

Dr inż. Paweł PIETKIEWICZ

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.282

Dr inż. Wojciech MIĄSKOWSKI

Dr inż. Krzysztof NALEPA

Inż. Kamila KOWALCZUK

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

BADANIE ROZKŁADU PRĘDKOŚCI W DYFUZORZE TURBINY WIATROWEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań rozkładu prędkości powietrza przepływającego przez dyfuzor turbiny wiatrowej o osi poziomej. Zadaniem dyfuzora jest lokalne zwiększenie wartości prędkości strugi powietrza. Ma to zapewnić korzystniejsze warunki pracy turbiny. Badanie przeprowadzono dwiema metodami. Wykonano obliczenia numeryczne. Otrzymane wyniki zweryfikowano doświadczalnie. Dyskusja nad wynikami pozwala na ocenę przydatności dyfuzora jako elementu siłowni wiatrowej.

TESTING OF THE VELOCITY EXPANSION IN THE WIND TURBINE DIFFUSER

Abstract: The article presents results of the tests of the air velocity expansion flowing through the diffuser of the horizontal axis wind turbine. Local enlargement of the velocity value of the air stream is the role of the diffuser. It is to assure more profitable conditions of the turbine work. The research was conducted using two methods. Numeric calculations were carried out. Received results were verified in the experiment. Results discussion gives the opinion on the usefulness of diffuser as the wind turbine element.

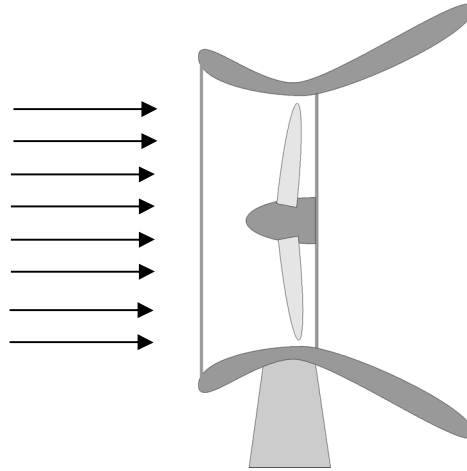
Słowa kluczowe: rozkład prędkości, dyfuzor turbiny wiatrowej, siłownia wiatrowa

Keywords: velocity expansion, wind turbine diffuser, wind turbine

1. WPROWADZENIE

Jednym z problemów związanych z małą energetyką wiatrową jest możliwość stosowania turbin wiatrowych przy warunkach wiatrowych uznawanych za mało korzystne. Projektując lub dobierając turbinę wiatrową, bierze się pod uwagę często średnią prędkość wiatru. Zaniedbuje się tym samym podstawowy problem z częstością występowania wiatru o określonej prędkości oraz minimalną prędkość wiatru, przy której turbina wiatrowa zacznie pracę. O ile zmiana warunków wiatrowych na danym terenie jest niemożliwa, o tyle można wykorzystać różnego rodzaju rozwiązania techniczne zwiększające lokalnie wartość prędkości strugi wiatru oraz ukierunkowujące ją w sposób optymalny dla zastosowania określonego typu siłowni wiatrowej.

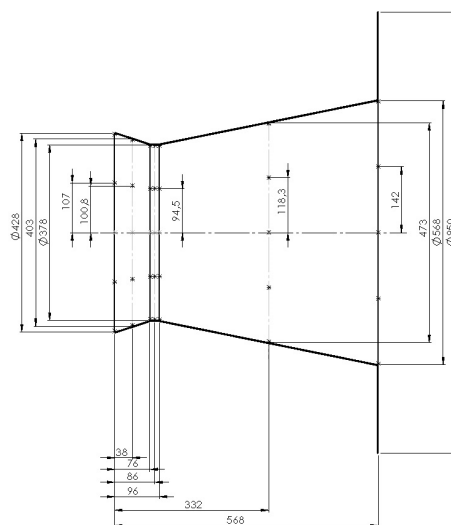
W przypadku turbin wiatrowych o osi poziomej jednym z rozwiązań może być dyfuzor [2]. Jego zadaniem jest spowodowanie lokalnego przyspieszenia strugi wiatru i umożliwienie wykorzystania zagęszczonych linii przepływu do zwiększenia naporu aerodynamicznego na łopaty wirnika turbiny wiatrowej. Schemat przykładowego rozwiązania pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Przykład zastosowania dyfuzora [2]

