

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 67, 2015: 79–89  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 67, 2015)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 67, 2015: 79–89  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 67, 2015)

**Tomasz STRZYŻEWSKI, Joanna USCKA-KOWALKOWSKA,  
Rajmund PRZYBYŁAK, Marek KEJNA, Andrzej ARAŻNY,  
Rafał MASZEWSKI**

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Earth Science,  
Nicolaus Copernicus University

## **Zróźnicowanie kierunku i prędkości wiatru na obszarze Torunia (centralna Polska) w 2012 roku The diversity of wind speed and directions in Toruń (central Poland) in 2012**

**Słowa kluczowe:** prędkość wiatru, kierunek wiatru, klimat miasta, Toruń

**Key words:** wind speed, wind direction, urban climate, Toruń

### **Wprowadzenie**

Topoklimat miasta w porównaniu z jego otoczeniem wykazuje się znaczną odrębnością praktycznie wszystkich elementów meteorologicznych. Z punktu widzenia mieszkańców jednym z najistotniejszych elementów jest wiatr, który wpływa m.in. na temperaturę odczuwalną, zasięg miejskiej wyspy ciepła (Fortuniak, 2003) oraz stężenie zanieczyszczeń w atmosferze (Błażejczyk,

2002). Przepływ wiatru w mieście podlega licznym modyfikacjom związanym z dużą szorstkością podłoża, układem komunikacyjnym, orientacją, wysokością oraz wzajemnym położeniem budynków, szpalerów drzew itp. (Kuchcik, 2003). Szczegółowe rozpoznanie i charakterystyka warunków anemometrycznych w skali lokalnej, zwłaszcza w obrębie zabudowy miejskiej, może być podstawą rozważań praktycznych, np. konkretnych rozwiązań planistycznych zmierzających do poprawy warunków bioklimatycznych i aerosanitarnych (Nidzgorska-Lencewicz i Czarnecka, 2011). Prace dotyczące związku między warunkami anemologicznymi a zasięgiem miejskiej wyspy ciepła były

---

Praca powstała w ramach projektu N N306 723040 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki w latach 2011–2014.

prowadzone wielokrotnie (Stopa-Boryczka, 1992; Fortuniak, 2003; Szymonowski, 2004). Podstawowe cechy wiatru były przedmiotem analizy także przy okazji bardziej kompleksowych prac związanych z klimatem miasta (Błażejczyk, 2002; Dubicki i in., 2002; Fortuniak i Kłysik, 2008; Nidzgorzka-Lencewicz i Czarnecka, 2011).

Celem opracowania jest zbadanie wpływu różnych typów zabudowy na kierunek i prędkość wiatru oraz analiza modyfikacji kierunku wiatru w zależności od lokalnego układu urbanistycznego w Toruniu w 2012 roku.

## Materialy i metody

Aby szczegółowo poznać warunki anemologiczne w mieście konieczna jest gęsta sieć pomiarowa wraz ze stacją referencyjną na otwartej przestrzeni, położoną w niewielkiej odległości od miasta, ale pozbawioną jego wpływu. Taką sieć pomiarową założono w ramach projektu NCN N N306 723040 realizowanego w latach 2011–2014, którego głównym celem było zbadanie wpływu czynników środowiskowych, dynamicznych i antropogenicznych na warunki meteorologiczne i biometeorologiczne Torunia oraz stworzenie map topoklimatów miasta odzwierciedlających jego zróżnicowanie klimatyczne (Kunz i in., 2012). W ramach realizacji projektu założono 24 punkty pomiarowe oraz wykorzystano dane z 3 już istniejących stacji. Stanki pomiarowe były rozmieszczone na terenie miasta i w jego strefie podmiejskiej (rys. 1). W 12 punktach mierzono prędkość i kierunek wiatru za pomocą stacji automatycznych Davis Vantage Pro

na wysokości 2 m n.p.t. Dane referencyjne wzięto ze stacji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Koniczynie (KON), oddalonej około 10 km na północny wschód od centrum Torunia. W Koniczynie pomiary kierunku i prędkości wiatru wykonywane są na wysokości 10 m n.p.t. za pomocą stacji automatycznej typu Milos 500 firmy Vaisala oraz czujników wiatru typu WAZ151 (kierunek) i AA151 (prędkość). Stacja ZMŚP w Koniczynie prowadzi pomiary tego elementu od 1994 roku, a brak czynników antropogenicznych wprowadzających istotne zmiany środowiskowe powoduje, że nadaje się do wyznaczania anomalii w polu różnych elementów meteorologicznych związanych z obecnością miasta (Kunz i in., 2012). W celu zredukowania pomiarów z wysokości 10 m n.p.t. (prowadzonych w KON) do wysokości 2 m n.p.t. zastosowano wzór potęgowy Suttona (1953)

