

PRZEPIŹY W W IATRU W TERENIE MIEJSKIM I MOŹLIWOŚCI JEGO WYKORZYSTANIA

K. Klemm

Instytut Architektury i Urbanistyki, Politechnika Łódzka, Łódź, Polska

STRESZCZENIE

W pracy omówiono charakterystyczne cechy przepływu powietrza w obszarach miejskich oraz przedstawiono efekty aerodynamiczne wywołane typowymi układami zabudowy. Zwrócono uwagę na możliwości zastosowania małych turbin wiatrowych w terenach miejskich oraz dokonano wstępnej oceny warunków wiatrowych z wykorzystaniem symulacji numerycznej.

WPROWADZENIE

Wzrastający popyt na surowce energetyczne prowadzi do szybkiego kurczenia zasobów naturalnych. W sytuacji tej coraz większą uwagę przywiązuje się do możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii.

Dodatkowo coraz częściej zauważane zostaje realne niebezpieczeństwo ekologiczne związane z uwalnianiem do atmosfery, w wyniku spalania, dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych. Ochrona przed efektem cieplarnianym staje się jednym z głównych celów polityki ekologicznej większości państw świata. Na Światowym Szczycie Ekologicznym w 1992 roku w Rio de Janeiro kraje uczestniczące podjęły zobowiązanie, aby do roku 2050 zredukować o połowę emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Zmniejszenie emisji szkodliwych produktów spalania może być osiągnięte poprzez zredukowanie udziału paliw kopalnych w bilansie energetycznym oraz zastosowanie metody substytucji paliw tradycyjnych nowymi (ekologicznie czystymi) nośnikami energii, głównie przez wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych.

Podczas szczytu Unii Europejskiej w Brukseli, w marcu 2007 roku przyjęto aby do 2020 roku nastąpił wzrost udziału wykorzystania odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie energii finalnej całej Unii Europejskiej do poziomu 20%. Dostosowując się do wymagań unijnych Rząd Polski określił cele strategiczne rozwoju energetyki odnawialnej, zgodnie z którymi do roku 2020 udział energii wytwarzanej z odnawialnych źródeł w ogólnym bilansie produkcji ma stanowić 15%, w 2030 – 20%.

Jednym ze źródeł pozyskiwania energii odnawialnej jest wiatr. W ostatnich latach można zauważyć dynamiczny wzrost energetyki wiatrowej w Polsce. Moc zainstalowana w energetyce wiatrowej wynosiła w styczniu 2011 r. około 1181 MW. Udział generacji wiatrowej w krajowym zużyciu energii elektrycznej wyniósł w 2010 roku 0,96%.

W porównaniu z innymi krajami europejskimi jest to liczba niewielka, jednak potencjalne zasoby wiatru w Polsce oraz powstające co roku nowe inwestycje dają nadzieję na stopniowy wzrost udziału tej gałęzi energetyki.

Coraz większą uwagę zwraca się na możliwości wykorzystania energii wiatru w obszarach miejskich. Szczególnie interesującym rozwiązaniem wydaje się być zastosowanie turbin o pionowej osi obrotu. Mogą być one stosowane wszędzie tam, gdzie wymagana jest produkcja niewielkich ilości energii elektrycznej, przy mniej korzystnych zasobach wiatrowych.

PRZEPIŹY POWIETRZA W OBSZARACH ZABUDOWANYCH

Przepływ wiatru w środowisku zabudowanym kształtowany jest przez wiele parametrów. Zabudowa miasta i zmienna wysokość budynków powodują wzrost szorstkości dynamicznej podłoża, a w następstwie spadek prędkości wiatru przy powierzchni i w całym profilu pionowym nad miastem. Jak wykazały liczne badania klimatu miast średnie osłabienie prędkości przepływu w centrum dochodzi do 30%, zmniejszając się w strefie zewnętrznej do około 15-20% (Lewińska, 2000).

