

SIMULATION AND COMPARATIVE RESEARCHES OF THE AIR FLOW FORCED BY WIND MACHINE WORK

Summary

Analysis of the airflow above agricultural field in the paper were presented. The airflow is forced by wind machine work. The analysis was used in the project stage of the machine for verification the functional establishments. The simulation results were compared to the measurement results executed on prototype.

BADANIA SYMULACYJNE I PORÓWNAWCZE PRZEPEŁYWU POWIETRZA WYMUSZONEGO PRACĄ MASZYNY WIATROWEJ

Streszczenie

Przedstawiono wybrane elementy przebiegu obliczeń przepływów powietrza w przestrzeni pola uprawnego, wymuszanych pracą maszyny wiatrowej. Analizy wykorzystane były na etapie projektowania do sprawdzenia założeń funkcjonalnych projektowanej maszyny. Wyniki obliczeń zweryfikowano na podstawie wyników badań eksperymentalnych.

Wstęp

Modelowanie i obliczenia metodą elementów skończonych (MES) obiektów konstrukcyjnych nie zawsze ograniczają się tylko do zagadnień wytrzymałościowych. Często przeprowadzane są obliczenia symulacyjne w dziedzinie przepływu ciepła lub przepływu płynów z tego względu, że zjawiska takie często towarzyszą pracy analizowanych maszyn. Wykorzystać można w tym celu nowoczesne oprogramowanie inżynierskie, bazujące na zaawansowanych metodach obliczeń matematycznych.

Symulacje przepływów płynów¹ (np. powietrza) pozwalają pozyskać różnorodne informacje o analizowanym obiekcie, w tym: o jego cechach funkcjonalnych, o powstających obciążeniach w wyniku przepływu płynu, o oddziaływaniach na obiekty sąsiadujące itd. Symulacje przepływu powietrza, które zostały przedstawione w artykule, dotyczą weryfikacji założonych właściwości funkcjonalnych maszyny wiatrowej. Założenia zostały przyjęte w początkowej fazie projektu na podstawie podobieństwa do innych istniejących konstrukcji tego typu maszyn. Wyniki symulacji oraz same założenia zostały w późniejszym czasie zweryfikowane również na podstawie pomiarów cech funkcjonalnych konstrukcji prototypowej.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników przeprowadzonych symulacji komputerowych efektów pracy maszyny wiatrowej w aspekcie przepływu powietrza oraz ich porównanie z wynikami uzyskanymi na drodze eksperymentu.

Założenia funkcjonalne do projektu maszyny wiatrowej

Maszyna wiatrowa jest przeznaczona do przemieszczania mas powietrza zalegającego nad polem uprawnym lub sadem. Jest to jeden ze sposobów ochrony upraw rolniczych przed przymrozkami. Ruch powietrza wymuszany

jest pracą śmigła maszyny wiatrowej, umieszczonego na wysokim słupie nośnym. Aby przemieszczanie powietrza było prawidłowe i przynosiło oczekiwane efekty maszyna musi spełniać pewne założenia, m. in.:

- przemieszczać powietrze ciepłe z wyższych warstw atmosfery (kilkanaście metrów nad powierzchnią ziemi) w kierunku powierzchni gruntu,
- zapewniać wymieszanie powietrza w promieniu co najmniej 200 m od maszyny.

Pierwszym sposobem sprawdzenia realności tych założeń we wczesnych stadiach projektu są symulacje komputerowe przepływu powietrza w przestrzeni nad polem uprawnym. Symulacje dostarczają informacji o ruchu powietrza w całej obliczanej objętości i pozwalają, przede wszystkim, na jego weryfikację jakościową. Są też najwygodniejszym sposobem sprawdzenia pierwszego z założeń.

Dokładniejszych informacji ilościowych dostarczają z kolei badania eksperymentalne na obiekcie prototypowym. Pozwalają one zweryfikować zarówno sam model obliczeniowy i wyniki symulacji komputerowych, jak również przedstawione założenia funkcjonalne. Badania eksperymentalne są też najbardziej wiarygodnym sposobem sprawdzenia drugiego założenia.

