

## **Analiza wybranych charakterystyk statystycznych zbiorów wartości prędkości wiatru wykorzystywanych w obliczeniach strumieni masy i energii metodą kowariancji wirów**

### **1. Wstęp**

W obliczu zmian globalnych wywołanych aktywnością ludzką na Ziemi niezbędna jest ocena wpływu zmian sposobów użytkowania terenu na procesy wymiany materii i energii w bardzo złożonym krajobrazie (Tenhuen, Kabat 1999). Zmiany te mają niebagatelny wpływ na ogólny obraz klimatyczny Ziemi i wymagają odpowiednich pomiarów terenowych. Do oceny strumieni masy i energii między powierzchnią ziemi a atmosferą stosowane są różne techniki pomiarowe, obecnie coraz częściej wykorzystywana jest technika oparta na metodzie kowariancji wirów (Baldocchi 2003). Metoda ta odznacza się wyjątkową prostotą (Swinbank 1951), jednak jest niezwykle wymagająca z technicznego punktu widzenia. Niezbędne tutaj są pomiary z bardzo dużą częstotliwością, mieszczącą się zwykle w zakresie od 10 do 50 Hz (Bosveld, Beljaars 2001).

Wektor prędkości wiatru można opisać przy pomocy trzech składowych  $u$ ,  $v$  i  $w$ . Pierwsze dwie składowe opisują prędkość wiatru w poziomie a ich wypadkową jest poziomy wektor wiatru  $U$ . Składowik  $w$  stanowi pionową składową prędkości wiatru.

Proces turbulentnego przepływu powietrza jest silnie stochastyczny i z tego powodu do opisu prędkości wiatru można stosować metody statystyki opisowej. Taka charakterystyka pionowej składowej prędkości wiatru, jak odchylenie standardowe ( $\sigma_w$ ) może stanowić podstawę do ustalenia właściwej częstotliwości pomiarów pulsacji prędkości wiatru. Innymi słowy szybciej poruszające się i częściej zmieniające kierunek powietrze wymaga częstszych pomiarów prędkości. Odchylenie standardowe poziomej składowej prędkości ( $\sigma_u$ ) wiatru pozwoli na ocenę obciążeń, jakim ulegają np. wierzchołki roślin oraz oszacowanie sposobu i intensywności rozprzestrzeniania się różnych substancji w powietrzu np. zanieczyszczeń w atmosferze (Stull 2000).

Celem autorów było określenie zależności między wartościami średniej poziomej składowej prędkości wiatru, a zmiennością prędkości nad dwiema różnymi uprawami. Tego typu zależności mogą być podstawą do oceny zmienności prędkości wiatru oraz określenia właściwej częstotliwości pomiarów prędkości powietrza.

## 2. Materiały i metody

Pomiary prędkości wiatru zostały wykonane nad sąsiadującymi ze sobą polami: ścierniskiem porzepakowym (wysokość roślin  $h=0,25$  m, parametr szorstkości powierzchni  $z_0=0,025$  m (Kędziora 1999, od 19 lipca do 1 sierpnia 2002 r.) oraz dojrzałym łanem kukurydzy (wysokość roślin  $h=2,0$  m, parametr szorstkości powierzchni  $z_0=0,2$  m od 1 do 19 sierpnia 2002 r.). W obu przypadkach pomiary wykonano anemometrem ultradźwiękowym typu R3 firmy Gill Instruments. Pomiary za pomocą tego urządzenia opierają się na ocenie prędkości rozchodzenia się fal dźwiękowych w poruszającym się powietrzu. W ten sposób możliwy jest bardzo szybki pomiar prędkości wiatru, prawie jednocześnie, w trzech kierunkach ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ). Instrumenty pomiarowe, zainstalowano na wysokości około 1,5 m nad powierzchnią czynną badanych pól a częstotliwość pomiarów wynosiła 80 Hz.

Do opisu zebranych wartości prędkości wiatru wykorzystano wielkości używane w statystyce opisowej (Wysocki, Lira 2003):

- średnią arytmetyczną wartość poziomej składowej prędkości wiatru ( $U_{avg}$ );
- odchylenie standardowe poziomej składowej prędkości wiatru ( $\sigma_U$ );
- odchylenie standardowe pionowej składowej prędkości wiatru ( $\sigma_w$ ).

Podczas analizy nie wykorzystano średniej arytmetycznej wartości pionowej składowej prędkości wiatru ( $w_{avg}$ ) albowiem jej wartość teoretycznie wynosi 0. Podczas badań terenowych obserwacje wykazały, że to założenie teoretyczne nie jest dalekie od prawdy i zmierzone  $w_{avg}$  znajdują się zwykle w przedziale  $(-0,05, +0,05)$  m·s<sup>-1</sup>.