Napływające powietrze wpada do przestrzeni ograniczonej poszyciem dyfuzora, płynąc kanałem o zwężającym się przekroju poprzecznym. Linie przepływu zostają zagęszczone, a wartość prędkości lokalnie zwiększona. Po minięciu przez strugę przekroju o najmniejszym przekroju, ciśnienie statyczne obniża się, co można dodatkowo wykorzystać. W niniejszej pracy omówiono wyniki badań nad jednym z rozwiązań tego typu.

2. OBIEKT I ZAKRES BADAŃ



Rys. 2. Schemat budowy badanego dyfuzora wraz z wymiarami

Obiektem badań był dyfuzor, którego geometrię pokazano na rys. 2. Średnica wlotu powietrza (z lewej strony rysunku) zmniejsza się na krótkim odcinku od 428 mm do 378 mm, przez co boczne poszycie dyfuzora pochyłone jest o 20° . Długość najwęższej części kanału przelotowego wynosi ok. 20 mm. Jest to obszar, w którym założono umiejscowienie turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu. Poszycie dyfuzora jest ukształtowane w taki sposób, że zawietrzna część stanowi fragment stożka o kącie pochylenia konturu powierzchni bocznej równym 12° . Dyfuzor zakończony jest wylotem o średnicy 568 mm, wokół którego zamocowano płaski kołnierz o średnicy zewnętrznej 950 mm.

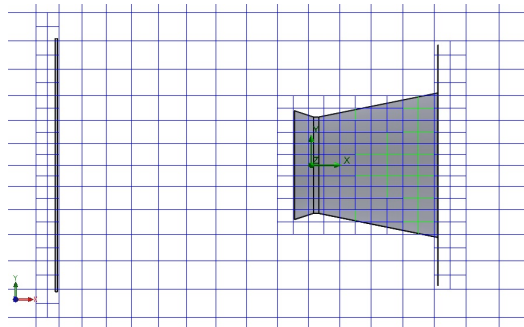
Zakres badań obejmował wyznaczenie zmienności prędkości przepływu powietrza wewnątrz dyfuzora. Badania wykonano dwiema metodami:

- obliczenia numeryczne;
- pomiary empiryczne.

Badania wykonano dla różnych wartości prędkości wiatru. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki dotyczące prędkości wiatru 9 m/s.

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE

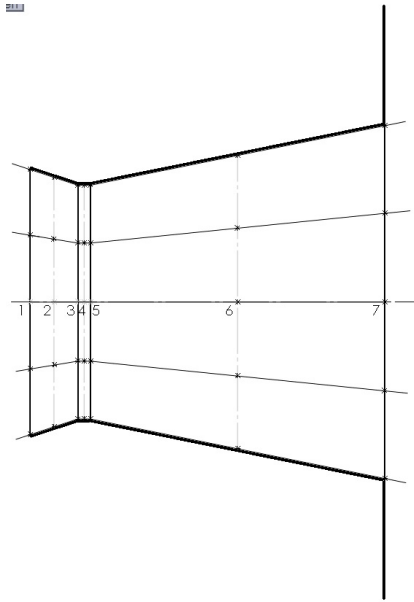
Na rys. 3 zamieszczono siatkę obliczeniową, której użyto do wykonania analizy numerycznej.



