ae](http://www.masdarcity.ae)
38. [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies)
39. [www.meisarchitects.com](http://www.meisarchitects.com)
40. <http://www.mickpearce.com>
41. [www.mimoo.eu](http://www.mimoo.eu)
42. [www.morrisseyengineering.com](http://www.morrisseyengineering.com)
43. <http://www.moeser-projekt.de>
44. <https://nasarchitecture.com>
45. <http://www.nbbj.com>
46. [www.openbuildings.com](http://www.openbuildings.com)
47. [pnt.euro-centrum.com.pl](http://pnt.euro-centrum.com.pl)
48. [www.polishwindenergy.com](http://www.polishwindenergy.com)
49. [www.purpose.com.pl](http://www.purpose.com.pl)
50. <https://plgbc.org.pl> [www.pwea.pl](http://www.pwea.pl)
51. [www.psew.pl](http://www.psew.pl)
52. <http://renewabledevices.com>
53. [www.renewableenergyfocus.com](http://www.renewableenergyfocus.com)
54. [www.ridgeblade.ca](http://www.ridgeblade.ca)
55. <http://savonius-balaton.hupont.hu>
56. <http://skyscraperpage.com>
57. <https://sjp.pwn.pl>
58. [www.sosbrutalism.org](http://www.sosbrutalism.org)
59. [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)
60. <https://sustainability.asu.edu/>
61. [sustainabledevelopment.un.org](http://sustainabledevelopment.un.org)
62. [www.skyscrapernews.com](http://www.skyscrapernews.com)
63. [www.solaripedia.com](http://www.solaripedia.com)
64. <http://www.terryfarrell.co.uk>
65. [www.unesco.pl](http://www.unesco.pl)
66. [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl)
67. [www.watt.pl](http://www.watt.pl)
68. <http://waughthistleton.com>
69. [www.who.int](http://www.who.int)
70. [www.wind.psu.edu](http://www.wind.psu.edu)
71. <http://www.wind-works.org>
72. [www.ventus-energia.pl](http://www.ventus-energia.pl)
73. [www.vickiscuri.com](http://www.vickiscuri.com)
74. <http://vincent.callebaut.org>
75. [www.visionairwind.com](http://www.visionairwind.com)
76. [zielonaenergia.eco.pl](http://zielonaenergia.eco.pl)

## VIII. SPIS ILUSTRACJI, RYSUNKÓW I TABEL

- Rys. 1.1 Struktura zużycia energii pierwotnej na świecie w roku 2005, źródło: opracowanie własne na podstawie danych (IEA – International Energy Agency).
- Rys. 1.2 Struktura zużycia energii pierwotnej w Polsce w roku 2006, źródło: opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT.
- Rys. 1.3 Struktura pozyskania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w Polsce w roku 2016, źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.
- Rys. 1.4 Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej, źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat.
- Il. 1.1 Jedna z trzech turbin wiatrowych zintegrowanych z Bahrain World Trade Center, źródło: <https://www.buildinggreen.com/feature/folly-building-integrated-wind>, dostęp: 08-02-2017.
- Il. 1.2 Panorama Londynu – widok na Strata SE1, źródło: <http://inhabitat.com/first-skyscraper-with-built-in-wind-turbines-opens-in-london/strata-ed01/>, dostęp: 08-02-2017.
- Rys. 1.5 Mapa świata przedstawiająca lokalizację wybranych przykładów architektury wymienionych w niniejszej pracy w rozdziale V.3. ESTETYKA OBIEKTÓW ZINTEGROWANYCH Z TURBINAMI WIATROWYMI – ZESTAWIENIE I ANALIZA PRZYPADKÓW. (opracowanie własne).
- Tab. 2.1 Zestawienie wybranych miejscowości w Polsce z występującymi średniorocznymi prędkościami wiatru. Na podstawie: Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*. Wydanie drugie zmienione. Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, Gliwice, 2008, ISBN: 978-83-926319-8-9, s. 64, Tab. 4.3.
- Rys. 2.1 Schemat ogólnej cyrkulacji atmosfery wokół Ziemi. Opracowanie własne na podstawie: [http://geographic.cba.pl/ogolna\\_cyrkulacja.html](http://geographic.cba.pl/ogolna_cyrkulacja.html), dostęp: 10-02-2017.
