

Wojciech WARAKOMSKI

**Porównanie średniego kierunku wiatru obliczanego
z 24, 3 i 4 terminów w ciągu doby**

**A Comparison of the Mean Wind Direction Calculated at 24, 3 and 4 Terms
During Day and Night**

Postęp w budowie przyrządów do pomiarów wiatru i stosowanie różnych sposobów charakteryzowania i gromadzenia danych o wietrze doprowadziło do tego, że dane z milionów godzin pomiarów pozostają niewykorzystane ze względu na niepewność wyboru właściwej metody ich opracowania.

(Wypowiedź anonimowego rzeczoznawcy — Fisher 1987)

Przytoczona jako motto dość pesymistyczna wypowiedź dotyczy nie nowego zagadnienia, jakim jest poszukiwanie odpowiedniej metody oceny kierunku i zmienności wiatru (Pietkiewicz 1872; Mohn 1888; Nosek 1972), elementu meteorologicznego, do którego Merecki (1914) przywiązywał w naszym klimacie tak dużą wagę, jak do temperatury powietrza. Zainteresowanie tym zagadnieniem w ostatnich kilkunastu latach na świecie wyraźnie wzrosło (Hanna 1981; Ackermann 1983; Maitani 1983; Fisher 1987; Warakomski 1983, 1991; Papadopoulos i in., 1992). Stosowane do pomiarów wiatru urządzenia, a do jego opracowań klimatologicznych metody statystyczne, stają się coraz bardziej skomplikowane i wywołują żywe dyskusje (Verrall, Williams 1982; Nelson 1984; Yamartino 1984; Mori 1986; Turner 1986; Fisher 1987). Dotyczą one na ogół wyników opracowań danych pochodzących z ciągłych pomiarów wiatru, dokonywanych w stacjach meteorologicznych za pomocą anemografów, umożliwiających uśrednianie aktualnych wartości liczbowych w wybranym przedziale czasowym. Jednakże w wielu posterunkach meteorologicznych ciągle jeszcze dokonuje się pomiarów wiatru zaledwie kilka razy na

dobę. Opracowywanie i wykorzystywanie tych danych, bez zastosowania odpowiedniej ich agregacji też bywa kłopotliwe.

Najprostszy sposób agregacji danych, tj. obliczanie średniego arytmetycznego kierunku wiatru z kilku terminów obserwacyjnych w ciągu doby (a częściej tylko w ciągu dnia), może budzić większe wątpliwości niż powszechnie stosowane obliczanie średnich arytmetycznych dobowych wartości innych elementów meteorologicznych. Wiatr bowiem, jak wiadomo, jest wielkością wektorową i jedynie poprawną procedurą rachunkową określania jego średniego kierunku jest obliczanie wektora wypadkowego (por. Pietkiewicz 1872; Pruchnicki 1970; Nosek 1972; Yamartino 1984). Trzeba jednak podkreślić, iż konkretny, fizyczny sens ma to wtedy, kiedy odnosi się do stosunkowo krótkiego przedziału czasu, w którym zmiana kierunku wiatru w zasadzie stanowi tylko pewien wycinek 360° , np. do doby (Warakomski 1983, 1984a, 1984b), przy czym powinno się uwzględnić liczbę godzin występowania wiatru z danego kierunku. Ten aspekt może być szczególnie ważny np. przy zagadnieniach dotyczących zanieczyszczenia powietrza (por. Strauch 1973).

Jednakże pewną przeszkodą w tego rodzaju statystycznym opracowywaniu kierunku wiatru jest wspomniany brak w wielu posterunkach meteorologicznych dostatecznie częstych pomiarów, co zmusza do korzystania z wyników kilku obserwacji na dobę, wykonywanych w tzw. terminach klimatologicznych. Przed 1971 r. były to 3 obserwacje wykonywane w godzinach 07, 13, 21. Od 1972 r. obserwacje tzw. klimatologiczne wykonywane są na ogół w 4 terminach o godzinie 01, 07, 13, 19 średniego słonecznego czasu miejscowego, co nie zmienia faktu, że są to nadal obserwacje „wrywkowe”. W związku z tym nie można uniknąć pytania: czy i na ile średni dzienny (dobowy) kierunek wiatru obliczany z 3 lub z 4 terminów jako wektor wypadkowy (lub prościej, lecz niepoprawnie formalnie, jako średni arytmetyczny kierunek) jest reprezentatywny w skali całej doby.