Rys. 3. Siatka obliczeniowa

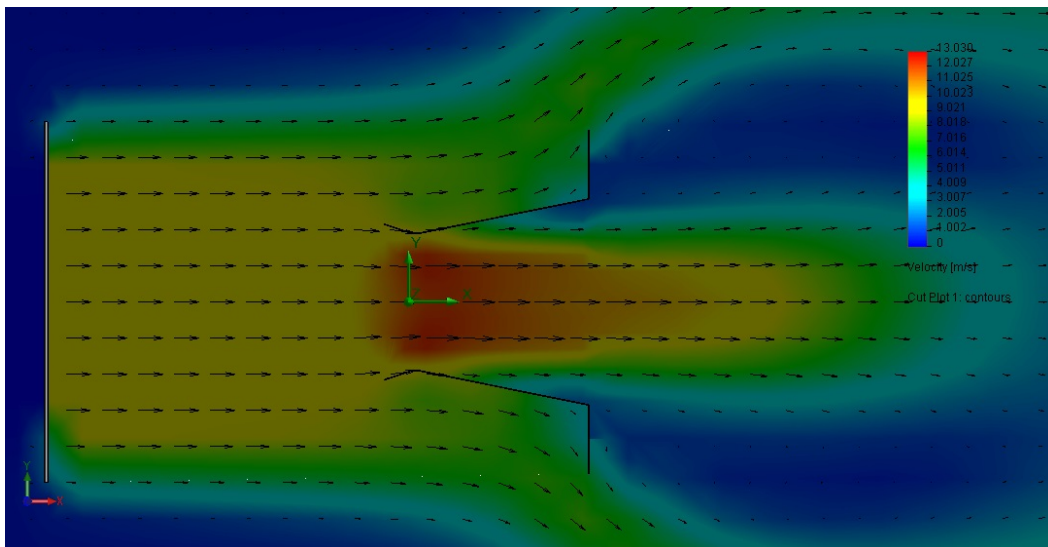
Z lewej strony rys. 3 widoczna jest pionowa linia oznaczająca przekrój wylotowy tunelu aerodynamicznego użytego do badań empirycznych. Jego budowa i działanie zostaną opisane w punkcie 4. Z prawej strony widoczny jest model badanego dyfuzora.

W celu umożliwienia porównania otrzymanych wyników z eksperymentem wyodrębniono siedem przekrojów kontrolnych. W każdym z nich ustalono pięć punktów pomiarowych wzdłuż średnicy. Na rys. 4 pokazano umiejscowienie punktów kontrolnych oraz oznaczenie przekrojów pomiarowych. Dokładne rozmieszczenie przekrojów i współrzędne punktów pomiarowych podano na rys. 4.



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów kontrolnych

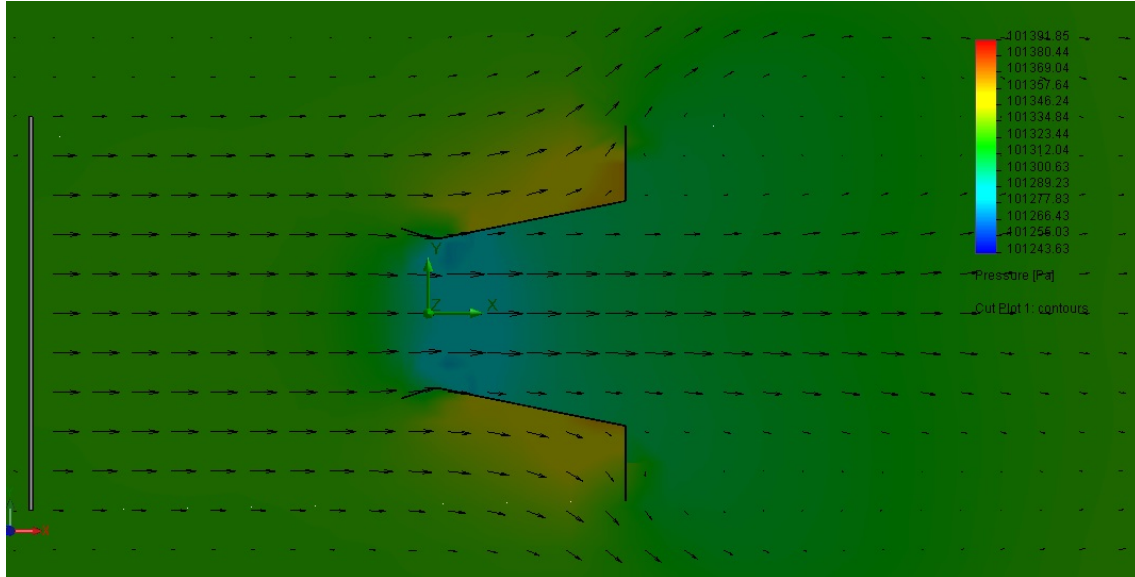
Na rys. 5 zamieszczono graficzną interpretację otrzymanych wyników obliczeń numerycznych dla prędkości wiatru równej 9 m/s.