- Rys. 2.2 Prędkość wiatru i natężenie promieniowania słonecznego (przykład dla obszaru Kanady). Opracowanie własne na podstawie rys.3.25. s.129, Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010.
- Il. 2.1 Stan istniejący oraz osiemnastowieczna rekonstrukcja Wieży Wiatrów ze starożytnych Aten, źródło: <http://www.crystalinks.com/clocks.html>, [http://en.wikipedia.org/wiki/Tower\\_of\\_the\\_Winds#mediaviewer/File:StuartRevettTower\\_v2.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Tower_of_the_Winds#mediaviewer/File:StuartRevettTower_v2.jpg), dostęp: 11-02-2017.
- Tab. 2.2 Umowne etapy rozwoju współczesnych elektrowni wiatrowych ze względu na rozmiary wirnika i moc generatora. Źródło: opracowanie własne na podstawie: Boczar T., *Energia wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*, Wydawnictwo PAK, s.18, ISBN:978-83-926319-8-9, Warszawa 2008.
- Rys. 2.3 Schemat budowy typowej siłowni wiatrowej (opracowanie własne).
- Rys. 2.4 Schemat systemu WECS (opracowanie własne).
- Rys. 2.5 Porównanie średnich cen energii elektrycznej i gazu w latach 2004 – 2012. Opracowanie własne na podstawie danych GUS.
- Rys. 2.6 Zależność kosztów produkcji energii elektrycznej przez elektrownię wiatrową w zależności od średniorocznej prędkości wiatru na wysokości środka wirnika (piasty) turbiny wiatrowej. Źródło: Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*. Wydanie drugie zmienione. Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978-83-926319-8-9, s.232, Gliwice 2008, Rys.6.4.
- Tab. 2.3 Prognoza zmiany kosztów produkcji energii ze źródeł odnawialnych 2001–2020 r. Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN: 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010, s.268.
- Tab. 2.4 Zestawienie ofert cenowych wybranych firm zajmujących się sprzedażą turbin wiatrowych na terenie Polski. Źródło: Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce i województwie śląskim, Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum, Katowice 2014, s.26.
- Rys. 2.7 Schemat oddziaływania wiatru na budynek (opracowanie własne).
- Tab. 2.5 Klasyfikacja ogólna oddziaływań wiatru na obiekty budowlane. Źródło: Flaga A., *Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania.*, Wydawnictwo Arkady, ISBN 978-83-213-4526-0, Warszawa 2008, s. 348, Rys. 8.3.
- Rys. 2.8 Schemat wirów powietrznych jakie mogą powstać wokół budynku pod wpływem siły wiatru (opracowanie własne).
- Tab. 2.6 Zestawienie mocy zainstalowanych w elektrowniach wiatrowych w latach 2005, 2010, 2014 w poszczególnych krajach UE; Źródło: opracowanie własne na podstawie: Boczar T., *Energia wiatrowa. Alternatywne możliwości wykorzystania*. Wydanie drugie zmienione. Wydawnictwo Pomiar Automatyka i Kontrola, ISBN: 978-83-926319-8-9, Gliwice 2008, [www.slideshare.net/jakubtabor/raport-energetyka-wiatrowa-w-polsce-2015](http://www.slideshare.net/jakubtabor/raport-energetyka-wiatrowa-w-polsce-2015) dostęp: 22.09.2016, [www.imbaenergyclub.gr/2012/10/10/2011-european-wind-energy-market-review-offshore-wind-parks/](http://www.imbaenergyclub.gr/2012/10/10/2011-european-wind-energy-market-review-offshore-wind-parks/), dostęp: 22-09-2016.
- Rys. 2.10 Udział procentowy energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach wiatrowych w zużyciu końcowym energii w UE. Opracowanie własne na podstawie: *Energetyka wiatrowa w Unii Europejskiej – stan obecny*

oraz perspektywa roku 2020 Autorzy: prof. dr hab. inż. Józef Paska, dr inż. Tomasz Surma („Rynek Energii” – 2/2012).