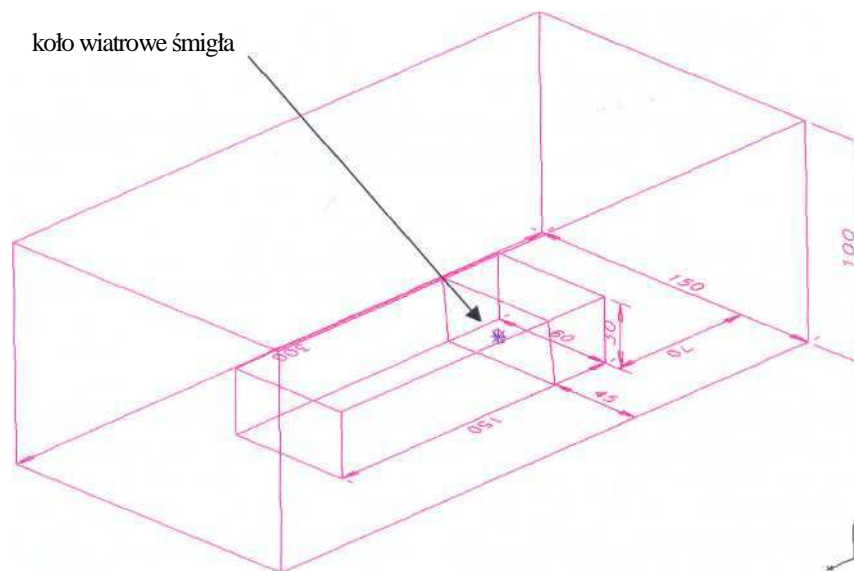
Szerszy opis konstrukcji maszyny wiatrowej można znaleźć w literaturze [2-5].

Model obliczeniowy dla analizy przepływu powietrza

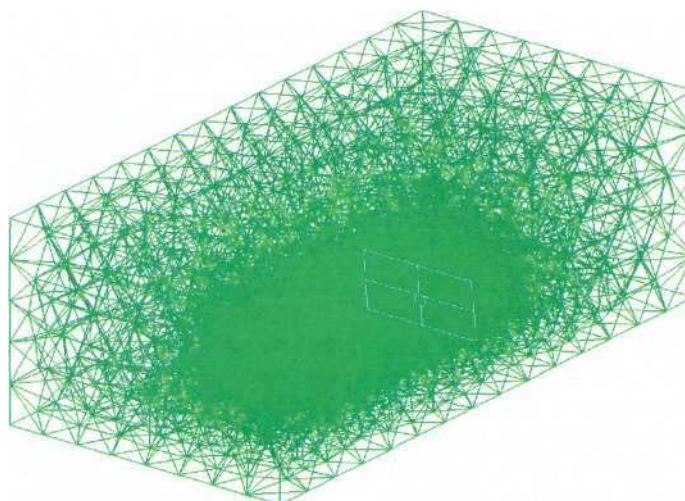
Do analizy przepływów zbudowano model obliczeniowy przestrzeni nad polem uprawnym z umieszczonym wewnątrz kołem wiatrowym (przestrzeń omiataana przez obracające się śmigło maszyny wiatrowej).

Model geometryczny 3D przestrzeni nad polem uprawnym pokazany został na rys. 1. Obejmował on przestrzeń pola o wymiarach 300x150x100 m, którą podzielono na dwa podobszary. Podział ten miał jedynie na celu ułatwienie dyskretyzacji modelu siatką MES i uzyskanie odpowiedniego zróżnicowania zagęszczenia siatki. Wewnątrz modelu umieszczona została płaszczyzna kołowa o średnicy 6 m odwzorowująca koło wiatrowe.