Jednocześnie na skutek nakładania się na siebie stref przepływu poszczególnych budynków niekiedy dochodzi do lokalnego wzrostu prędkości i pojawienia się przepływów wtórnych. Niezwykle istotnym elementem, kształtującym warunki wietrzności w środowisku miejskim jest sama bryła budynku, jej kształt i wymiary. Szczególnie intensywny przepływ powietrza charakteryzuje budynki wysokie (Murakami et al. 1979). Przyrost prędkości notowany jest w tym przypadku zarówno w pobliżu dachu, jak również na poziomie pieszego. Wynika to z faktu, że budynki wysokie mają tendencję do ściągania przepływu w dół po ścianach i tworzenia silnych zawirowań w pobliżu powierzchni ziemi.

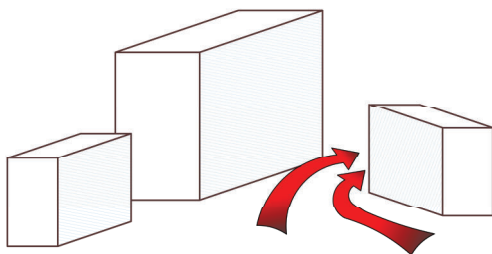
Obecność większej liczby budynków powoduje tworzenie się charakterystycznych efektów aerodynamicznych. Wśród nich szczególnie silne przyrosty prędkości wywołują efekty: zwięzki Venturiego, różnicy ciśnień czy otworów w bryle budynku. Efekt Venturiego (rys.1) ma miejsce w przypadku usytuowania dwu szeregow budynków pod kątem mniejszym niż 90°. Długości budynków nie powinny być mniejsze niż 50m a ich średnia wysokość nie mniejsza niż 15m. Warunkiem wystąpienia efektu

jest również szerokość luki między budynkami ($1/2 H < \text{szerokość luki} < 4H$) (Lawson, 1980). Taki układ zabudowy wpływa na płynną zmianę przekroju przepływu, który w zależności od kierunku wiatru może spowodować wzrost lub spadek prędkości bez powstawania zawirowań. Wzrost prędkości wiatru w zwężeniu jest proporcjonalny do wysokości budynków. Aby odzwierciedlić wpływ zabudowy na zmianę prędkości wiatru stosuje się bardzo często bezwymiarowy współczynnik przyspieszenia γ . Określa on stosunek prędkości w rozpatrywanym układzie do prędkości na tej samej wysokości, zmierzonej w strefie otwartej. Dla obiektów o wysokości 15 m współczynnik przyspieszenia wynosi 1,2. Wysokość równa 40-50m powoduje dwukrotny wzrost prędkości wiatru w stosunku do przepływu niezaburzonego.

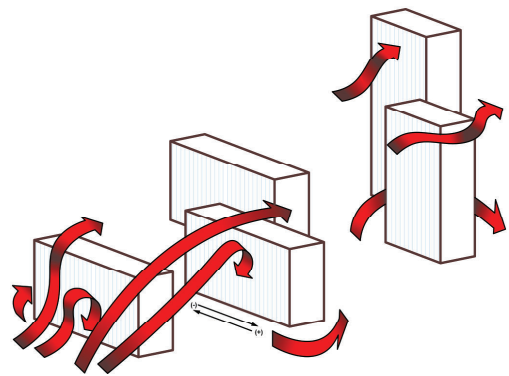
Innym efektem, często spotykanym w zabudowie osiedlowej jest efekt połączenia stref nadciśnienia i podciśnienia. Do powstania tego efektu dochodzi, gdy budynki ustawione są jeden za drugim w odległości nie większej niż ich wysokość oraz dodatkowo, gdy są przesunięte na odległość przekraczającą ich wysokość. Różnice ciśnień powstające na ścianach budynków powodują przyspieszenia przepływu powietrza z miejsc wytworzenia się nadciśnienia w kierunku podciśnienia. Współczynnik przyspieszenia dla budynków o wysokości 15m wynosi 1,2, a dla 35m 1.3-1.6 (Gandemer, 1979). Wyraźnej zmianie ulega również kierunek przepływu, który pozostaje równoległy do dłuższej ściany budynków jeszcze w znacznej odległości od budynku (rys.2).