- Rys. 2.11 Moc elektrowni wiatrowych w MW, zainstalowana w Polsce, latach 2006 – 2015. Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, <http://psew.pl/pl/biblioteka/raporty/>, dostęp: 16–11–2016.
- Rys. 2.12 Zapotrzebowanie na energię finalną w podziale na nośniki [Mtoe]. Opracowanie własne według Załącznik nr 2 do Polityki energetycznej Polski do roku 2030, s.11.
- Tab. 2.7 Zapotrzebowanie na energię finalną brutto z OZE w podziale na rodzaje energii [ktoe]. Opracowanie własne na podstawie tabeli 9, załącznika nr 2 do polityki energetycznej Polski do roku 2030, s. 12.
- Tab. 2.8 Obecne i prognozowane moce wytwórcze energii elektrycznej brutto [MW]. Opracowanie własne według danych z tabela 14 załącznika nr 2 do polityki energetycznej Polski do roku 2030, s. 16.
- Rys. 2.13 Moc zainstalowana w Polsce [MW], stan na 31.12.2013 r., opracowanie własne według <http://www.pwea.pl/pl/energetyka-wiatrowa>, dostęp: 27–08–2016.
- Tab. 3.1 Zestawienie klasyfikacji stosowanych w budownictwie technologii pozyskiwania energii wiatrowej (opracowanie własne).
- Rys. 3.1 Klasyfikacja turbin wiatrowych ze względu na budowę wirnika (opracowanie własne na podstawie: [zielonaenergia.eco.pl](http://zielonaenergia.eco.pl), dostęp: 20–01–2015).
- Rys. 3.2 Podział turbin wiatrowych typu HAWT ze względu na usytuowanie wirnika w stosunku do kierunku wiatru. Na rysunku kolejno: turbina wiatrowa typu up-wind, turbina wiatrowa typu up-wind wyposażona w pasywny system sterowania oraz turbina wiatrowa typu down-wind (opracowanie własne).
- Rys. 3.3 Klasyfikacja ze względu na lokalizację turbin względem obiektu (opracowanie własne).
- Il. 3.1 Turbina typu Architectural Wind produkcji firmy AeroVironment, źródło: <https://inhabitat.com/architectural-wind-modular-wind-turbines/>, dostęp: 19–03–2018.
- Il. 3.2 Fabryka Kettle Foods, Wisconsin, United States of America, źródło: <http://newenergynews.blogspot.com/2007/10/kettle-chips-gets-gold-medal-for-green.html>, dostęp: 19–03–2018.
- Il. 3.3 Turbina Ridgeblade, Knarborough, UK, źródło: <https://ridgeblade.ca/products/hybrid-solar-units/>, dostęp: 19–02–2019.
- Il. 3.4 The Razol, London, UK, źródło: [www.inhabitat.com](http://www.inhabitat.com), dostęp: 23–03–2018.
- Il. 3.5 Bahrain World Trade Center, źródło: <https://www.e-architect.co.uk/bahrain/bahrain-world-trade-centre>, dostęp: 23–03–2018.
- Rys. 3.4 Budynki zintegrowane z systemami turbin wiatrowych: (a) możliwość lokalizacji instalacji wielkogabarytowych turbin wiatrowych, (b) dwie propozycje lokalizacji instalacji małych turbin wiatrowych. Park J., Jung HJ., Lee SW., J Park J., *A New Building—Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building*, ISSN 1996–1073, Energies 2015, s.3.
- Rys. 3.5 Klasyfikacja ze względu na wpływ turbin na kształtowanie obiektu (opracowanie własne).
- Il. 3.6 Greenway Self Park, Chicago, Stany Zjednoczone, źródło: <https://www.archdaily.com/74468/greenway-self-park-hok/turbine3>, dostęp: 06–03–2019.
- Il. 3.7 Kinetica – Ramsgate Street, Londyn, Anglia, źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 06–03–2019.
- Il. 3.8 Global Institute of Sustainability, Arizona State University, Arizona, Stany Zjednoczone, źródło: <https://inhabitat.com/asu-global-institute-of-sustainability/?variation=d>, dostęp: 06–03–2019.