¹w mechanice i dynamice płynów terminem „płyn” określa się każdy czynnik, dla którego przeprowadza się obliczenia, niezależnie od jego fizycznego stanu skupienia (przyj. autora)



Rys. 1. Model 3D przestrzeni nad polem uprawnym (wymiary w metrach) Fig. 1. 3D model of the agricultural field space (dimensions in meters)



Rys. 2. Model 3D przestrzeni nad polem uprawnym zdyskretyzowany siatką MES Fig. 2. FEM model of the agricultural field space

Do dyskretyzacji modelu geometrycznego użyto elementów skończonych objętościowych czterowęzłowych (rys. 2). Największe zagęszczenie siatki przyjęto w pobliżu koła wiatrowego. Na powierzchniach zewnętrznych, gdzie nie wymaga się tak dużej dokładności obliczeń węzły siatki rozmieszczono z krokiem 20 m.

Koło wiatrowe i powierzchnia pola uprawnego była zdyskretyzowana siatką powierzchniową z elementów płytowo-powłokowych. Umożliwiło to w dalszym toku budowy modelu implementację określonych parametrów fizycznych.

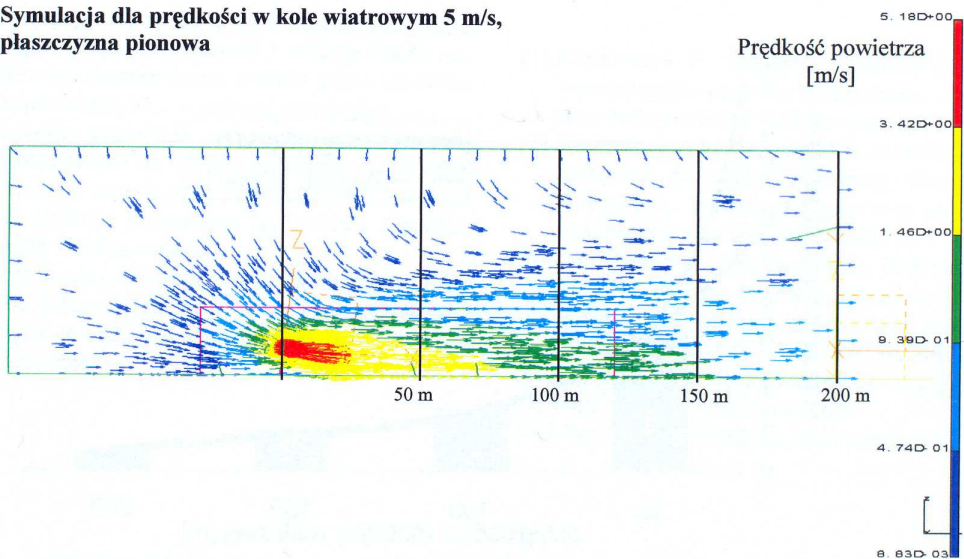
Na powierzchni płaskiej koła wiatrowego zdefiniowano warunek brzegowy wymuszający symulowany ruch powietrza w postaci prędkości powietrza przepływającego w wyniku pracy śmigła. Parametr ten był szczególnie wygodny do zaimplementowania w modelu obliczeniowym. Na podstawie obliczeń wstępnych [3] ustalono, że nominalna prędkość powietrza przepływającego przez koło wiatrowe wynosi ok. 23 m/s. Dla celów analizy przyjęto trzy różne prędkości powietrza: 5 m/s, 15 m/s i 23 m/s.

Na powierzchni płaskiej odwzorowującej pole uprawne przypisano dwa parametry: temperaturę (-2°C) oraz nierówność powierzchni, wyrażoną średnią wysokością obiektów znajdujących się na tej powierzchni (1 m).