Rys. 5. Wyniki obliczeń numerycznych dotyczących prędkości przepływu powietrza w dyfuzorze dla prędkości wiatru 9 m/s

Powietrze napływające do dyfuzora w całym jego przekroju ma równomierną prędkość. W przekroju o najmniejszej średnicy zaobserwowano największe wartości prędkości, przy czym podwyższenie wartości prędkości zaobserwowano już przed wlotem do dyfuzora. Obszar przyśpieszonego ruchu mas powietrza utrzymuje się nie tylko wzdłuż całego dyfuzora, ale także w znacznej odległości za nim, przy czym średnica tego obszaru jest zbliżona do najmniejszej średnicy zmieniającego się przekroju dyfuzora. Wyniki wskazują na wytworzenie się tzw. jeta, który w otoczeniu obszaru o wyraźnie obniżonej prędkości powietrza stanowi formację szybko przemieszczających się cząsteczek. Wyniki symulacji

wskazują na znaczenie zastosowania kołnierza otaczającego wylot z dyfuzora. Kołnierz od strony nawietrznej stanowi powierzchnię oporową, która uniemożliwia przepływ cząsteczek powietrza. Po stronie zawietrznej zaobserwować można obszar o prędkości przepływu zbliżonej do zera. Na rys. 6 zamieszczono wyniki obliczeń dotyczących ciśnienia statycznego.