W przypadku budynków z otworem w parterze (przejścia) różnica ciśnienia między ścianą dowietrzną (nadciśnienie) i zawietrzną (ssanie) powoduje silny przepływ powietrze w obrębie przejścia, rozprzestrzeniający się jeszcze w strefie za budynkiem. Najwyższe notowane wartości prędkości wiatru, wyrażone współczynnikiem γ , dochodzące do 2,6 pojawiają się tuż za wejściem do pasażu. Jednakże strefa wysokich prędkości obejmuje znacznie większy obszar, wnikając w strefę zawietrzną budynku (rys.3).

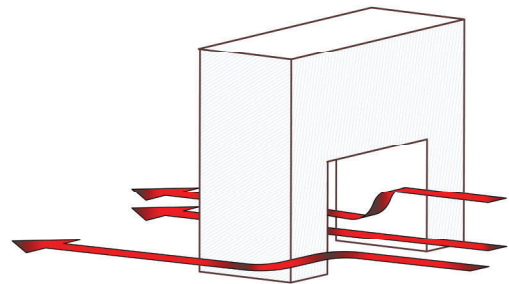
Podobne efekty mogą pojawić się w obrębie pojedynczego obiektu o urozmaiconej bryle.



Rys.1. Efekt zwężki Venturiego



Rys.2. Efekt różnicy ciśnień



Rys.3. Efekt otworów w bryle budynku

TURBINY WIATROWE ZINTEGROWANE Z BUDYNKIEM

Dążąc do rozproszenia systemu energetycznego i przewartościowania szeregu problemów, związanych z lokalizacją i funkcjonowaniem dużych elektrowni wiatrowych zaczęto coraz większą uwagę skupiać na małych turbinach o pionowej osi obrotu.

Do głównych zalet tego rozwiązania należą między innymi: niezakłócona praca przy zmiennym wietrze i niewielkiej prędkości, łatwa instalacja, ograniczony wpływ na środowisko czy możliwość zastosowania w terenach miejskich.

Turbiny o pionowej osi obrotu (VAWT) mogą być stosowane w obszarach o mniej korzystnych zasobach wiatrowych. Praca turbiny rozpoczyna się już przy prędkości 2m/s. Zmiany kierunku wiatru, charakterystyczne dla obszarów zabudowanych nie mają wpływu na sprawność turbiny.

Nie bez znaczenia jest również mniejszy wpływ na środowisko, głównie w zakresie ograniczenia hałasu i negatywnego oddziaływania na ptactwo. Turbiny VAWT pracują znacznie ciszej od HAWT, ponadto charakteryzują się minimalnymi wibracjami.

Małe turbiny wiatrowe, zwłaszcza o pionowej osi obrotu nie stanowią elementów zakłócających wizualnie krajobraz, są łatwe do wkomponowania w otoczenie, a niekiedy mogą być nawet wykorzystywane jako elementy dekoracyjne. Istnieje kilka możliwości lokalizacji turbin wiatrowych między innymi:

- pomiędzy budynkami, przy wykorzystaniu efektu zwężki Venturiego,

- w kanale przechodzącym przez budynek (efekt różnicy ciśnień),
- na dachu budynku

Najbardziej realna i najszybsza do powszechnego użytku może być koncepcja umieszczania turbin wiatrowych na dachu. Symulacje komputerowe wskazują na ok. 30% zwiększenie prędkości wiatru kilka metrów nad dachem i na jego krawędzi w porównaniu do przepływu w terenie otwartym. Według obliczeń, na skutek koncentracji przepływu wywołanej układem zabudowy, na wysokości 5 m ponad dachem budynku, o wysokości 20 m, zlokalizowanym w zabudowie miejskiej panują podobne warunki wiatrowe jak w terenie niezabudowanym na wysokości 10 m (Van Bussel et al., 2005)

Turbiny z pionową osią obrotu są coraz częściej wykorzystywane w terenach miejskich, jako turbiny usytuowane na szczycie budynku. Działanie tych turbin oparte jest na sile oporu lub aerodynamicznej sile nośnej.