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{Z_1}{Z_2} \right)^\alpha$$

gdzie:

$V_1, V_2$  – prędkości wiatru odpowiednio na wysokościach  $Z_1$  i  $Z_2$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$\alpha$  – wykładnik potęgowy zależny od szorstkości podłoża [–].

Wielkość wykładnika potęgowego użytego do redukcji prędkości wiatru w Koniczynie została obliczona na podstawie bezpośrednich pomiarów prędkości wiatru na tej stacji na wysokości 10 i 2 m n.p.t. (Kejna i in. 2001). Wykładnik ten zmieniał się od 0,21 w lutym i marcu do 0,38 w sierpniu. Są to wartości większe niż proponuje Wieringa i inni (2001) dla terenów rolniczych (0,03)

i wykazujące przy tym zmienność w przebiegu rocznym uwarunkowaną użytkowaniem rolniczym terenu. Fakt zmiany wartości wykładnika potęgowego w wyniku rozwoju roślinności był poruszany przez Jacobsa i Boxela (1987). W dalszej części opracowania prędkość wiatru w Koniczynie zostanie przedstawiona dla wysokości 2 m n.p.t.

Punkty pomiarowe zostały rozmieszczone tak, aby reprezentowały różne rodzaje zabudowy – od wysokiej, luźniej, charakterystycznej dla osiedli z tzw. wielkiej płyty, przez zwartą, średniej wysokości zabudowę średnowiecznego centrum, po niską zabudowę jednorodzinna.

Dla potrzeb niniejszego opracowania wybrano sześć stacji położonych

w mieście (BAR, BOR, MAN, OME, RMA i ZOO) oraz jedną zlokalizowaną na północny wschód od Torunia (KON) – rysunek 1. Punkt Barbarka (BAR) ulokowany jest w północno-zachodniej części miasta na terenie leśnym, a punkt Radio Maryja (RMA) położony jest w obszarze o zróżnicowanej zabudowie na północ od ścisłego centrum miasta. Kolejny punkt, zlokalizowany w ogródku meteorologicznym przy Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (OME), leży w części miasta, w której występuje zabudowa wielorodzinnna (w tym wysoka z tzw. wielkiej płyty) oraz budynki należące do Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Punkt ZOO reprezentuje tereny parkowe, licznie zadrzewione. Punkt Mała Nieszaw-



RYSUNEK 1. Lokalizacja wszystkich stanowisk pomiarów meteorologicznych w Toruniu w 2012 roku (kropki) oraz wybrane do opracowania stanowiska (kwadraty) na tle podziału miasta na osiedla mieszkaniowe