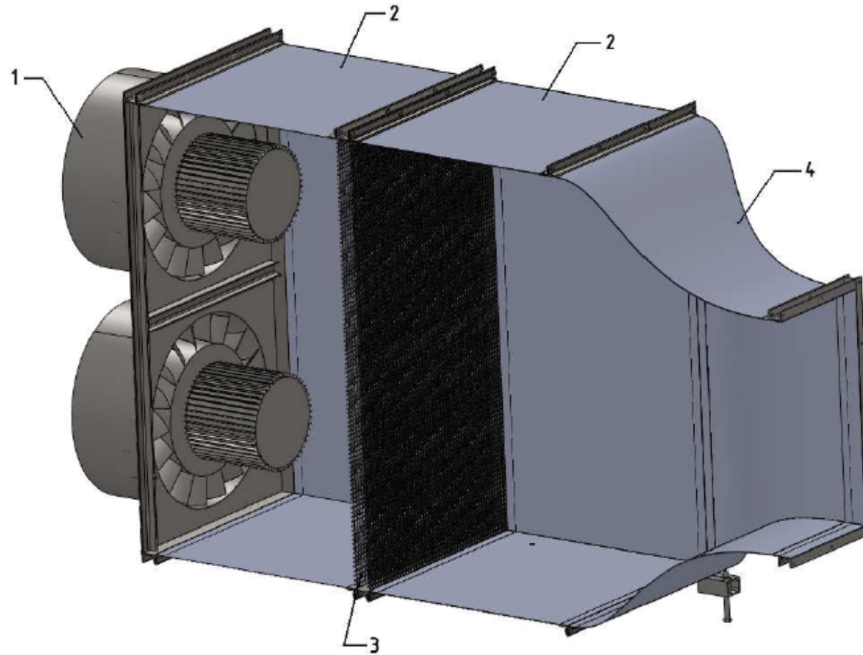


Rys. 6. Wyniki obliczeń numerycznych dotyczących ciśnienia statycznego powietrza w dyfuzorze dla prędkości wiatru 9 m/s

W obszarze podwyższonej prędkości powietrza obserwuje się znaczne obniżenie ciśnienia statycznego. Warto zauważyć, że strefa obniżonego ciśnienia zajmuje całe wnętrze dyfuzora oraz, dzięki zastosowaniu kołnierza, obszar za nim. Dzięki temu następuje dodatkowe zasysanie mas powietrza sprzed dyfuzora.

4. POMIARY DOŚWIADCZALNE

W celu zweryfikowania wyników obliczeń numerycznych wykonano pomiary doświadczalne w tunelu aerodynamicznym pozostającym na wyposażeniu laboratorium Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie [1]. Schemat budowy tunelu aerodynamicznego pokazano na rys. 7.

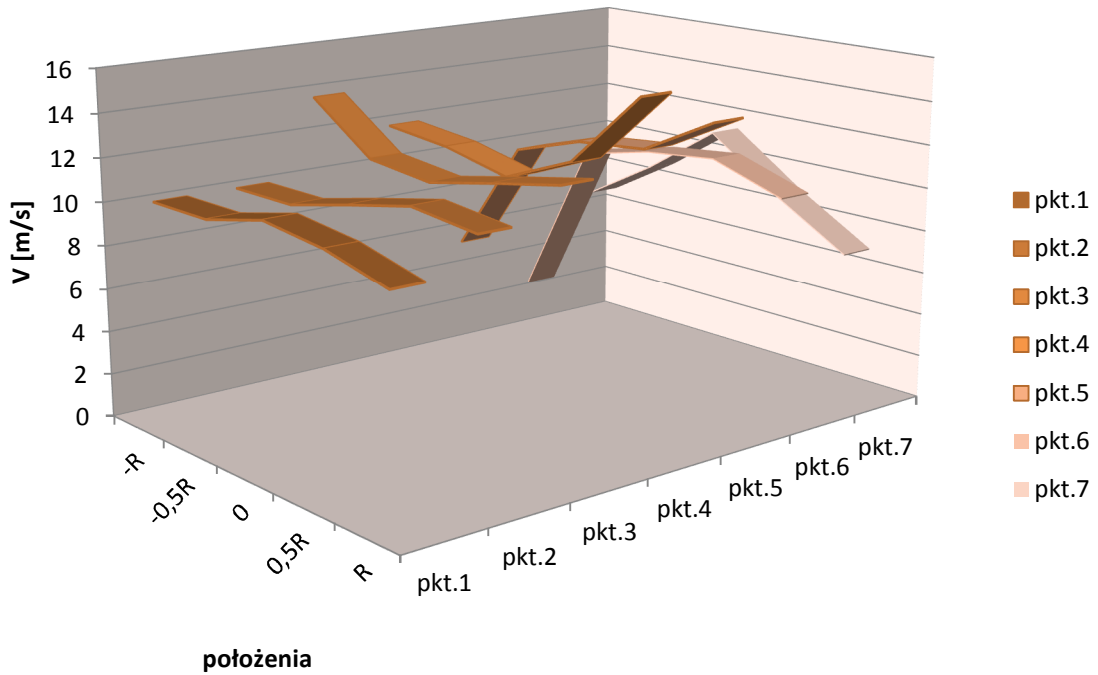


Rys. 7. Przekrój wzdłużny tunelu aerodynamicznego: 1 – wentylatory osiowe; 2 – segmenty o stałym przekroju; 3 – kierownica; 4 – segment ze zwężką Witoszyńskiego