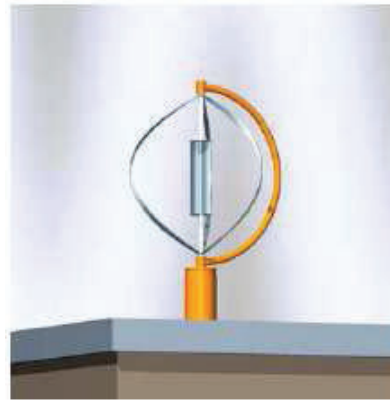
Przykładem wirnika o pionowej osi obrotu, wykorzystującym siłę oporu jest wirnik Savoniusa. Wirnik ten nie może konkurować jeśli chodzi o sprawność z typowymi wiatrakami o poziomej osi obrotu lub z wirnikiem Darriusa lecz przewagą jego jest prostota konstrukcji. Istotą działania jest wykorzystanie przede wszystkim siły parcia wiatru, lecz także (choć w niewielkim stopniu) siły nośnej.



Rys. 4. Przykład turbiny AES (www.turby.nl)

Wadą urządzeń działających na oporze jest zbyt niska wydajność w porównaniu do dużej ilości materiału potrzebnego do budowy wirnika.

Przykładem turbin typu VAWT, opartych na sile nośnej jest turbina Darrieus. Z uwagi na cieńsze, szybciej obracające się skrzydła są one najbardziej odpowiednie do stosowania na dachu. W terenie zabudowanym bardzo ważną zaletą tego typu turbin jest fakt, że działają one bez zakłóceń w warunkach wysoko turbulencyjnych wiatru. Przykład nowoczesnej turbiny Darrieus usytuowanej na szczytach dachu przedstawiono na rys.5. Wyposażona jest ona w mały wirnik Savoniusa umieszczony w jej centrum i odpowiadający jednocześnie za jej uruchomienie



Rys. 5. Przykład turbiny Darrieus usytuowanej na dachu budynku (www.turby.nl).

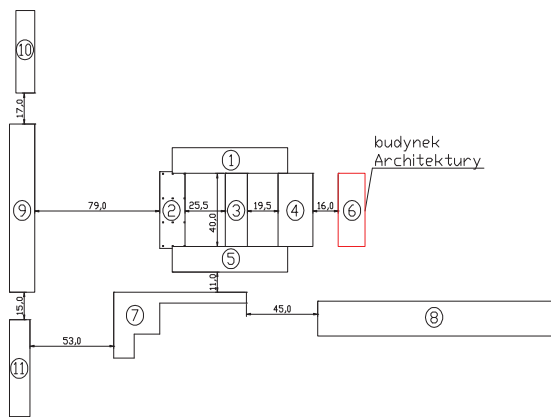
Innym przykładem jest Turbina Turby, opracowana w TU Delft (Holandia), jako modyfikacja turbiny Darrieusa, łączy cylindryczną powierzchnię omiatania z krzywizną ostrza. Trzy ostrza obracają się wzdłuż cylindrycznej przestrzeni. W porównaniu z klasycznym wirnikiem Darrieusa z tej samej długości ostrzy uzyskujemy większą powierzchnię omiatania. Ukośne ustawienie łopatek umożliwia wykorzystanie energii wiatru wiejącego zarówno poziomo, jak i pod różnymi kątami.