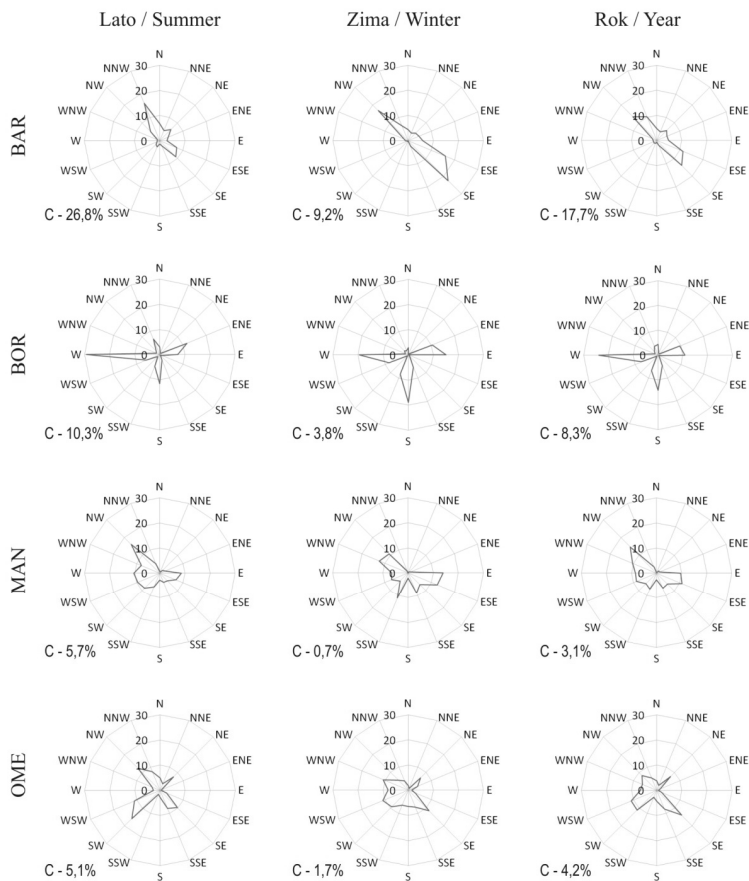
FIGURE 1. Location of all meteorological measuring sites in Toruń in 2012 (dots) and selected for present analysis sites (quadrant) and the arrangement of residential estates

ka (MAN) znajduje się przy zachodniej granicy miasta w jego strefie lewobrzeżnej i reprezentuje typową zabudowę podmiejską. W lewobrzeżnej części miasta znajduje się również punkt przy ul. Komorowskiego-Bora (BOR) leżący w obszarze o zróżnicowanej zabudowie, z dominacją zabudowy jednorodzinnej. Punkty pomiarowe uzupełnia stacja referencyjna w Koniczynie (KON) położona na terenie rolniczym.

## Wyniki

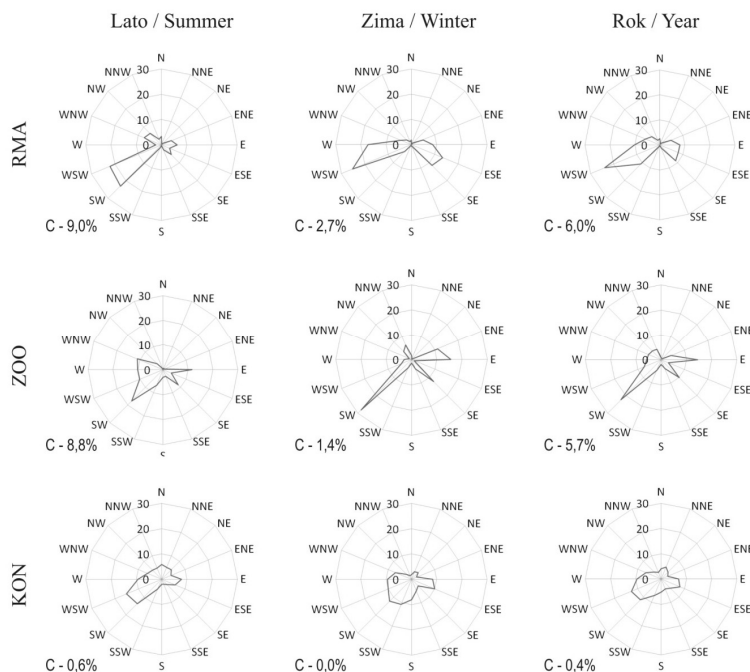
### Częstość kierunków wiatru

Rozkład częstości kierunków wiatru w obszarze miejskim odbiega od analogicznego rozkładu obserwowanego na obszarze otwartym. W mieście jest on bardzo zależny od układu zabudowy, szaty roślinnej (w tym szczególnie dużych drzew) itp. Odzwierciedlają to wyniki badań prowadzonych w 2012 roku w Toruniu (rys. 2). Częstości kierunków



RYSUNEK 2. Różne sezonowych (lato i zima) oraz rocznych częstości kierunków wiatru w Toruniu w wybranych punktach pomiarowych w 2012 roku (%)

FIGURE 2. Seasonal (summer and winter) and yearly frequencies of wind directions in Toruń at selected measurement sites in 2012 (%)



RYSUNEK 2. cd.  
FIGURE 2. cont.

wiatru oraz średnie prędkości były wyliczane z 24 pomiarów na dobę. Za ciższą przyjęto wartość  $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w ciągu godziny.