Niniejsze opracowanie jest próbą odpowiedzi na to pytanie opartą na danych empirycznych. Materiał stanowiły cegodzinne pomiary kierunku wiatru w ciągu całej doby, dokonywane za pomocą anemografu we wszystkich dniach losowo wybranego 1979 r. w stacji meteorologicznej IMGW w Radawcu k/Lublina, usytuowanej na otwartym terenie na skraju sportowego lotniska. Zbiór danych składał się więc z $365 \cdot 24 = 8760$ liczb. Dane te wprowadzono do komputera i obliczono następujące wartości kątowe wektora wypadkowego dla poszczególnych dni: a) z 24 godzin w ciągu doby, b) z 3 godzin 07, 13, 21, c) z 4 godzin 01, 07, 13, 19. Ponadto dla poszczególnych dni obliczono średni arytmetyczny kierunek wiatru: d) z 3 godzin 07,

13, 21, e) z 4 godzin 01, 07, 13, 19.* Następnie porównano te wartości obliczając różnice w następujących relacjach: a-b, a-c, a-d, a-e oraz b-d, c-e (tab. 1). Założono przy tym, że każde notowanie kierunku wiatru (dokonywane na stacji z dokładnością do 10°) odpowiada co najmniej 1 godzinie czasu jego trwania. Jeśli wiatr nie zmieniał kierunku przez kilka godzin, ten sam kierunek został uwzględniony kilka razy. Przypadki występowania ciszy kwalifikowano jako kierunek wiatru z godziny poprzedzającej ciszę, ponieważ nad stacją zalegało wtedy powietrze, które napłynęło wcześniej z tego kierunku, co jest istotne ze względu na jego cechy. Obliczone różnice przedstawiono w tab. 1 i 2.

Analizę tych różnic przeprowadzono poniżej wyłącznie na podstawie wartości procentowych (tab. 2) odzwierciedlających wartości bezwzględne zestawione w tab. 1. Wynika z nich, że przy 3 obserwacjach kierunku wiatru na dobę wektor wypadkowy „b” różnił się od wzorcowego wypadkowego wektora z 24 obserwacji „a” najczęściej tylko o 1° (w 10,4% przypadków), a częstość różnic zerowych (tj. sytuacji kiedy a=b) wynosiła 3,8%. Jednakże wszystkie różnice w przedziale $0-10^\circ$ można uznać za wynik bez błędu, ponieważ mieszczą się one w granicach dokładności pomiaru. Częstość uzyskania takiego wyniku, jak wskazują kumulowane wartości procentowe, wynosi 64,6%. Dalszy tok analizy, aby nie była zbyt szczegółowa i nużąca, można przedstawić w pewnym uproszczeniu rozpatrując kumulowany procent różnic w granicach: 0,5; 1,0; 1,5 oktantu (tab. 2). Jak widać kumulowana częstość różnic a-b wynosi odpowiednio: 90,1%, 97,5%, 99,7%. Oznacza to, że obliczając wypadkowy wektor kierunku wiatru z 3 terminów możemy spodziewać się błędu nie większego niż: $\pm 22,5^\circ$ w 25,5% przypadków (dni), $\pm 45,0^\circ$ w 7,4% przypadków (dni), $\pm 67,5^\circ$ w 2,2% przypadków (dni), a większego niż $\pm 67,5^\circ$ w 0,3% przypadków — w rozpatrzonym tu zbiorze danych wyniósł on 158° i dotyczył tylko jednego dnia.

Fakt, iż przy niektórych wielkościach kąta nie odnotowano żadnych wartości (np. przy kącie 25° , 34° itd.) można uznać za sprawę przypadkową i bez większego znaczenia. O wiele istotniejsze jest bowiem to, że liczba i częstość różnic wyraźnie maleją wraz z ich rosnącą wielkością w stopniach.