Przed przeprowadzeniem obliczeń odchyłeń standardowych badane populacje zostały pozbawione trendów. W ten sposób usunięto z serii pomiarowych fluktuacje długoterminowe (powyżej 30 minut), które nie były przedmiotem analizy. Do tego celu wykorzystano funkcje, których współczynniki określono wykorzystując regresję prostoliniową. Obliczenia wykonano dla 30-minutowych odcinków czasu wykorzystując procedury obliczeniowe w zintegrowanym środowisku programistycznym MatLab (The Math Works Inc.)

## 3. Wyniki oraz ich analiza

Odchylenia standardowe pionowej i poziomej składowej prędkości wiatru są miarami turbulencyjności powietrza. Podczas studiów nad zgromadzonym zbiorem danych zbadano zależność między odchyleniem standardowym pionowej ( $\sigma_w$ ) oraz poziomej ( $\sigma_U$ ) składowej prędkości wiatru a średnią poziomą składową wiatru ( $U_{avg}$ ).

Na podstawie danych zebranych na wysokości 1,5 m nad powierzchnią czynną pola można stwierdzić, że odchylenie standardowe pionowej składowej prędkości wiatru zmierzone nad powierzchnią kukurydzy (parametr szorstkości  $z_0=0,2$  m) jest około dwukrotnie większe niż nad ścierniskiem (parametr szorstkości  $z_0=0,025$  m) przy tej samej średniej poziomej prędkości wiatru (ryc. 1).

Odchylenie standardowe poziomej prędkości wiatru ( $\sigma_U$ ) zależy mocno od jej wartości średniej (ryc. 2. i ryc. 3.). Na podstawie zgromadzonych informacji można także wnioskować, że wielkość zmienności poziomej prędkości wiatru, przy tej samej średniej poziomej prędkości, jest uzależniona od szorstkości powierzchni.

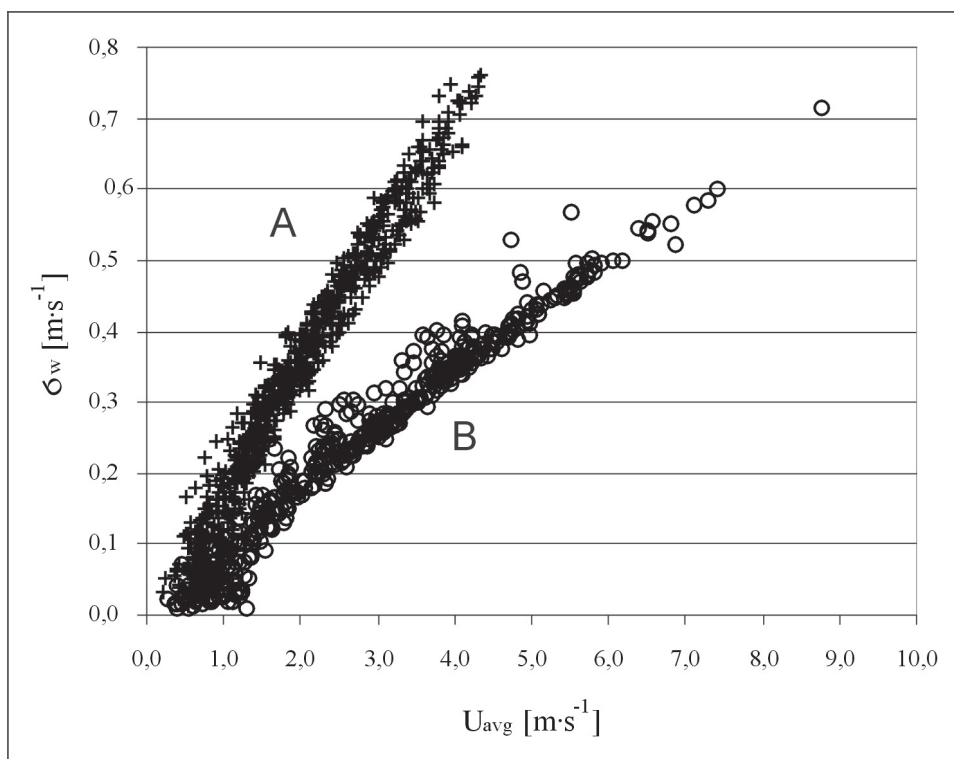
Podsumowując, zmienności zarówno pionowej składowej, jak i poziomej prędkości wiatru nad powierzchnią kukurydzy są generalnie wyższe niż nad ścierniskiem. Można podejrzewać, że jest to wynikiem większej szorstkości powierzchni ładu kukurydzy niż ścierniska. Mniejsza wysokość pozostałości łodyg rzepaku na ściernisku powoduje, że mieszanie powietrza nad taką powierzchnią nie jest tak intensywne jak nad powierzchnią wysokich roślin kukurydzy. Innymi słowy obserwujemy mniejszą turbulencyjność powietrza nad gładszą powierzchnią.