Przeważającym kierunkiem wiatru dla stacji referencyjnej (KON) w 2012 roku był WSW (12,7% przypadków) oraz SW (11,6%). Najrzadziej wiatr wiał z kierunków ENE oraz NNW (odpowiednio 2,8 i 2,9%) – tabela 1. Rozkład częstości w porach letniej i zimowej jest do siebie podobny (rys. 2).

Rozkład częstości kierunków wiatru dla stacji miejskich jest zależny od konfiguracji przeszkód terenowych wokół punktu pomiarowego (budynki, drzewa itp.), może więc znacznie różnić się od wskazań stacji referencyjnej. Deformacje róż wiatru w analizowanym okresie można podzielić na jednoosiowe (wystę-

puje silne wydłużenie wykresu wzdłuż dwóch naprzeciwległych kierunków – punkt BAR), dwuosiowe (silne wydłużenie wzdłuż dwóch par kierunków – punkty BOR, OME, ZOO) oraz związane z wyraźnym przesłonięciem części horyzontu stosunkowo blisko czujnika (MAN, RMA) – rysunek 2.

W celu określenia stopnia deformacji kierunku wiatru wprowadzono prosty wskaźnik bazujący na relacji badanej stacji ze stacją referencyjną. Dla każdej stacji obliczono procentową różnicę w częstości poszczególnych kierunków w odniesieniu do stacji referencyjnej, a następnie wynik uśredniono. W ten sposób zróżnicowano punkty pomiarowe, określając stopień deformacji kierunków wiatru. Należy jednak podkreślić, iż zaproponowany wskaźnik opisuje

TABELA 1. Średnie częstości poszczególnych kierunków wiatru w 2012 roku na wybranych stacjach w Toruniu

TABLE 1. Mean frequencies of individual wind directions at the selected stations in Toruń in 2012

Kierunek/Direction	Średnie częstości kierunków wiatru/Mean frequencies of wind directions [%]						
	BAR	BOR	MAN	OME	RMA	ZOO	KON
N	4,7	4,3	0,4	3,7	2,5	0,9	4,1
NNE	3,8	0,8	0,4	2,1	0,5	0,5	5,2
NE	5,6	0,7	1,3	7,8	1,1	0,5	3,8
ENE	4,5	9,5	1,2	1,6	4,7	4,2	2,8
E	4,8	10,9	9,6	0,6	7,9	14,4	6,9
ESE	11,3	0,4	11,0	2,1	7,9	3,1	8,1
SE	14,0	0,5	6,1	14,0	8,9	10,1	5,2
SSE	2,0	4,6	6,6	8,1	1,5	3,9	4,3
S	0,7	14,2	2,7	4,4	0,3	1,9	5,2
SSW	1,2	6,8	6,9	2,9	0,7	4,6	7,0
SW	1,4	0,7	5,9	11,1	10,9	22,5	11,6
WSW	1,3	7,2	8,7	11,0	23,9	7,3	12,7
W	1,4	23,8	8,4	6,5	10,2	5,7	9,5
WNW	1,8	1,2	10,3	6,1	6,2	5,4	6,5
NW	13,4	2,1	14,8	8,3	4,6	4,9	4,0
NNW	10,2	3,8	2,7	5,4	2,1	4,5	2,9
C	17,7	8,3	3,1	4,2	6,0	5,7	0,4

kierunek wiatru w punkcie pomiarowym i nie można go odnieść do większego obszaru lub typu zabudowy. Najmniej odbiegającym od stacji referencyjnej miejscem pomiarowym okazał się punkt RMA (obszar o zróżnicowanej zabudowie), dla którego różnica wyniosła średnio 2,8%. Zauważyć jednak można wyraźne zasłonięcie róży wiatru z kierunku W oraz NE, spowodowane bezpośrednim sąsiedztwem zadrzewień. Największe częstości z kierunków WSW oraz SW są wynikiem otwartej przestrzeni, w której znajduje się ciąg drogowy trasy średnicowej. Następne w kolejności były punkty OME (Obserwatorium Meteorologiczne UMK) oraz MAN (obszar