Rys. 6. Przykład turbiny Turby (Van Bussel et al., 2005)

OCENA WARUNKÓW WIATROWYCH W SĄSIĘDZTWIE BUDYNKU ARCHITEKTURY

W celu określenia potencjalnych możliwości zastosowania turbiny wiatrowej na budynku Architektury dokonano analizy przepływu powietrza, w oparciu o badania symulacyjne. Analizę przeprowadzono dla budynku Architektury oraz budynków znajdujących się w jego sąsiedztwie. Od strony północnej analizowany obszar sąsiaduje z terenem parku. Z uwagi na ograniczone możliwości komputerowe zadrzewienia nie zostały ujęte w modelu. Pośrednio wpływ parku uwzględniono za pośrednictwem współczynnika szorstkości charakteryzującego profil napływającego wiatru. Szczegółowy układ badanej zabudowy oraz wymiary budynków przedstawiono na rys.7 i w tabeli 1. Rozpatrzono osiem kierunków napływu powietrza.



Rys.7. Analizowany układ zabudowy

Tabela 1. Wymiary analizowanych budynków

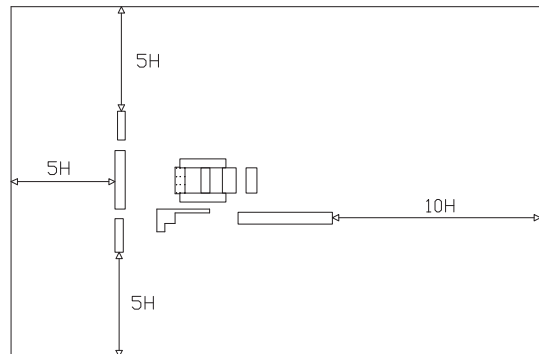
Nr budynku	W [m]	L [m]	H [m]
1	14	73	13
2	16	42	6
3	14	40	10
4	22	40	7
5	73	73	13
6	17	40	30
7	36	84	6
8	19	150	16
9	16	92	15
10	12	45	15
11	13	53	33

Analiza numeryczna została przeprowadzona w oparciu o realizabile k-ε model, który jest często stosowany w wielu komercyjnych kodach CFD do obliczeń przepływów turbulentnych. Realizable k-ε model zaproponowany przez Shih'a (Shih et al., 1995) jest pół – empirycznym modelem posiadającym dwa równania transportu: energii kinetycznej turbulencji k i współczynnika dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ε.

Wielkość przyjętej domeny obliczeniowej ulegała zmianie w zależności od kierunku napływu powietrza. W każdym przypadku odległości wlotu i wylotu powietrza od najbliższych krawędzi budynków równe były odpowiednio pięciu i dziesięciu wysokościom najwyższego z budynków. Ściany boczne domeny znajdowały się w odległości pięciu wysokości od skrajnych krawędzi budynków, podobnie jak krawędź górna (rys.8). Średnia wielkość domeny wynosiła 784m x 697m x 165m. Całkowita ilość komórek siatki również ulegała zmianie w zależności od rozpatrywanego przypadku i wahała się od 2 do 4 mln elementów.

Podłoże wokół obiektów stanowi głównie nawierzchnia betonowa, dla której przyjęto $z_0 = 0,01$. Na wlocie domeny zdefiniowano profil prędkości wiatru, profil energii kinetycznej turbulencji i profil dyssypacji energii kinetycznej turbulencji.

Aby określić profil prędkości wiatru na wlocie należało uwzględnić zmianę szorstkości terenu w sąsiedztwie rozpatrywanego układu zabudowy w stosunku do terenu stacji pomiarowej.



Rys.8. Wielkość domeny obliczeniowej

Obliczeń dokonano wykorzystując zależność Simiu (Simiu, 1986), pozwalającą na powiązanie profili prędkości wiatru dla dwóch różnych terenów.

$$\frac{u'_*}{u''_*} = \left(\frac{z'_0}{z''_0} \right)^{0.0706} \quad (1)$$

gdzie: u'_* i u''_* oznaczają prędkości tarcia zaś z'_0 i z''_0 współczynniki szorstkości.