* Przy obliczaniu średniego arytmetycznego kierunku wiatru z kilku terminów w ciągu dnia (doby) za pomocą np. kalkulatora (a także przy układaniu programu komputerowego) trzeba koniecznie zwracać uwagę na sytuacje zmiany kierunku wiatru z przekroczeniem granicy 0° (lub 360°), tj. „w lewo” lub „w prawo”. Nieuwzględnienie tego może być źródłem błędu. Można przy tym posługiwać się danymi surowymi, w których 0° odpowiada kierunkowi N, a 90° kierunkowi E itd., można też transformować dane tak, aby 0° odpowiadało kierunkowi E, a wartości kąta rosły „w lewo”, zgodnie z regułą koła trygonometrycznego.

Podobną do opisanej analizę można by przeprowadzać w odniesieniu do poszczególnych relacji różnic (zestawionych w tab. 2). Nie wydaje się to jednak konieczne, ponieważ opisane wyżej stosunki kształtują się w ogólnych zarysach podobnie; dla relacji a-c nawet nieco korzystniej, co jest zrozumiałe i logiczne. Analogicznie kształtują się też dla relacji a-d oraz a-e, co może wydawać się już zaskakujące w świetle wspomnianej wcześniej formalnej niepoprawności obliczania średniego arytmetycznego kierunku wiatru. Fakt ten stanowi jednak pełne potwierdzenie słuszności wcześniejszych, częściowo teoretycznych rozważań autora na ten temat (W a r a k o m s k i 1983, 1984a, 1984b).

Natomiast inaczej przedstawia się struktura częstości w relacjach b-d oraz c-e, szczególnie w przedziale 0-10°, a także (co łatwo zauważyć w tab. 2) w przedziale 11-23°. Tutaj procent obserwacji w granicach 0-10°, które — jak wspomniano — mogą być uznane za bezbłędne, jest wyraźnie wyższy i wynosi odpowiednio 89,0 i 91,8%. Praktycznie oznacza to, że zastępując obliczanie wypadkowego wektora kierunku wiatru z 3 lub z 4 obserwacji w ciągu dnia obliczeniem jego średniego arytmetycznego kierunku (odpowiednio z 3 lub z 4 obserwacji) popełniamy stosunkowo rzadko znaczące błędy.

Ogólnie można stwierdzić, że uwzględnienie 4 obserwacji w ciągu dnia (doby) daje nieco lepsze wyniki w porównaniu do wzorcowych danych z 24 obserwacji, niż uwzględnianie tylko 3 obserwacji, chociaż analiza wyników w odniesieniu do poszczególnych przypadków (dni) nie zawsze wypada na korzyść 4 obserwacji.

Warto też podkreślić, że dla wszystkich 6 rozpatrywanych relacji kumulowany procent różnic, praktycznie biorąc, wyrównuje się już przy progu 1 oktantu; jest on bardzo wysoki 97-98%.

Jeśli trzymać się nadal, dla uproszczenia analizy, konwencji oceny różnic z dokładnością do oktantu, to trzeba zauważyć, że przedstawiona statystyka w dużej mierze jest tylko formalna, bowiem w rzeczywistości różnica wynosząca zaledwie kilka stopni może zostać zakwalifikowana już jako błąd o jeden oktant (a więc teoretycznie nawet o 45°), mianowicie wtedy, kiedy

Objaśnienia: a — wypadkowy dzienny (dobowy) kierunek wiatru z 24 godzin, b — z 3 godzin (07, 13, 21), c — z 4 godzin (01, 07, 13, 19), d — średni arytmetyczny dzienny (dobowy) kierunek wiatru z 3 godzin (07, 13, 21), e — z 4 godzin (01, 07, 13, 19). Dotyczy tab. 1-3.

Explanations: a — resultant wind direction at 24 hours during day and night, b — at 3 hours (07, 13, 21), c — at 4 hours (01, 07, 13, 19), d — mean arithmetical wind direction at 3 hours (07, 13, 21), e — at 4 hours (01, 07, 13, 19). See Tablesysa 1-3.