- Rys. 4.1 Schematyczny przebieg algorytmu doboru siłowni wiatrowej (opracowanie własne na podstawie: Zimny J., *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym*, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISBN 978-83-7490-378-3, Kraków – Warszawa 2010, s.117, Rys.3.24 „Schematyczny przebieg algorytmu doboru i projektu siłowni wiatrowej”).
- Rys. 4.2 Mapa przedstawiająca potencjał energii wiatrowej na terenie Polski. Opracowanie własne na podstawie <http://ioze.pl/energetyka-wiatrowa/wstepna-analiza-wietrzności> (dostęp: 06–03–2017) oraz Stref energetycznych wiatru wg prof. Haliny Lorenc z Ośrodka Meteorologii IMGW.
- Tab. 4.1 Klasy szorstkości terenu. Opracowanie własne według: <http://www.polishwindenergy.com/index.php/kompendium-wiedzy-o-energetyce-wiatrowej/64-klasy-szorstkoci>, dostęp: 24–08–2017.
- Rys. 4.3 Wpływ szorstkości terenu na prędkość wiatru w zależności od wysokości pomiarów: 10 m, 80 m, 100 m, 120 m nad poziomem terenu. Opracowanie własne według: <http://www.polishwindenergy.com/index.php/kompendium-wiedzy-o-energetyce-wiatrowej/64-klasy-szorstkoci>, dostęp: 24–08–2017.
- Il. 4.1 Turbina typu Qr6, źródło: <https://www.quietrevolution.com/photos/>, dostęp: 24–08–2017.
- Il. 4.2 Turbina w trakcie instalacji na dachu, źródło: [www.quietrevolution.com](http://www.quietrevolution.com), dostęp: 24–08–2017.
- Il. 4.3 Turbina Windside WS – 0,15 B, źródło: [http://www.windside.com/products/ws-0\\_15](http://www.windside.com/products/ws-0_15), dostęp: 24–08–2017.
- Il. 4.4 Turbina Windside WS – 0,15 B zainstalowana na posterunku policyjnym w Norwegii, źródło: [http://www.windside.com/products/ws-0\\_15](http://www.windside.com/products/ws-0_15), dostęp: 24–08–2017.
- Il. 4.5 Turbina typu V1.8s firmy Hopeful Wind Energy Technology, źródło: <http://www.hopefulenergy.com>, dostęp: 29–08–2017.
- Il. 4.6 Turbina typu V1.8s firmy Hopeful Wind Energy Technology, źródło: <http://www.hopefulenergy.com>, dostęp: 29–08–2017.



- II. 4.7 Turbina wiatrowa typu Swift firmy Renewable Devices Swift Turbines Ltd, źródło: <http://renewabledevices.com/wp-content/2013/02/Swift-Montage-2.jpg>, dostęp: 29-08-2017.
- II. 4.8 Turbina wiatrowa typu Swift firmy Renewable Devices Swift Turbines Ltd, źródło: <http://renewabledevices.com/wp-content/2013/02/Swift-Montage-2.jpg>, dostęp: 29-08-2017.
- II. 4.9 Turbina wiatrowa typu aeroturbine – model 610V, źródło: <http://savonius-balaton.hupont.hu/80/aerotecture-international-inc-chicagousa>, dostęp: 10-08-2017.
- II. 4.10 Turbina wiatrowa typu aeroturbine – model 610V, źródło: <http://www.jetsongreen.com/2009/06/small-wind-market-grows-78-percent-in-2008.html>, dostęp: 10-08-2017.
- II. 4.11 Turbina wiatrowa typu Architectural wind, źródło: <http://inhabitat.com/architectural-wind-modular-windturbines/attachment/11665/>, dostęp: 10-08-2017.
- II. 4.12 Turbina wiatrowa typu Architectural wind, źródło: <http://inhabitat.com/architectural-wind-modular-wind-turbines/attachment/11666/>, dostęp: 10-08-2017.
- II. 4.13 Turbina wiatrowa RB1 Residential, źródło: <http://www.wiatraki.murat.pl/nk.html>, dostęp: 19-02-2018.