Do opisu zależności między badanymi wielkościami wykorzystano, stosunkowo prostą i niekoniecznie najlepiej odzwierciedlającą charakter zależności, funkcję liniową, której ogólną postać możemy opisać:

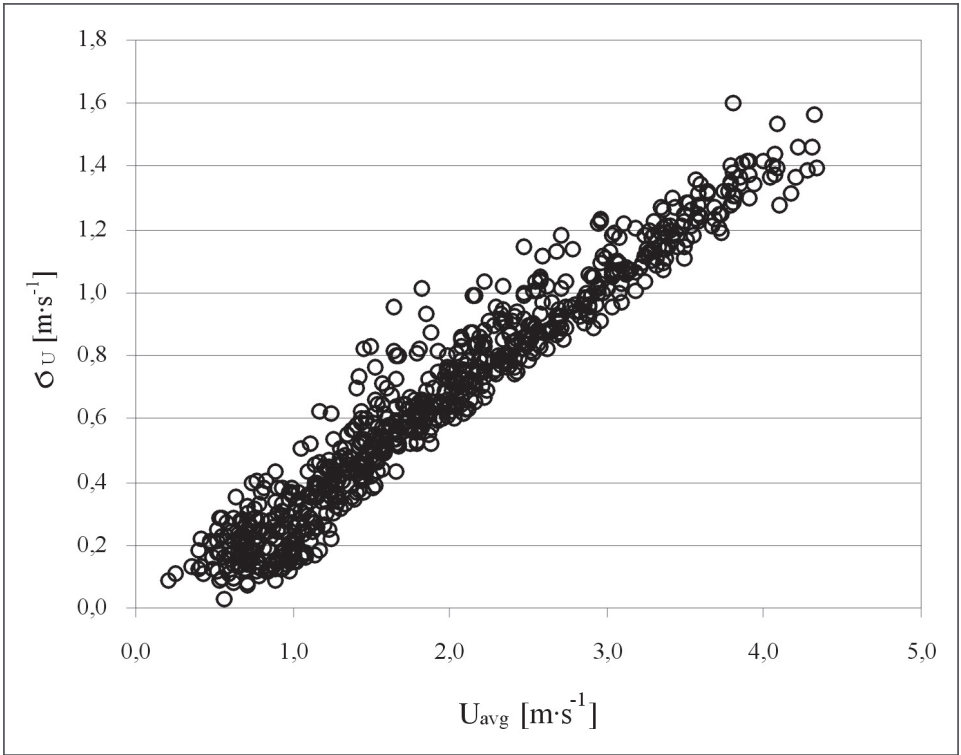
$$y = A_1 x + A_0 \quad (1)$$

Dla poszczególnych funkcji obliczono wartości  $A_1$  i  $A_0$  oraz wartość współczynnika determinacji ( $R^2$ ). Wyniki obliczeń umieszczone zostały w tabeli 1.

Uzyskane funkcje pozwalają na ocenę turbulencyjności powietrza nad powierzchniami ścierniska i ładu kukurydzy. Pozwolą one, podczas badań terenowych,



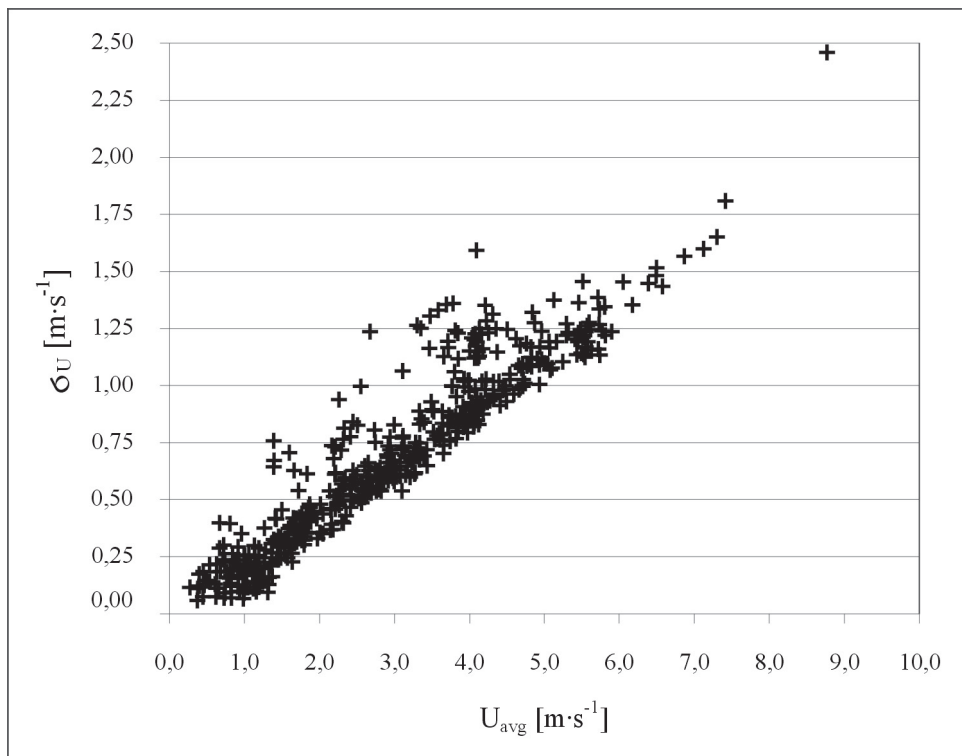
Ryc. 1. Zależności odchyłeń standardowych pionowej składowej prędkości wiatru ( $\sigma_w$ ) od średniej poziomej prędkości wiatru ( $U_{avg}$ ) obserwowane na wysokości 1,5 m nad powierzchniami czynnymi: ładu kukurydzy (A) oraz ścierniska porzeczycznego (B).