Tab. 2. Częstość różnic między średnim kierunkiem wiatru obliczanym różnymi sposobami w Radawcu k/Lublina w 1979 r.
 Frequency of differences between mean wind direction calculated by various methods at Radawiec (near Lublin) in 1979

Wielkość różnic w °	Częstość różnic					Wartości skumulowane					Uwagi		
	a-b	a-c	a-d	a-e	b-d	c-e	a-b	a-c	a-d	a-e		b-d	c-e
0	3,8	4,4	4,1	6,3	62,5	49,3	14,2	14,5	14,2	12,1	78,1	75,9	10° — błąd w granicy dokładności pomiaru
1	10,4	10,1	10,1	5,8	15,6	26,6	21,4	24,9	21,1	21,7	81,4	81,9	
2	7,1	10,4	6,8	9,6	3,3	6,0	27,1	33,7	26,3	30,9	84,1	85,2	
3	5,7	8,8	5,2	9,3	2,7	3,3	35,0	44,4	35,6	41,9	84,9	85,5	
4	7,9	10,7	9,3	11,0	0,8	0,3	40,5	50,4	40,3	48,7	86,0	87,4	
5	5,5	6,0	4,7	6,8	1,1	1,9	45,7	58,6	46,3	57,5	87,1	89,3	
6	5,2	8,2	6,0	8,8	1,1	1,9	51,5	65,2	51,5	63,0	88,5	90,1	
7	5,7	6,6	5,2	5,5	1,4	0,8	56,7	71,8	57,0	67,6	89,0	90,7	
8	5,2	6,6	5,5	4,7	0,5	0,5	59,4	76,4	59,2	73,1	89,0	90,7	
9	2,7	4,7	2,2	5,5	—	—	64,6	81,1	64,4	75,6	89,0	91,8	
10	5,2	4,7	5,2	2,5	—	1,1	67,3	84,1	68,0	78,9	89,3	92,2	22,5° — błąd w granicy 0,5 oktantu
11	2,7	3,0	3,6	3,3	0,3	0,5	72,0	86,0	72,1	80,9	89,8	92,2	
12	4,7	1,9	4,1	1,9	0,5	—	74,5	88,2	74,4	83,6	90,9	92,5	
13	2,5	2,2	2,2	2,7	1,1	0,3	76,7	89,6	76,0	85,2	91,2	92,8	
14	2,2	1,4	1,6	1,6	0,3	0,3	80,5	91,0	78,7	86,3	91,7	93,1	
15	3,8	1,4	2,7	1,1	0,5	0,3	81,6	91,3	80,4	88,2	92,5	93,1	
16	1,1	0,3	1,6	1,9	0,8	—	82,4	92,1	81,2	89,3	92,5	93,4	
17	0,8	0,8	0,8	1,1	—	0,3	83,8	92,4	82,6	89,8	92,5	93,7	
18	1,4	0,3	1,4	0,5	—	0,3	86,0	93,2	84,2	90,6	93,0	93,7	
19	2,2	0,8	1,6	0,8	0,5	—	86,8	93,7	85,0	90,9	93,3	94,0	
20	0,8	0,5	0,8	0,3	0,3	0,3	88,2	94,2	86,6	92,8	93,6	94,5	
21	1,4	0,5	1,6	1,9	0,3	0,5	89,6	94,5	88,0	93,1	93,9	94,5	
22	1,4	0,3	1,4	0,3	0,3	—	90,1	95,6	88,8	93,1	94,2	94,5	
23	0,5	1,1	0,8	—	0,3	—	90,9	95,6	89,3	93,9	94,8	95,0	
24	0,8	—	0,5	0,8	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	