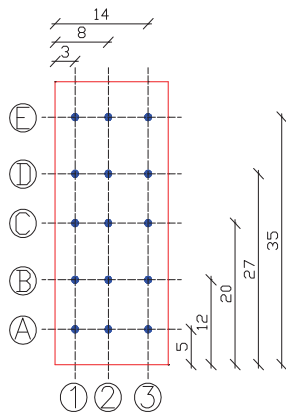
Współczynnik szorstkości dla stacji meteorologicznej na Lublinku wynosił $z_0 = 0,03$. Na osiedlu, ze względu na dużą gęstość zabudowy przyjęto $z_0 = 1$.

Analizę przepływu wiatru przeprowadzono dla prędkości 10m/s. Jest to prędkość na wysokości 10m, w terenie otwartym, płaskim, czyli w warunkach standardowo przeprowadzanych pomiarów meteorologicznych wiatru.

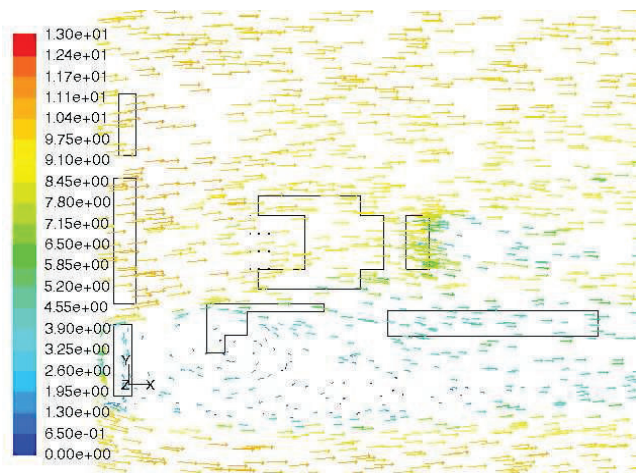
WYNIKI ANALIZ SYMULACYJNYCH

Analizę rozkładu prędkości wiatru przeprowadzono na wysokości 32 m nad poziomem gruntu, przy napływie powietrza z ośmiu kierunków. Wysokość ta uwarunkowana była wysokością budynku Architektury – 30 m., na którym planowano umieścić turbinę wiatrową. W celu wyznaczenia optymalnego miejsca umieszczenia turbiny na dachu badanego budynku, prześledzono charakter przepływu wiatru w kilku punktach (Rys.9), a następnie określono pionowe profile prędkości wiatru do wysokości 34 m.

Z kolei na rys.10 przedstawiono przykładowe wyniki, uzyskane w przypadku napływu powietrza z kierunku zachodniego (Świągowski, 2007). Na terenie Łodzi jest to najczęściej występujący kierunek wiatru. W dalszej części w tabeli 2 i na rys.11. przedstawiono wartości prędkości wiatru w punktach A1, B1, C1, D1 i E1 w zależności od wysokości.



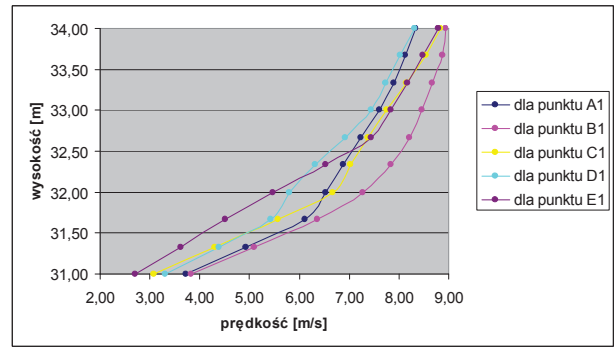
Rys. 9. Oznaczenie punktów do analizy najbardziej optymalnego miejsca umieszczenia turbiny na dachu budynku Architektury



Rys. 10. Rozkład wektorów prędkości wiatru wokół analizowanego układu zabudowy, na wysokości 32m, przy napływie powietrza z kierunku zachodniego

Tabela 2. Wartość prędkości wiatru w zależności od wysokości w punktach A1, B1, C1, D1 i E1 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