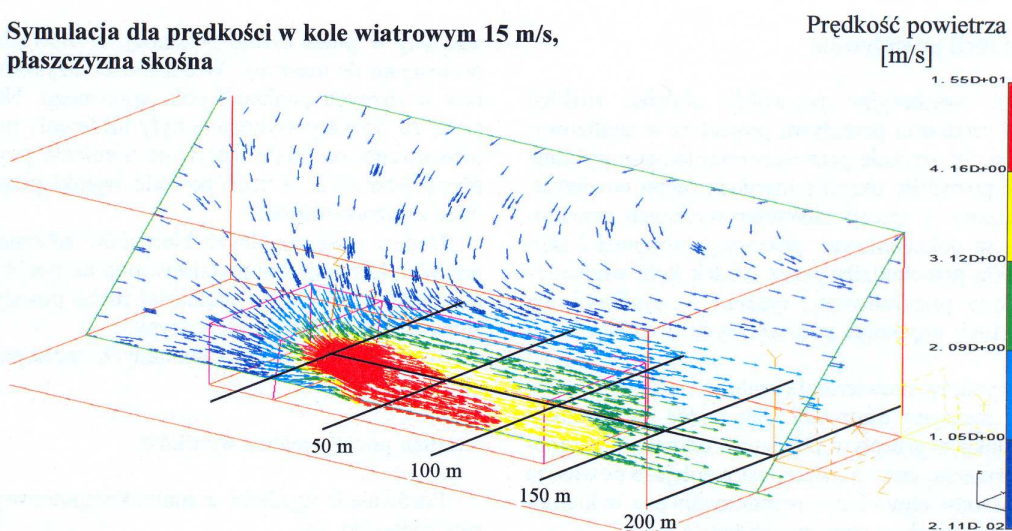
Powierzchnie zamykające przestrzeń wirtualną potraktowane zostały jako swobodne co oznacza, że ruch powietrza przez te powierzchnie do wewnątrz i na zewnątrz przestrzeni obliczeniowej mógł być dowolnie ustalany zależnie od przebiegu obliczeń. Dla powietrza poza przestrzenią obliczeniową przyjęto temperaturę 6°C . Pozostałe parametry fizyczne powietrza, zarówno wewnątrz przestrzeni jak i na zewnątrz przyjęto jak dla warunków normalnych.

Do obliczeń wykorzystano solver systemu komputerowego IDEAS 10 NX, będącego na wyposażeniu laboratorium CAD w PIMR. Obliczenia odbywały się na drodze kolejnych iteracji do momentu, kiedy osiągnięty został z określoną dokładnością zrównoważony bilans przepływu masy i ciepła wewnątrz analizowanej przestrzeni.

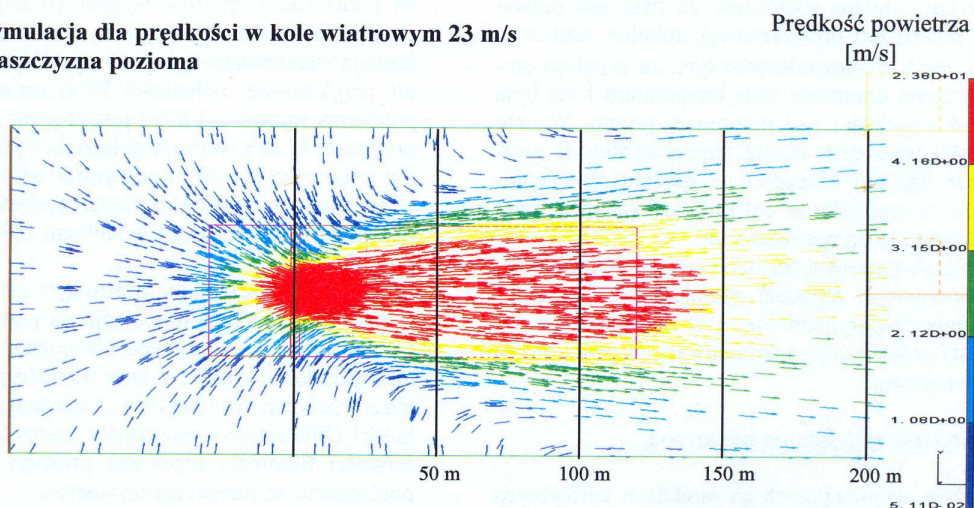
**Symulacja dla prędkości w kole wiatrowym 5 m/s,
płaszczyzna pionowa**