67,5° — błąd w granicy 1,5 oktantu														
54	-	-	-	-	-	-	-	-	98,3	98,4	98,7	98,8	99,4	98,9
55	0,3	-	-	-	0,3	-	-	0,3	98,6	98,4	98,7	98,8	99,4	99,1
56	-	-	0,3	-	-	-	-	0,3	98,6	98,4	98,7	99,1	99,4	99,4
57	-	-	-	-	-	-	-	-	98,6	98,4	98,7	99,1	99,4	99,4
58	-	-	0,3	-	-	-	-	-	98,6	98,4	98,7	99,4	99,4	99,4
59	0,5	-	-	-	-	-	-	-	99,1	98,4	98,7	99,4	99,4	99,4
60	-	-	0,3	-	-	-	-	-	99,1	98,4	98,7	99,7	99,4	99,4
61	-	-	-	-	0,3	-	-	-	99,1	98,4	98,9	99,7	99,4	99,4
62	-	-	-	-	0,8	-	-	0,3	99,1	98,4	99,7	99,7	99,4	99,7
63	-	0,3	-	-	-	-	-	-	99,1	98,6	99,7	99,7	99,4	99,7
64	0,3	-	-	-	-	-	-	-	99,4	98,6	99,7	99,7	99,4	99,7
65	-	-	-	-	-	-	-	-	99,4	98,6	99,7	99,7	99,4	99,7
66	0,3	-	-	-	-	-	-	-	99,7	98,6	99,7	99,7	99,4	99,7
67	-	0,3	-	-	-	0,3	-	0,3	99,7	98,9	99,7	99,7	99,7	100,0
68	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	98,9	99,7	99,7	99,7	100,0
69-72	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	98,9	99,7	99,7	99,7	99,7
73	-	-	-	-	-	0,3	-	-	99,7	98,9	99,7	99,7	100,0	99,7
74	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	98,9	99,7	99,7	99,7	99,7
75	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	99,2	99,7	99,7	99,7	99,7
76	-	0,3	-	-	-	-	-	-	99,7	99,2	100,0	99,7	99,7	99,7
77	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	99,2	99,7	99,7	99,7	99,7
78	-	-	0,3	-	-	-	-	-	99,7	99,2	99,7	99,7	99,7	99,7
79-81	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	99,2	99,7	99,7	99,7	99,7
82	-	0,3	-	-	-	-	-	-	99,7	99,4	99,7	99,7	99,7	99,7
83-93	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	99,4	99,7	99,7	99,7	99,7
94	-	0,3	-	-	-	-	-	-	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7
95	-	0,3	-	-	-	-	-	-	99,7	100,0	99,7	99,7	99,7	99,7
96-157	-	-	-	-	-	-	-	-	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7
158	0,3	-	-	-	-	-	-	-	100,0	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7

np. wypadkowy lub średni arytmetyczny kierunek wiatru obliczany z 3 lub z 4 obserwacji na dobę znajdzie się blisko umownej granicy danego oktantu, a wzorcowy wypadkowy wektor wiatru także blisko niej, lecz po drugiej stronie. Trzeba też odnotować, iż może być inaczej, np. różnica w granicy 45° nie musi koniecznie oznaczać błędu o 1 oktant, lecz może być zakwalifikowana jako wynik bez błędu, a różnica w granicy 90° może okazać się błędem nie większym niż 1 oktant. Na przykład 8 marca 1979 r. różnica między wypadkowym wektorem a średnim arytmetycznym kierunkiem wiatru obliczonym z 4 terminów wynosiła tylko 3° , natomiast w ujęciu oktantowym aż 1 oktant. Odwrotnie rzecz się miała np. 26 czerwca 1979 r., kiedy to analogiczna wartość różnicy wynosiła 34° , lecz zero oktantów.

Z uogólnionych wyników analizy przebiegu rocznego obliczonych różnic (tab. 3) widać, że największe różnice między wzorcowym wypadkowym wektorem kierunku wiatru (z 24 obserwacji) a pozostałymi sposobami określania wypadkowego lub średniego arytmetycznego kierunku wiatru występowały głównie w maju, następnie w czerwcu i w lipcu. Jest to potwierdzenie znanego faktu znacznej, nieregularnej zmienności kierunków wiatru w maju i w ogóle w miesiącach letnich, co prawdopodobnie pozostaje w związku z dużym udziałem i zmianami cyrkulacji z kierunków: W, NW, NE i N (Kaszeński 1983). W miesiącach chłodnej części roku, od października do lutego, średni błąd jest wyraźnie mniejszy, zaś najmniejszy przypada na luty. Ponadto widać, że w ujęciu oktantowym (prawa część tab. 3) różnice między wypadkowym wektorem z 24 terminów a innymi sposobami obliczania średniego kierunku (z 3 i z 4 terminów) tylko sporadycznie przekraczały 1 oktant (połowa tych przypadków przypadła na czerwiec i lipiec). Wyniki te także w pełni potwierdzają wnioski sformułowane przez autora we wcześniejszej pracy (Warakomski 1983) opartej w dużym stopniu na rozważaniach teoretycznych. Może to mieć pewne znaczenie praktyczne przy przewidywaniu zmiany średniego kierunku wiatru z dnia na dzień (por. Warakomski 1984a).