Wysokość	Prędkość				
	A1	B1	C1	D1	E1
31,00	3,72	3,83	3,07	3,31	2,71
31,33	4,92	5,09	4,30	4,39	3,61
31,67	6,12	6,37	5,58	5,42	4,51
32,00	6,52	7,28	6,67	5,81	5,47
32,33	6,88	7,84	7,02	6,33	6,52
32,67	7,24	8,22	7,38	6,93	7,45
33,00	7,60	8,45	7,76	7,44	7,84
33,33	7,89	8,67	8,15	7,73	8,17
33,67	8,12	8,87	8,54	8,02	8,48
34,00	8,33	8,94	8,84	8,32	8,80

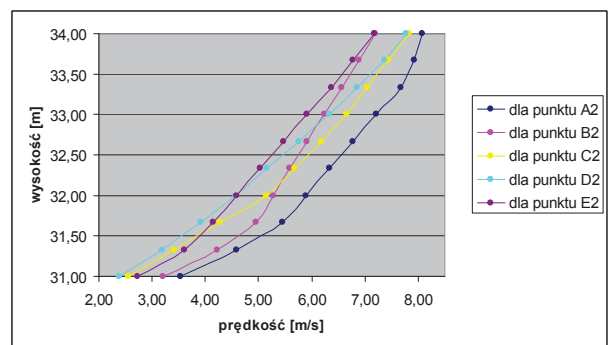


Rys. 11. Zależność prędkości wiatru od wysokości w punktach A1, B1, C1, D1 i E1 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

Wartości prędkości wiatru w punktach A2, B2, C2, D2 i E2 w zależności od wysokości przedstawione są poniżej w tabeli 3 i na wykresie (rys. 12).

Tabela 3. Wartość prędkości wiatru w zależności od wysokości w punktach A2, B2, C2, D2 i E2 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

Wysokość	Prędkość				
	A2	B2	C2	D2	E2
31,00	3,53	3,20	2,56	2,39	2,72
31,33	4,58	4,23	3,42	3,18	3,61
31,67	5,46	4,95	4,28	3,91	4,14
32,00	5,90	5,27	5,14	4,56	4,59
32,33	6,34	5,59	5,69	5,17	5,03
32,67	6,78	5,91	6,18	5,75	5,48
33,00	7,22	6,24	6,66	6,33	5,92
33,33	7,67	6,56	7,05	6,85	6,37
33,67	7,92	6,88	7,45	7,37	6,77
34,00	8,07	7,20	7,82	7,77	7,17

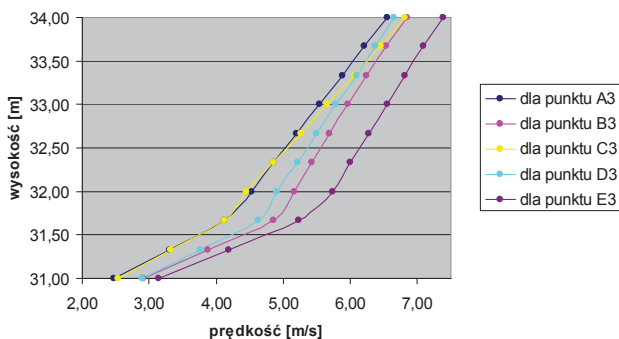


Rys. 12. Zależność prędkości wiatru od wysokości w punktach A2, B2, C2, D2 i E2 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

Wartości prędkości wiatru w punktach A3, B3, C3, D3 i E3 w zależności od wysokości przedstawione są poniżej w tabeli 4 i na wykresie (rys. 13.).

Tabela 4. Wartość prędkości wiatru w zależności od wysokości w punktach A3, B3, C3, D3 i E3 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

Wysokość	Prędkość				
	A3	B3	C3	D3	E3
31,00	2,47	2,92	2,54	2,89	3,14
31,33	3,30	3,88	3,33	3,77	4,19
31,67	4,12	4,85	4,12	4,62	5,23
32,00	4,53	5,16	4,45	4,91	5,73
32,33	4,86	5,42	4,85	5,21	6,00
32,67	5,20	5,69	5,26	5,50	6,27
33,00	5,54	5,96	5,66	5,79	6,55
33,33	5,88	6,25	6,07	6,09	6,82
33,67	6,21	6,54	6,45	6,38	7,10
34,00	6,55	6,84	6,82	6,65	7,38