- II. 4.14 Turbina wiatrowa typu RB1 Residential, źródło: <https://ridgeblade.ca/>, dostęp: 19-02-2019.
- Rys. 4.4 Zestawienie problematyki architektury wiatrowej (opracowanie własne).
- Rys. 4.5 Zestawienie wyników ankiety wykonanej przez CBM Indicator dla PSEW. Odpowiedź na pytanie: Który ze sposobów produkcji energii powinien być Twoim zdaniem najbardziej wspierany przez polski rząd? Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, PSEW, s.51.
- Rys. 4.6 Zestawienie wyników ankiety wykonanej przez CBM Indicator dla PSEW. Opracowanie własne na podstawie „Stan energetyki wiatrowej w Polsce w 2015 roku”, PSEW, s.52.
- Rys. 5.1 Przykłady korzystnych, pod względem przepływów powietrza, rozwiązań kształtowania bryły budynku w zabudowie miejskiej (opracowanie własne).
- Rys. 5.2 Schemat przepływu wiatru w obrębie budynku i przez tunele, w których zostały umieszczone turbiny wiatrowe. Rozwiązanie zastosowane w Pearl River Tower, Guangzhou, Chiny (opracowanie własne).
- Rys. 5.3 Widok tunelu z boku i z góry. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.4.
- Rys. 5.4 Widok przestrzeni pomiarowej z boku i z góry. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.4.
- Rys. 5.5 Schemat ideowy termoanemometrycznego systemu pomiarowego. Raport z pracy naukowo-badawczej: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.5.
- Tab. 5.1 Oznaczenia podstawowych wielkości fizycznych i przyjęte ich wartości liczbowe: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.6.
- Tab. 5.2 Oznaczenia i wzory pozostałych wielkości fizycznych: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.6.
- II. 5.1 Zdjęcie przedstawia zestawienie brył użytych w doświadczeniu. Fot. Łukasz Flaga.
- II. 5.2 Elementy symulujące warstwę przyścienną oraz profil wiatru uzyskany dzięki nim w tunelu aerodynamicznym: Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.9.
- II. 5.3 Zdjęcie przedstawia elementy układu pomiarowego znajdujące się we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.
- Rys. 5.6 Podstawowe wymiary modeli użytych w doświadczeniu oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych wokół każdej z brył: bryła 1 (a), bryła 2 (b), bryła 3 (c), bryła 4 (d) (wymiar podano w [cm]).
- II. 5.4 Widok bryły 1 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.
- II. 5.5 Widok bryły 2 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.
- II. 5.6 Widok bryły 3 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.
- II. 5.7 Widok bryły 4 wraz z elementami układu pomiarowego we wnętrzu tunelu aerodynamicznego. Fot. Łukasz Flaga.
- Rys. 5.7 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (c) i A2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 1 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów A1 i A2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.12.
- Rys. 5.8 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie B1 (c) i B2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 1 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów B1 i B2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.13.

- Rys. 5.9 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (c) i A2 (d) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 2 (a); zestawienie porównawcze uzyskanych wyników dla punktów A1 i A2 (b): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.14
- Rys. 5.10 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (b) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 3 (a): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.14.
- Rys. 5.11 Wykresy średnich prędkości wiatru w punkcie A1 (b) dla poszczególnych kierunków napływu powietrza na bryłę 4 (a): Flaga A., Flaga Ł., Krajewski P., Wykonanie pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji, zleceniodawca: Instytut Projektowania Budowlanego A4 Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2016, s.15.
- Tab. 5.3 Tabela porównawcza wyników przeprowadzonych pomiarów prędkości przepływu i ich turbulencji dla brył 1, 2, 3 i 4.
- Il. 5.8 Źródło: <https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls/501249b028ba0d0a480001c3-strata-se1-bfls-photo>, dostęp: 10-08-2017.
- Il. 5.9 Źródło: <https://www.bournegroup.eu/bourne-steel-projects/strata-se1/>, dostęp: 10-08-2017.
- Il. 5.10 Źródło: <https://imagenesmi.com/im%C3%A1genes/bahrain-world-trade-center-logo-99.html>, dostęp: 12-08-2017.