podmiejski), gdzie różnice wynosiły odpowiednio 3,2 i 3,1%. W punkcie OME w ciągu roku najbardziej uwidacznia się wpływ budynku Wydziału Nauk o Ziemi, który skutecznie zaburza przepływ powietrza ze wschodu (budynek zorientowany w osi N-S). Można zauważyć, że pokrycie terenu faworyzuje przepływ z kierunków SE oraz SW. Występują tu wyraźne luki w zabudowie, umożliwiające napływ powietrza właśnie z tych kierunków i jego późniejszą ucieczkę w kierunku otwartej przestrzeni pętli tramwajowo-autobusowej (NW). Dowodzi to możliwości pojawiania się efektu tunelowego wzdłuż budynku wydziału. Również średnie prędkości wiatru z tych

kierunków są duże. Podobną wielkość odchylenia uzyskano dla stacji ZOO (3,7%), w której głównym elementem modyfikującym przepływ wiatru jest zadrzewienie. Największe modyfikacje kierunków wiatru odnotowano w punktach BOR (zabudowa jednorodzinna) oraz BAR (obszar leśny), odpowiednio 4,9 oraz 5,2%. Są to obszary, w których stacje są wyraźnie osłonięte budynkami lub drzewami. We wszystkich badanych punktach istotne znaczenie ma charakter ich najbliższego otoczenia, które w sposób znaczący wpływa na częstości poszczególnych kierunków wiatru i jego prędkość.

Porównując okresy letni i zimowy, stwierdzić można, że zdecydowanie większe odchylenia od stacji referencyjnej występują zimą. Wpływ na to może mieć ogólnie większa prędkość wiatru w okresie zimowym, przez co ruch wiatru jest bardziej podatny na kanalizowanie przepływu omijającego lokalne przeszkody terenowe. Największa deformacja kierunków wiatru w okresie zimowym wystąpiła w punktach BAR (6,7%) oraz ZOO (6,0%). W pozostałych punktach kształtowała się ona na poziomie od 3,2 do 4,9%. W skali roku największym deformacjom na terenie miejskim ulegał wiatr z kierunku NNE. Na wszystkich stacjach odnotowano mniejsze udziały tego kierunku w porównaniu do stacji referencyjnej. Najmniejszym modyfikacjom ulegał natomiast wiatr z kierunków W i SSE.

Istotnym elementem stosunków anemologicznych są cizze. Na stacji referencyjnej (KON) w 2012 roku wystąpiło jedynie 0,4% cisz. Na stacjach miejskich najmniej cisz w ujęciu rocznym (3,1%) było w punkcie MAN, który znajduje

się na obrzeżach miasta, natomiast największy udział cisz (17,7%) odnotowano na stacji BAR, na terenie leśnym (tab. 1). Zwiększony udział cisz notowano w lecie. W cieplej porze roku najmniejszy udział cisz odnotowano w punkcie pomiarowym OME (5,1% – zabudowa wielorodzinna), a największy w obszarze leśnym – BAR (26,8%) oraz punkcie BOR (10,3%). W zimie udział cisz maleje do 9,2% w obszarze leśnym (BAR), 3,8% na obszarze zabudowy jednorodzinnej (BOR) oraz 0,7% w punkcie MAN na obrzeżach miasta (rys. 2). Związane jest to z typowym dla tego obszaru przebiegiem rocznym prędkości wiatru.

### **Prędkość wiatru**

W 2012 roku największe średnie roczne prędkości wiatru (poza stacją referencyjną) odnotowano w punkcie OME, znajdującym się na obszarze zabudowy wielorodzinnej i biurowej ( $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Najslabszy wiatr ( $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) odnotowano na terenie leśnym (BAR). Również niewielkimi jego prędkościami charakteryzowały się punkty: RMA ( $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) zlokalizowany na obszarze zabudowy mieszanej i ZOO ( $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) na terenie parkowym. Średnia prędkość wiatru w stacji referencyjnej (KON) w tym samym okresie pomiarowym wyniosła  $2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Największe jego prędkości na terenie Torunia odnotowano w punktach pomiarowych OME w sierpniu ( $15,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) oraz BOR w styczniu ( $14,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Są one zbliżone do maksymalnych porywów odnotowanych w Koniczynie wynoszących  $14,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (tab. 2).