Rys. 13. Zależność prędkości wiatru od wysokości w punktach A3, B3, C3, D3 i E3 dla zachodniego kierunku napływu wiatru

WNIOSKI

Analiza rozkładu wektorów prędkości nad budynkiem Architektury pozwoliła na ustalenie optymalnego miejsca usytuowania turbiny wiatrowej. Z otrzymanych wyników wynika, że najlepszym miejscem do zainstalowania turbiny wiatrowej, to znaczy miejscem w którym występują największe prędkości na wysokości 32 m, jest punkt B1. Punkt ten jest optymalny zwłaszcza dla zachodniego kierunku napływu wiatru. Według danych meteorologicznych dla miasta Łodzi, uzyskanych na stacji Lublinek kierunek ten jest najczęściej występującym. Wybrany punkt B1 znajduje się w odległości 3 m od krawędzi zachodniej budynku i 12 m od krawędzi południowej, na wysokości 32 m.

W tabeli 5 przedstawiono prędkości wiatru na wysokości 32 m w punkcie B1, dla wszystkich kierunków napływu wiatru. Przy ogólnej ocenie warunków wiatrowych niezbędne jest określenie prawdopodobieństwa występowania wiatru o określonych prędkościach. Przeprowadzona analiza symulacyjna zakładała, że prędkość napływającego powietrza, na wysokości 10 m, w stacji meteorologicznej osiąga wartość 10m/s. Prawdopodobieństwo wystąpienia prędkości 10m/s i wyższych wynosi w Łodzi jedynie 0,58%. W rzeczywistości więc w ciągu roku warunki wiatrowe

nie będą tak korzystne, jak w prezentowanym przypadku. Dodatkowo należy liczyć się z częściowym osłabieniem prędkości wywołanym obecnością parku w północnej części analizowanego układu budynków.

Tabela 5. Wartość prędkości wiatru w punkcie B1 na wysokości 32m

Kierunek napływu wiatru	Prędkość [m/s]
zachodni	7,28
północno-zachodni	10,32
północny	9,73
północno-wschodni	8,13
wschodni	9,05
południowo-wschodni	7,97
południowy	9,77
południowo-zachodni	10,75

Zastosowanie symulacji numerycznej umożliwiło przybliżoną ocenę warunków wiatrowych w sąsiedztwie analizowanego obiektu. Z uwagi na ograniczenia metody, wynikające z konieczności dokonania uproszczeń w modelach opisujących ruch turbulentny powietrza oraz możliwości odwzorowania istniejących warunków zabudowy szczegółowa analiza potencjalnych możliwości lokalizacji turbiny wiatrowej winna być poprzedzona pomiarami prędkości przepływu.

LITERATURA CYTOWANA

- Gandemer J., 1979, *Les effets aerodynamiques du vent dans les ensembles bâtis*, Technique et Architecture, nr 325
- Lawson T.V., 1980, *Wind effects on building, vol.1*, Applied Science Publishers Ltd., London
- Lewińska J., 2000, *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, IGPIK, Kraków.
- Murakami S., Uehara K., Komine H., 1979, *Amplification of wind speed at ground level due to construction of high-rise building in urban area*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, No. 4, pp. 343-370
- Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J., 1995, *A new $k - \epsilon$ eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows*. *Computer Fluids*, vol.24(4), pp. 227 – 238
- Simiu E., 1986, *Wind effects on structures. An introduction to wind engineering*, John Wiley & Sons
- Świągulski R., 2007, *Analiza przepływu powietrza wokół budynku Architektury pod kątem wykorzystania energii wiatru*, Praca magisterska, Politechnika Łódzka, Łódź
- Van Bussel G.J.W., S.M. Mertens S.M., 2005, *Small wind turbines for the built environment, The Fourth European & African Conference on Wind Engineering*, Prague, 11-15 July www.turby.nl