Ruch powietrza w tunel aerodynamicznym jest wymuszany czterema wentylatorami osiowymi o łącznej mocy 30 kW, o zmiennej wydajności. Aby uniknąć nadmiernych turbulencji powietrza, zastosowano kierownicę 3 umieszczoną między dwoma segmentami o stałym przekroju 2. Ostatnim elementem jest segment o przekroju wzdłużnym odpowiadającym profilowi Witoszyńskiego 4, który zapewnia równomierny rozkład prędkości w przekroju wylotowym tunelu.

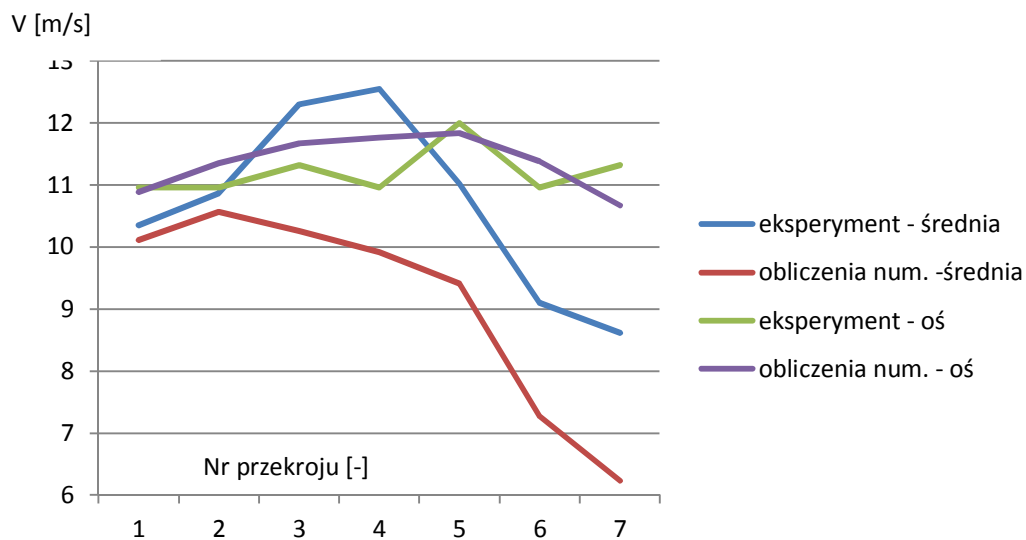
Pomiaru prędkości przepływu powietrza w dyfuzorze dokonano metodą pośrednią, poprzez pomiar ciśnienia dynamicznego. Użyto rurki Prandtla [4] oraz manometru różnicowego. Pomiaru wykonano w każdym z punktów kontrolnych rozmieszczonych równomiernie po pięć w każdym z siedmiu przekrojów kontrolnych (rys. 4).

Na rys. 8 zamieszczono graficzną interpretację otrzymanych wyników badań. Na jednej z osi odłożono kolejne przekroje pomiarowe, na drugiej kolejne położenia w przekroju pomiarowym. Założono, że pomiary będą dokonywane w osi dyszy oraz przy poszyciu i w połowie promienia. Najwyższe prędkości zmierzono w osi dyszy w przekroju 5. Jest to przekrój, w którym dysza jest najwęższa. Warto zwrócić uwagę na wyniki pomiarów wykonywanych w punktach położonych przy poszyciu dyszy. W przekrojach 6 i 7 wartości prędkości powietrza przy poszyciu są niższe od pozostałych. Zasada pomiaru rurką Prandtla polega na pomiarze ciśnienia całkowitego za pomocą otworu wykonanego na powierzchni czołowej sondy oraz ciśnienia statycznego za pomocą otworów bocznych. W przekrojach pomiarowych 6 i 7 ukształtowanie poszycia dyszy spowodowało zasłonięcie głównego otworu piezometrycznego rurki Prandtla, stąd zmierzona prędkość przepływu jest niższa. Podobną tendencję wykazują wyniki otrzymane drogą obliczeń numerycznych.