**Symulacja dla prędkości w kole wiatrowym 15 m/s,
płaszczyzna skośna**

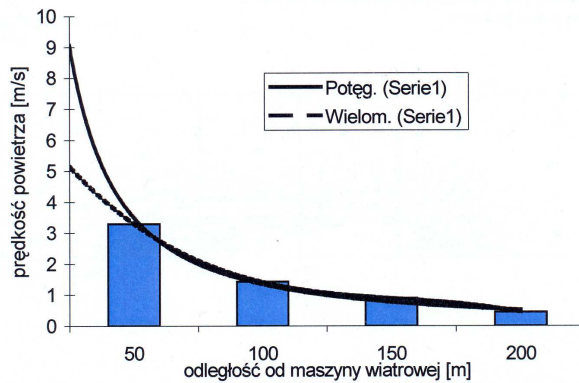


**Symulacja dla prędkości w kole wiatrowym 23 m/s,
płaszczyzna pozioma**



Rys. 3. Wyniki analizy przepływów (rozkład prędkości powietrza [m/s]) dla różnych prędkości początkowych powietrza w kole wiatrowym i w różnych płaszczyznach przekroju

Fig. 3. Results of the air flow analysis (velocity [m/s]) on selected section plane and for selected boundary conditions



Rys. 4. Wykres rozkładu prędkości powietrza w funkcji odległości od maszyny wiatrowej (dane z pomiarów prototypu) [1]
 Fig. 4. Graph of the air flow velocity dissolution in function of distance from wind machine (measurement data) [1]

Wyniki symulacji przepływów

Obliczenia symulacyjne pozwoliły określić rozkład temperatury i prędkości przepływu powietrza w analizowanej przestrzeni. W artykule przedstawiono jedynie wybrane wyniki, które pozwoliły określić kierunek ruchu powietrza. Wyniki pokazano w trzech charakterystycznych przekrojach przestrzeni obliczeniowej: poziomej, pionowej i skośnej. Wszystkie przechodziły przez środek koła wiatrowego. W artykule przedstawiono rysunki z wynikami dla wszystkich trzech prędkości początkowych w kole wiatrowym (rys. 3).

Analiza wyników potwierdziła realność spełnienia założeń projektu maszyny wiatrowej. Jak widać na przedstawionych rysunkach przepływ powietrza odbywa się zgodnie z oczekiwaniem, tzn. zasysane jest cieplejsze powietrze z wyższych warstw atmosfery i przedmuchiwane w kierunku gruntów uprawnych na znaczną odległość.

Odnosnie uzyskanego rozkładu temperatury, nie pokazanego w artykule, można stwierdzić, że była ona prawie stała w całej przestrzeni obliczeniowej (lokalne różnice w zakresie 2°C). Było to spowodowane tym, że w całym otoczeniu zewnętrznym panowała stała temperatura i nie była uzależniona od wysokości nad poziomem gruntu. W celu wykonania dokładniejszych analiz temperaturowych należałoby zmienić warunki brzegowe w modelu obliczeniowym, jednakże ze względu na cel obliczeń (analiza przepływów) nie zostało to przeprowadzone.

Dla weryfikacji poprawności działania modelu obliczeniowego i poprawności obliczeń symulacyjnych przeprowadzono badania eksperymentalne, a w szczególności pomiary prędkości powietrza przedmuchiwanego przez prototyp maszyny wiatrowej.