- Il. 5.11 Źródło: <https://www.amusingplanet.com/2015/11/the-bahrain-world-trade-center-has.html>, dostęp: 12-08-2017.
- Il. 5.12 Źródło: <https://perkinswill.com/work/oklahoma-medical-research-foundation.html>, dostęp: 19-03-2016.
- Il. 5.13 Źródło: <https://newatlas.com/largest-rooftop-wind-farm/23733/#gallery>, dostęp: 19-03-2016.
- Il. 5.14 Źródło: [www.legacy.interioidesign.net](http://www.legacy.interioidesign.net), dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.15 Źródło: <http://organicmechanic.com/category/wind-power/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.16 Źródło: <https://www.architravel.com/architravel/building/palestra/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.17 Źródło: <https://www.architravel.com/architravel/building/palestra/#jp-carousel-25146>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.18 Źródło: <https://www.mercurynews.com/2017/07/13/adobe-sets-big-san-jose-expansion-near-proposed-google-village/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.19 Źródło: [http://www.windworks.org/cms/index.php?id=64&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=2483&cHash=3b3cb9265ea9f4f24362b6e9794dbc45](http://www.windworks.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2483&cHash=3b3cb9265ea9f4f24362b6e9794dbc45), dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.20 Źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.21 Źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.22 Źródło: <http://waughthistleton.com/ramsgate-street/>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.23 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/107>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.24 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/107>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.25 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/107>, dostęp: 23-07-2015.
- Il. 5.26 Źródło: <https://www.mrvd.nl/projects/158/expo-2000>, dostęp: 24-07-2015.
- Il. 5.27 Źródło: <https://www.mrvd.nl/projects/158/expo-2000>, dostęp: 24-07-2015.
- Il. 5.28 Źródło: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/wir-ueber-uns/technisches-rathaus.html>, dostęp: 20-02-2018.
- Il. 5.29 Źródło: <http://www.ghu-architekten.de/?p=28>, dostęp: 20-02-2018.
- Il. 5.30 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2designinc/51cc719eb3fc4b2142000077-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.31 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc716db3fc4b2142000075-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.32 Źródło: <http://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc716db3fc4b2142000075-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.34 Źródło: <http://manchesterhistory.net/manchester/tours/tour8/area8page15.html>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.35 Źródło: <http://manchesterhistory.net/manchester/tours/tour8/area8page15.html>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.36 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/27/near\\_north\\_apartments\\_with\\_wind\\_turbines\\_\(chicago\\_illinois\\_usa\).html](http://www.solaripedia.com/13/27/near_north_apartments_with_wind_turbines_(chicago_illinois_usa).html), , dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.37 Źródło: <https://www.flickr.com/photos/reallyboring/5587014887>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.38 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly\\_adventure\\_aquarium.html](http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly_adventure_aquarium.html), dostęp: 16-07-2016.
- Il. 5.39 Źródło: [http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly\\_adventure\\_aquarium.html](http://www.solaripedia.com/13/93/792/folly_adventure_aquarium.html), dostęp: 16-07-2016.
- Il. 5.40 Źródło: <https://sustainability.asu.edu/news/archive/asu-named-among-top-20-most-sustainable-universities/>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.41 Źródło: <https://sustainability.asu.edu/news/archive/visit-wrigley/>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.42 Źródło: <https://architizer.com/projects/greenway-self-park/>, dostęp: 07-06-2017.
- Il. 5.43 Źródło: <https://architizer.com/projects/greenway-self-park/>, dostęp: 07-06-2017.