Ryc. 2. Zależność wartości odchylenia standardowego ( $\sigma_U$ ) od średniej ( $U_{avg}$ ) poziomej prędkości wiatru obserwowana na wysokości 1,5 m nad powierzchnią czynną łąnu kukurydzy.

Tab. 1. Wartości współczynników  $A_1$ ,  $A_0$  oraz  $R^2$  wyliczonych dla funkcji opisujących zależności odchylen standardowych pionowej ( $\sigma_w$ ) oraz poziomej ( $\sigma_U$ ) składowych od średniej poziomej prędkości wiatru ( $U_{avg}$ ).

Powierzchnia	X	y	$A_1$	$A_0$	$R^2$
Ściemisko	$U_{avg}$	$\sigma_U$	0,2382	-0,0136	0,8871
Kukurydza	$U_{avg}$	$\sigma_U$	0,3673	-0,0481	0,9418
Ściemisko	$U_{avg}$	$\sigma_w$	0,0876	-0,0010	0,9526
Kukurydza	$U_{avg}$	$\sigma_w$	0,1866	-0,0278	0,9577



Ryc. 3. Zależność wartości odchylenia standardowego ( $\sigma_U$ ) od średniej ( $U_{avg}$ ) poziomej prędkości wiatru obserwowana na wysokości 1,5 m nad powierzchnią czynną ścierniska porzepakowego.

na określenie spodziewanej zmienności prędkości wiatru nad powierzchniami o podobnych szorstkościach. Obliczone na podstawie funkcji wartości odchylenia standardowego mogą stanowić, także podstawę do oceny jakościowej danych pomiarowych.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przedstawionej powyżej analizy można sformułować następujące wnioski:

- 1) zarówno odchylenie standardowe pionowej ( $\sigma_w$ ), jak i poziomej ( $\sigma_U$ ) składowej prędkości wiatru jest mocno uzależnione od średniej prędkości poziomej wiatru ( $U_{avg}$ ),
- 2)  $\sigma_w$  i  $\sigma_U$  nad powierzchnią łąnu kukurydzy rosną silniej wraz ze wzrostem średniej prędkości poziomej wiatru ( $U_{avg}$ ) niż nad powierzchnią ścierniska - jest to zapewne wynikiem większej szorstkości łąnu kukurydzy (większa wartość parametru szorstkości  $z_0$  powierzchni kukurydzy niż ścierniska).

#### Literatura

- Baldocchi D.D., 2003, *Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future*, *Global Change Biology*, 9, 479-492.
- Bosveld F.C., Beljaars A.C.M., 2001, *The impact of sampling rate on eddy-covariance flux estimates*, *Agric. Forest Met.*, 109, 39-45.
- Kędziora A. 1999, *Podstawy agrometeorologii*, PWRiL, Poznań.
- Stull R.B., 2000, *Meteorology for scientists and engineers. Second edition*, Brooks/Cole.
- Swinbank W.C., 1951, *The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere*, *J. Meteorol.*, 8, 135-145.
- Tenhuen J.D., Kabat P. (red.), 1999, *Integrating hydrology ecosystem dynamics and biochemistry in complex landscape*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Wysocki F., Lira J., 2003, *Statystyka opisowa*, Wyd. AR w Poznaniu.

Bogdan H. Chojnicki, Marek Urbaniak, Janusz Olejnik  
Katedra Agrometeorologii  
Akademia Rolnicza  
Poznań