Na marginesie przeprowadzonej analizy można zauważyć, że dzienne (dobowe) zmiany kierunku wiatru w umiarkowanych szerokościach geograficznych następują najczęściej zgodnie z ruchem wskazówek zegara, tj. „w prawo”. Potwierdza to dawne spostrzeżenia Dovego na ten temat, a także naszego niedocenianego A. Pietkiewicza (1872), który pisze: „Ta zmiana wiatrów przez północ, północny wschód, wschód itd. [...] jest więcej pospolitą [...] Zwrot wiatrów w kierunku wstecznym rzadko się zdarza i po większej części z burzliwym powietrzem połączony bywa, i rzadko widnokrąg cały obiega dokoła.” Interesujące, iż Chromow (1940) krytykuje sposób wyjaśniania tego zjawiska przez Dovego wpływem obrotu Ziemi na południ-

kowy przepływ powietrza. W niektórych współczesnych pracach też można spotkać uwagi na temat tej prawidłowości, choć w innym kontekście.

* * *

Najmniejsze średnie różnice między kierunkiem wzorcowego, wypadkowego wektora wiatru (obliczanego z 24 godzin na dobę) a kierunkiem wypadkowego wektora (obliczanego z 3 lub z 4 terminów) bądź średnim arytmetycznym kierunkiem wiatru (z 3 lub z 4 terminów) występują w miesiącach chłodnej pory roku, zwłaszcza w lutym. Największych średnich różnic można spodziewać się w maju, czerwcu, lipcu i wrześniu (tab. 3).

W uproszczonym ujęciu, z dokładnością ograniczoną do 1 oktantu, sytuacja przedstawia się podobnie; najmniejsze średnie różnice występują także w miesiącach zimowych, zwłaszcza w styczniu i lutym, zaś największe — w przypadku danych z 3 terminów — w maju, wrześniu i lipcu, a w przypadku danych z 4 terminów — w maju, wrześniu, październiku i marcu. W tym ujęciu, w całej analizowanej rocznej serii pomiarowej różnice w badanych relacjach nie przekraczające 1 oktantu obejmowały aż 97,5–98,9% przypadków. Większe różnice występowały sporadycznie, tylko w 2,2% przypadków (tab. 1 i 2).

Otrzymane tu wyłącznie na drodze empirycznej różnice (interpretowane jako błąd o określonej wielkości) są dużo mniejsze niż wynikałoby z wcześniejszych, teoretycznych dociekań (Warakowski 1983), zgodnie zresztą z ówczesnymi przewidywaniami autora, ponieważ zakładane tam teoretycznie skrajnie zmienne układy kierunku wiatru w ciągu doby w rzeczywistości występują bardzo rzadko.

Uzyskane wyniki wskazują, że do celów praktycznych, nie wymagających wielkiej precyzji ocen, można obliczać wypadkowy wektor wiatru z 3 lub — nieco lepiej — z 4 terminów w ciągu doby i wykorzystywać to jako składnik charakterystyki pogody w danym dniu, podobnie jak w przypadku innych elementów meteorologicznych. W sytuacjach, w których obliczanie wypadkowego wektora byłoby kłopotliwe (np. pochłaniałoby zbyt dużo czasu), można — jak wykazano — korzystać z niewiele mniejszą dokładnością z obliczania średniego arytmetycznego kierunku wiatru z 3 lub — także nieco lepiej — z 4 terminów. Przeprowadzona analiza pozwoliła ocenić średnią wielkość popełnianych przy tym błędów.