- II. 5.44 Źródło: <http://www.worldpropertyjournal.com/featured-columnists/hess-tower-cbre-debt-financing-hreit-hess-corporation-commercial-mortgages-office-building-sales-institutional-real-estate-investors-office-reits-leed-certified-shell-properties-5250.php>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.45 Źródło: <http://www.worldpropertyjournal.com/featured-columnists/hess-tower-cbre-debt-financing-hreit-hess-corporation-commercial-mortgages-office-building-sales-institutional-real-estate-investors-office-reits-leed-certified-shell-properties-5250.php>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.46 Źródło: <http://www.worldpropertyjournal.com/featured-columnists/hess-tower-cbre-debt-financing-hreit-hess-corporation-commercial-mortgages-office-building-sales-institutional-real-estate-investors-office-reits-leed-certified-shell-properties-5250.php>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.47 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.48 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.49 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.50 Źródło: <http://www.aiatopten.org/node/265>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.51 Źródło: <http://www.skyscrapercenter.com/building/pearl-river-tower/454>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.52 Źródło: <http://www.skyscrapercenter.com/building/pearl-river-tower/454>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.53 Źródło: <https://www.onthemarket.com/details/5005365/>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.54 Źródło: <https://www.flickr.com/photos/47566712@N02/4777131718/>, dostęp: 03-05-2018.
- II. 5.55 Źródło: [www.ecoyogini.blogspot.com](http://www.ecoyogini.blogspot.com)), dostęp: 08-11-2016.
- II. 5.56 Źródło: <http://archineers.com/projects/2014/03/07/seaport-farmers-market/>, dostęp: 03-07-2018.
- II. 5.57 Źródło: [https://www.hkgbc.org.hk/sb13/en/gbtour\\_HK.aspx](https://www.hkgbc.org.hk/sb13/en/gbtour_HK.aspx), dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.58 Źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HKU\\_Centennial\\_Campus\\_L3\\_Podium\\_201412.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HKU_Centennial_Campus_L3_Podium_201412.jpg), dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.59 Źródło: [http://www.gbig.org/org\\_profiles/2038](http://www.gbig.org/org_profiles/2038), dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.60 Źródło: <https://www.ecmweb.com/content/electric-submeters-optimize-building-performanceengineering-firm-s-headquarters>, dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.61 Źródło: <http://chicago-outdoor-sculptures.blogspot.com/2007/11/batcolumn.html>, dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.62 Źródło: [http://www.aerotecture.com/projects\\_ssa.html](http://www.aerotecture.com/projects_ssa.html), dostęp: 03-08-2018.
- II. 5.63 Źródło: [www.bgp.ch/Code/PR.asp?ID\\_UT=5&ID=578&FID=863&Offset=1](http://www.bgp.ch/Code/PR.asp?ID_UT=5&ID=578&FID=863&Offset=1), dostęp: 01-10-2018.
- II. 5.64 Źródło: [www.bgp.ch/English/PR.asp?ID\\_UT=5&ID=578&FID=856&Offset=1](http://www.bgp.ch/English/PR.asp?ID_UT=5&ID=578&FID=856&Offset=1), dostęp: 01-10-2018.
- II. 5.65 Źródło: [www.loopnet.com](http://www.loopnet.com), dostęp: 28-01-2017.
- II. 5.66 Źródło: [http://www.aerotecture.com/projects\\_pepsico.html](http://www.aerotecture.com/projects_pepsico.html), dostęp: 28-01-2017.
- II. 5.67 Źródło: <https://yalealumnimagazine.com/articles/2575-no-tilting-please>, dostęp: 25-01-2017.
- II. 5.68 Źródło: <http://www.sosbrutalism.org/cms/16246931>, dostęp: 06-11-2018.
- II. 5.69 Źródło: <https://www.suiteexperiencegroup.com/all-suites/nfl/philadelphia-eagles/>, dostęp: 24-11-2018.
- II. 5.70 Źródło: <https://www.sportsvideo.org/2018/01/30/panasonics-everest-wifi-excels-during-nfc-championship-game-at-lincoln-financial-field/>, dostęp: 24-11-2018.
- II. 5.71 Źródło: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>, dostęp: 19-01-2019.
- II. 5.72 Źródło: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>, dostęp: 19-01-2019.
- Rys. 5.12 Korytarze przewietrzania miasta – Kraków. Opracowanie własne na podstawie ekspertyzy K. Błażejczyka dotyczącej systemu wymiany i regeneracji powietrza w Krakowie.