Pomiary efektywności działania prototypu

Wyniki badań symulacyjnych na modelach wirtualnych odniesiono do pomiarów prędkości powietrza przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych na wysokości 1,5 m nad powierzchnią gruntu, przy nominalnej prędkości obrotowej śmigła i przy bezwietrznej pogodzie. Prędkość powietrza mierzono w odległości: 50, 100, 150 i 200 m od maszyny w płaszczyźnie poziomej, w czterech maszyn w płaszczyźnie poziomej, w czterech kierunkach w

stosunku do maszyny. W ten sposób uzyskano 16 pomiarów w różnych punktach pola uprawnego. Należy zaznaczyć, że pomiary wykonane były na terenie młodego sadu owocowego, co miało wpływ na tłumienie prędkości przepływu powietrza. Z tego powodu wyniki pomiarów mogą mieć zaniżone wartości.

Dane z poszczególnych kierunków zebrano i uśredniono. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4 [1]. Wykres przedstawia zmierzone prędkości ruchu powietrza w określonych odległościach od maszyny.

Wyniki badań eksperymentalnych zaczerpnięto z pozycji literatury [2].

Analiza porównawcza wyników

Porównanie wyników z analiz komputerowych i pomiarów wykazało, że:

- ekstrapolowana prędkość powietrza w kole wiatrowym na podstawie pomiarów wynosi 10 m/s - dla ekstrapolacji funkcją potęgową i 5 m/s — dla ekstrapolacji funkcją wielomianową,
 - dla przykładowej odległości 50 m zmierzona prędkość powietrza wynosi 3,3 m/s i jest zbliżona z symulacją dla prędkości 15 m/s (wartość obliczona wynosi 4 m/s),
 - dla większych niż 50 m odległości od maszyny wiatrowej zmierzone prędkości ruchu powietrza są niższe i pozostają w zbliżeniu z wynikami obliczeń dla prędkości 5 m/s
- wartość prędkości w kole wiatrowym nie była mierzona, a przeprowadzona ekstrapolacja na podstawie pozostałych punktów pomiarowych nie pozwala jej dostatecznie dokładnie określić; z tego powodu próby porównania z wynikami symulacji nie są miarodajne,
- model obliczeniowy wykazywał znacznie mniejsze właściwości tłumienia prędkości przepływu powietrza w porównaniu ze stanem rzeczywistym.

Podsumowanie

Zastosowana metoda symulacji umożliwia szybką ocenę właściwości pracy śmigła, z możliwością wielowarianto-

wych analiz przepływu powietrza nad analizowaną przestrzenią pola uprawnego. Przydatność i wiarygodność modelu obliczeniowego potwierdzona została przez porównanie wyników symulacyjnych z wynikami pomiarów.

Przeprowadzone symulacje oraz pomiary pozwoliły zweryfikować postawione na wstępie założenia do projektu maszyny wiatrowej i potwierdziły ich słusność. Maszyna wiatrowa może spełniać postawione jej zadania z oczekiwaną wydajnością i efektywnością.

Opracowany model symulacji przepływu może mieć zastosowanie do dalszych prac nad rozwojem maszyny wiatrowej w aspekcie realizacji innych funkcji, np. wytwarzania energii elektrycznej.

Literatura

- [1] Frąckowiak P., Maszyna wiatrowa do ochrony upraw ogrodnich przed przymrozkami. Zad 9.1. Raport z prac badawczych, PIMR Poznań, 2005
- [2] Szczepaniak J., Inżynierskie symulacje komputerowe zachowań konstrukcji maszyny wiatrowej na modelu wirtualnym, Journal of Researches and Applications in Agricultural Engineering, 4/2005
- [3] Szczepaniak J., Pawłowski T., Rutkowski J., Grzecho-wiak R., Mac J., Maszyna wiatrowa do ochrony upraw ogrodnich przed przymrozkami. Zad 1, 2 i 3. Raport z prac badawczych, PIMR Poznań, 2005
- [4] <http://www.darmowa-energia.eko.org.pl/>
- [5] <http://www.amarillowind.com/>
- [6] <http://www.orchard-rite.com/wind.cfm>