Można odnieść się krytycznie do powyższego wniosku i stać na stanowisku konieczności obliczania w każdym przypadku wektora wypadkowego. Przypomnijmy jednak, że podobne formalno-rachunkowe nieścisłości popełnia się powszechnie od ponad 100 lat, obliczając średnie arytmetyczne war-

Tab. 3. Przebieg roczny różnic między średnim kierunkiem wiatru obliczanym różnymi sposobami w Radawcu k/Lublina w 1979 r.

Miesiące	Średnia różnica w stopniach					Procent przypadków bez błędu z dokładnością do 1 oktantu					Procent przypadków z błędami:				
	a-b		a-c		a-e	a-b		a-c		a-e	o 1 oktant		o 2 okt.		o 3 okt.
	a-b	a-c	a-d	a-e	a-b	a-c	a-d	a-e	a-b	a-c	a-e	a-b	a-c	a-e	a-b
I	9,2	8,1	9,4	7,8	90,3	87,1	90,3	87,1	9,7	9,7	12,9	-	-	-	-
II	6,1	4,2	6,0	5,0	75,0	96,4	78,6	96,4	25,0	3,6	3,6	-	-	-	-
III	10,2	9,6	11,6	6,6	80,6	67,7	77,4	77,4	19,3	32,3	22,6	-	-	-	-
IV	9,3	8,0	10,5	10,2	90,0	70,0	86,7	86,7	10,0	30,0	13,3	-	-	-	-
V	11,8	8,2	17,4	12,7	74,2	80,6	61,3	71,0	25,8	19,3	38,7	-	-	-	-
VI	13,3	12,7	12,7	11,0	76,7	86,6	83,3	90,0	23,3	6,7	16,7	-	-	-	-
VII	16,6	11,7	11,4	9,6	67,7	87,1	67,7	87,1	29,0	9,7	32,3	-	-	-	3,2
VIII	12,2	7,7	10,4	8,6	80,6	77,4	77,4	80,6	19,3	22,6	22,6	-	-	-	-
IX	15,1	9,2	14,2	9,6	66,7	80,0	66,7	76,7	26,7	20,0	33,3	-	-	-	-
X	8,3	5,9	8,8	5,9	77,4	74,2	77,4	77,4	22,6	25,8	22,6	-	-	-	-
XI	7,8	5,3	10,7	6,4	86,7	93,3	73,3	86,7	13,3	6,7	26,7	-	-	-	-
XII	9,5	4,9	8,1	7,4	80,6	83,9	87,1	83,9	16,1	16,1	12,9	-	-	-	-
Średnia	10,8	8,0	10,9	8,4	78,9	82,0	77,3	83,4	20,0	16,9	22,7	0,8	1,1	1,1	0,3

tości wilgotności względnej i niedosytu wilgotności, nie wdając się przy tym w ogóle w analizę wielkości wynikających stąd błędów. Za takim uproszczonym sposobem obliczeń wypowiedziały się kiedyś niekwestionowane autorytety (Pietkiewicz 1872), chociaż przy opracowywaniu niektórych zagadnień klimatologicznych skutki tego mogą być o wiele poważniejsze niż te, jakie mogą wynikać z uproszczonego sposobu obliczania średniego arytmetycznego dziennego (dobowego) kierunku wiatru.