Landsberg (1981) podaje, że zabudowa miejska powoduje zmniejszenie średniej prędkości wiatru o około

TABELA 2. Przebieg roczny średnich i maksymalnych prędkości wiatru w wybranych punktach Torunia i na stacji w Koniczynie w roku 2012

TABLE 2. Annual course of mean and maximum values of wind speed at the selected sites in Toruń and at the Koniczynka weather station in 2012

Punkt /Site	Wartość / Value	Prędkość wiatru/Wind speed [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
BAR	śr.	0,3	0,3	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	max	10,7	10,7	8,9	8,5	6,3	7,6	6,3	5,8	5,4	6,7	6,7	6,3	10,7
BOR	śr.	1,2	1,1	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9
	max	14,3	11,6	11,6	12,1	9,8	11,6	11,2	9,8	9,8	12,5	9,8	8,9	14,3
MAN	śr.	1,4	1,2	1,5	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	1,1	1,1	1,0
	max	13,4	12,1	12,1	10,3	8,9	10,3	10,3	9,8	10,3	10,7	9,4	10,3	13,4
OME	śr.	1,3	1,5	1,5	1,5	1,2	0,9	0,9	0,9	0,6	0,7	1,1	1,2	1,1
	max	12,5	15,2	13,9	14,3	11,6	11,6	13,0	15,6	8,9	13,0	11,6	13,0	15,6
RMA	śr.	0,8	0,7	1,0	0,7	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	max	12,5	13,0	10,3	8,9	8,9	10,7	7,6	9,4	7,6	11,6	8,0	6,7	13,0
ZOO	śr.	0,8	0,6	0,9	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
	max	12,5	11,2	11,2	8,9	8,9	9,4	9,4	8,0	7,6	10,7	8,0	8,0	12,5
KON	śr.	3,1	2,7	3,1	2,4	2,1	1,9	1,8	1,8	2,0	1,9	2,0	2,0	2,2
	max	14,7	12,8	14,9	12,6	10,9	12,4	10,5	10,3	10,9	13,4	10,3	8,9	14,9

20–30%. Analiza przedstawionych wyników wskazuje, że również w Toruniu wpływ zabudowy, rodzaju podłoża i innych lokalnych uwarunkowań powodują znaczne ograniczenie prędkości wiatru.

Przebieg roczny prędkości wiatru zilustrowany w tabeli 2, z jego najmniejszymi wartościami latem i największymi w zimie, jest charakterystyczny dla całego obszaru Polski. Przypadek dużej chwilowej prędkości wiatru w sierpniu jedynie w punkcie OME ( $15,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) jest związany z gwałtowną lokalną burzą związaną z przejściem frontu chłodnego z kierunku WSW, która wystąpiła 3 sierpnia 2012 roku.

### Prędkość wiatru według kierunków

Deformacje pola wiatru charakteryzuje również jego prędkość występu-

jąca przy poszczególnych kierunkach. W Toruniu w 2012 roku stwierdzono znaczne różnice prędkości wiatru z poszczególnych kierunków uwarunkowane szorstkością podłoża i otwartością terenu (tab. 3). W punktach pomiarowych BAR oraz BOR największe średnie prędkości wiatru w ciągu roku występowały z kierunku NW (odpowiednio  $0,7$  i  $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). W kolejnych punktach odnotowano je jeszcze z wielu innych kierunków, w MAN z kierunku WNW ( $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), w OME i RMA z kierunku W (odpowiednio  $1,8$  i  $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a w ZOO z kierunku SW ( $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Widać więc, że zróżnicowanie jest stosunkowo duże, jednak zawsze występuje wyraźna, składowa zachodnia związana z dominującą strefową cyrkulacją atmosferyczną w szerokościach umiarkowanych oraz makro-



TABELA 3. Średnie prędkości wiatru przy poszczególnych kierunkach dla wybranych punktów pomiarowych w Toruniu oraz stacji w Koniczynie w roku 2012