Rys. 8. Graficzna interpretacja wyników pomiarów dla prędkości średniej wiatru 9 m/s

5. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW



Rys. 9. Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń prędkości powietrza w osi symetrii dyszy

Na rys. 9 zamieszczono porównanie wartości prędkości średniej w przekrojach pomiarowych oraz prędkości wyznaczonej w osi symetrii dyszy. Zestawiono wyniki obliczeń numerycznych i doświadczenia.

W przypadku średniej prędkości powietrza w poszczególnych przekrojach dyszy widoczna jest wyraźna tendencja wskazująca na spadek prędkości średniej w przekrojach za przewężeniem dyszy. Odpowiada to ogólnej wiedzy na temat praw przepływu płynów [3, 4] przez przewody. Jednak w przypadku obliczeń numerycznych niewidoczny jest wzrost prędkości przepływu w najwęższym przekroju dyszy.

Porównanie wyników otrzymanych dla punktów pomiarowych rozmieszczonych w osi symetrii dyszy prowadzi do wniosku, że najwyższa wartość prędkości powietrza występuje w najwęższym przekroju dyszy (przekrój nr 5). W tym przypadku uzyskano wysoki stopień zbieżności wyników doświadczalnych z numerycznymi.

6. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń numerycznych dotyczących prędkości przepływu strugi powietrza przez dyszę o przekroju kołowym. Otrzymano wyniki zgodne z ogólną wiedzą na temat przepływów płynów, jednak w zależności od sposobu porównania wyników, zbieżność wyników eksperymentalnych i wynikających z obliczeń zmieniała się.

Niezależnie od sposobu porównania wyników pomiarów i obliczeń, wewnątrz dyszy widoczny jest wyraźny wzrost wartości prędkości powietrza. Dotyczy to zarówno prędkości średniej, jak i prędkości wyznaczonej dla osi dyszy. Przy prędkości wiatru 9 m/s, wewnątrz dyszy obserwuje się lokalny wzrost prędkości nawet o ponad 30%. W przypadku zastosowania tego rodzaju dysz jako kierownic wiatru, współpracujących z turbinami wiatrowymi, mogą one pozwolić na obniżenie prędkości powietrza, przy której turbiny rozpoczynają pracę, a także podnieść ich wydajność. Niewątpliwą wadą stosowania badanej dyszy jest jej duża powierzchnia boczna, co w przypadku braku dokładnego nastawienia na kierunek wiatru może powodować niekorzystne zjawiska związane z naporem aerodynamicznym na poszycie dyszy.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji projektu nr N N502 511940 pt. *Modele funkcjonalne i badania konstrukcji quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego lub sygnalizacyjnego.*

LITERATURA

- [1] Domański J., Dudda W., Pietkiewicz P.: *Modernizacja tunelu aerodynamicznego z zastosowaniem symulacji komputerowej przepływu*, „Mechanik” nr 7/2010, s. 501-508 – streszczenia, Artykuły na dołączonym CD-ROM, Agenda Wydawnicza SIMP, Warszawa, 2010.
- [2] Miąskowski W., Nalepa K., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P.: *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, Warmińsko-Mazurska Agencja Energetyczna, Olsztyn, 2011, ISBN 9788392410607.
- [3] Mitosek M., *Mechanika płynów w inżynierii i ochronie środowiska*, PWN, Warszawa, 2001.
- [4] Nałęcz T., *Laboratorium z mechaniki płynów*, Druk Gryf Centrum Graficzne, Olsztyn, 2007.