LITERATURA

- Ackermann G. R. 1983; Means and standard deviations of horizontal wind components. *J. Climate Appl. Meteor.*, vol. 22, Notes.
- Chromow S. P. 1940; *Sinoptičeskaja meteorologija*. Moskwa.
- Fisher N. I. 1987; Problems with the current definitions of the standard deviation of wind direction. *J. Climate Appl.*, vol. 26.
- Hanna S. R. 1981; Diurnal variation of horizontal wind direction fluctuations in complex terrain at Geysers, California. *Bound.-Layer Meteor.*, vol. 21.
- Kaszewski B. M. 1983; Próba wydzielenia naturalnych okresów synoptycznych na podstawie częstości typów cyrkulacji nad Polską. *Prz. Geofiz.*, z. 2.
- Maitani T. 1983; Statistics of wind direction fluctuations in the surface layer over plant canopies. *Bound.-Layer Meteor.*, vol. 26.
- Merecki R. 1914; *Klimatologia ziem polskich*. Warszawa.
- Mohn H. 1888; *Zasady meteorologii* (tłum. z IV oryg. wyd. niem. z 1887 r.) Warszawa.
- Mori Y. 1986; Evaluation of several "single-pass" estimators of the mean and the standard deviation of wind direction. *J. Appl. Meteor.*, vol. 25.
- Nelson E. W. 1984; A simple and accurate method for calculation of the standard deviation of the horizontal wind direction. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 34.
- Nowak M. 1972; *Metody v klimatologii*. Praha.
- Papadopoulos K. H., Helmis C. G., Amanatidis G. T. 1992; An analysis of wind direction and horizontal wind component fluctuations over complex terrain. *J. Appl. Meteor.*, vol. 31.
- Pietkiewicz A. 1872; *Meteorologia*. Kraków.
- Pruchnicki J. 1975; O rozkładach prawdopodobieństwa wektora i modułu wiatru. *Prz. Geofiz.*, nr 3.
- Strauch E. 1973; Długotrwałość wiatru a warunki rozcieńczania zanieczyszczeń powietrza. *Wiad. Śl. Hydrol. i Meteor.* T. 9, nr 2-3.
- Turner D. B. 1986; Comparison of three methods for calculating the standard deviation of the wind direction. *J. Climate Appl. Meteor.*, vol. 25.
- Verrall K. A., Williams R. L. 1982; A method for estimating the standard deviation of wind direction. *J. Appl. Meteor.*, vol. 21.
- Warakomski W. 1983; Teoretyczne i empiryczne podstawy wyznaczania średniego dziennego kierunku wiatru. *Prz. Geofiz.*, z. 3-4.
- Warakomski W. 1984a; Przydatność wyznaczania średniego dziennego kierunku wiatru do określania jego wieloletniej zmienności. *Przew. Ogólnop. Zjazdu Pol. Tow. Geogr.*, cz. I. Lublin.

- Warakomski W. 1984b; Średni dzienny kierunek wiatru jako charakterystyka klimatologiczna. *Folia Societ. Scient. Lublinensis*, vol. 26, *Geografia* 1/2.
- Warakomski W. 1991; Z badań nad zmiennością kierunku wiatru. *Prz. Geofiz.*, z. 3.
- Yamartino R. J. 1984; A comparison of several "single-pass" estimators of the standard deviation of wind direction. *J. Climate Appl. Meteor.*, vol. 23.

SUMMARY

Listed and compared are angular values of mean annual wind directions, based on every hour data from a meteorological station of the Institute of Meteorology and Water Administration at Radawiec near Lublin. The data come from by chance selected year 1979 and were calculated by various ways as: a — resultant direction of wind from 24 h every twenty-four hours, accepted here as a standard and representative measure; b — resultant of 3 terms (07, 13, 21 of local mean time); c — resultant of 4 terms (01, 07, 13, 19); d — arithmetic mean wind direction of 3 above-mentioned terms; e — arithmetic mean wind direction of 4 above-mentioned terms. Magnitude and frequency of errors at measurements in 3 or 4 terms only were evaluated (Tables 1 and 2). When calculations of a resultant (the only fully correct value) are troublesome, then a mean arithmetic wind direction can be received from 3 or 4 terms with only slightly lower accuracy and used as a component of weather description in a given day, similarly as in cases of other meteorological elements.

Results indicate that generally better are measurements of 4 than 3 terms. All applied calculation methods of a mean daily wind direction give similar values and a very small error (1.1–2.5%) at assumed accuracy (e.g. to 1 octant i.e. 45°).

In an annual course, the largest difference between a standard resultant wind direction calculated from 24 hours every twenty-four hours, and the other methods to a resultant or mean arithmetic direction, occurred mainly in May, June and July (Table 3). From October to February mean errors are smaller, the smallest ones in February. Discussed differences were rarely over 1 octant, most of the large ones occurred in June and July. Results support previous conclusions of the author (Warakomski 1983), based mostly on theoretical considerations. It may have practical significance when forecasting changes of mean wind direction from day to day.