- II. 5.73 Masdar City widok z lotu ptaka, źródło: [https://www.google.pl/search?q=masdar+city&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiYxtu25KDZAhWlhaYKHbMcBWMQ\\_AUICigB&biw=1920&bih=949#imgrc=7xzf2lAX\\_jaf5M;](https://www.google.pl/search?q=masdar+city&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiYxtu25KDZAhWlhaYKHbMcBWMQ_AUICigB&biw=1920&bih=949#imgrc=7xzf2lAX_jaf5M;), dostęp: 02-02-2017.
- II. 5.74 Wieża wiatrowa w pobliżu Masdar Institute, źródło: <http://openbuildings.com/buildings/masdar-institute-profile-39425#!buildings-media/0>, dostęp: 02-02-2017.
- II. 5.75 Technorama, źródło: <http://nedkahn.com/portfolio/technorama-facade/>, dostęp: 03-02-2017.
- II. 5.76 Technorama – detal elewacji, źródło: <https://smartercities.wikispaces.com/Technorama+Facade>, dostęp: 03-02-2017
- II. 5.77 "BREATH BOX" – Efemeryczny pawilon na 2014 Festival des Architectures Vives – detal elewacji, źródło: <https://nasarchitecture.com/Pavillon-ephemere-pour-le-Festival-des-Architectures-Vives-2014>, dostęp: 16-02-2018.
- II. 5.78 Mylly Shopping Centre, Turku, Finlandia, źródło: <https://www.windside.com/products/ws-12>, dostęp: 26-01-2019.
- II. 5.79 Instalacja Permanent light art work, autorka: Tarja Ervasti, Helsinki 2005 r., źródło: <http://www.tarjaervasti.com/index.php/gallery-light-art>, dostęp: 16-02-2018.
- II. 5.80 Instalacja COURTYARD IN THE WIND, autor: Vito Acconci, Monachium 2000 r., źródło: <http://acconci.com/courtyard-in-the-wind/>, dostęp: 16-02-2018.
- II. 5.81 Zbliżenie na turbny wiatrowe UGE zamontowane na 122 metrze wieży Eiffla, aut. fot. Aleksandra Głuchowska, Paryż 2018 r.

- Il. 5.82 Instalacja Airway Gateway, autorka: Vicky Scuri, El Paso, Stany Zjednoczone 2014 r., źródło: <https://www.vickiscuri.com/project-airway.html>, dostęp: 26-01-2019.
- Il. 5.83 Wizualizacje projektu koncepcyjnego wieżowca Rotating Tower w Dubaju, źródło: <https://inhabitat.com/dubais-crazy-rotating-wind-powered-skyscraper-is-actually-being-built/>, dostęp: 13-02-2019.
- Il. 5.84 Wizualizacje projektu koncepcyjnego wieżowca Rotating Tower w Moskwie, źródło: <http://wideworldofgeometry.pbworks.com/w/page/14141559/CEOs%201>, dostęp: 13-02-2019.
- Il. 5.85 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Anti Smog projektu Vincenta Callebaut, źródło: [http://vincent.callebaut.org/zoom/projects/071123\\_ourcq/ourcq\\_pl024.jpg](http://vincent.callebaut.org/zoom/projects/071123_ourcq/ourcq_pl024.jpg), dostęp: 13-02-2019.
- Il. 5.86 Wizualizacje projektu koncepcyjnego LO2P Recycling Skyscraper projektu Atelier CMJN, źródło: <http://www.evolo.us/lo2p-delhi-recycling-center/>, dostęp: 18-02-2019.
- Il. 5.87 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Solar Wind Bridge projektu Francesco Colarossi, Giovanni Saracino i Luisy Saracino, źródło: <http://londinoupolis.blogspot.com/2011/08/solar-wind-bridge.html>, dostęp: 18-02-2019.
- Il. 5.88 Wizualizacje projektu koncepcyjnego Antara Tower w Dubaju projektu Atkins Design Studio, źródło: <http://londinoupolis.blogspot.com/2011/08/solar-wind-bridge.html>, dostęp: 18-02-2019.
- Il. 5.90 New Haven, Becton Engineering Center, Yale University, źródło: <http://www.flickrriver.com/photos/doctorcasino/24987296534/>, dostęp: 29-12-2016.
- Tab. 6.1 Zestawienie projektów przedstawionych i poddanych analizie w niniejszej pracy (opracowanie własne).