TABLE 3. Mean values of wind speed for individual wind directions at selected measurement sites in Toruń and at Koniczynka in 2012

Kierunek/Direction	Średnie prędkości wiatru/Mean values of wind speed [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]						
	BAR	BOR	MAN	OME	RMA	ZOO	KON
N	0,2	0,9	0,1	1,0	0,3	0,1	1,7
NNE	0,1	0,7	0,1	0,7	0,4	0,0	2,2
NE	0,1	0,5	0,2	1,1	0,2	0,1	2,0
ENE	0,0	0,7	0,3	0,7	0,1	0,6	1,5
E	0,0	0,7	0,6	0,9	0,2	0,4	1,6
ESE	0,1	0,0	1,2	1,2	0,5	0,2	1,3
SE	0,3	0,0	1,1	1,4	0,3	0,7	0,9
SSE	0,2	0,7	1,0	1,1	0,1	0,3	1,0
S	0,1	1,3	0,4	1,0	0,0	0,2	1,3
SSW	0,1	0,8	1,1	0,8	0,0	0,3	2,4
SW	0,2	0,0	0,9	0,7	0,4	0,9	2,8
WSW	0,2	0,5	1,1	0,8	0,8	0,5	3,1
W	0,2	1,3	0,9	1,8	1,4	0,7	3,4
WNW	0,3	0,8	1,6	1,2	0,5	0,5	3,0
NW	0,7	1,4	1,2	1,2	0,3	0,6	2,7

gradientem ciśnienia atmosferycznego. Pokrywa się to z obserwacjami ze stacji referencyjnej KON, gdzie dla kierunku W średnia prędkość wiatru wyniosła  $3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Kierunek z najmniejszą średnią prędkością wiatru na poszczególnych miejskich stacjach związany jest z lokalnymi przeszkodami terenowymi.

## Podsumowanie

Badania zmienności przestrzennej kierunku i prędkości wiatru przeprowadzono w Toruniu w 2012 roku. Uzyskane wyniki wskazują, że stopień zmniejszenia prędkości wiatru w wyniku oddziaływania szorstkości podłoża w mieście jest znaczący i znajduje po-

twierdzenie we wcześniejszych badaniach prowadzonych w innych miastach, np. w Szczecinie (Nidzgorska-Lencewicz i Czarnecka, 2011) oraz w świetle kompleksowych badań dotyczących klimatu miasta prowadzonych przez Landsberga (1981). Dodatkową przyczyną zmniejszenia prędkości wiatru, poza zwartą zabudową (szczególnie w zachodniej części miasta), może być duży udział zieleni w przestrzeni miejskiej Torunia, która poprzez tarcie skutecznie zmniejsza prędkość jego przemieszczania. W obszarach, w których potencjalnie może tworzyć się efekt tunelowy (tereny zabudowy wielorodzinnej), wprowadzono zadrzewienia, które redukują jego działanie, co pozytywnie wpływa na bioklimat miasta. Negatywną stroną takiego

układu zabudowy i rozmieszczenia zieleni jest utrudnione przewietrzanie, co może skutkować pogorszeniem warunków aerosanitarnych.

Największe deformacje kierunku wiatru występują na terenach zieleni (lasy, parki), najmniejsze na obszarach o różnorodnej zabudowie. Deformacje kierunku wiatru są większe zimą niż latem, co wynika z większej średniej prędkości wiatru o tej porze roku i kanalizowania przepływu mas powietrza.

Mimo licznych deformacji kierunku największe prędkości wiatru występowały z kierunków o największej częstotliwości, tj. z sektora zachodniego, co związane jest z konfiguracją pola ciśnienia nad Europą i północnym Atlantykiem.

## Literatura

- Błażejczyk, K. (2002). *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej. Dokumentacja Geograficzna nr 26*. Warszawa: IGiPZ PAN.
- Dubicki, A., Dubicka, M. i Szymanowski, M. (2002). Klimat Wrocławia. W K. Smolnicki i M. Szykasiuk (red.) *Informator o stanie środowiska Wrocławia 2002*. (strony 9-25). Wrocław: Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju.
- Fortuniak, K. (2003). *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Łódź: Wyd. UŁ.
- Fortuniak, K. i Kłysik, K. (2008). Osobliwości klimatu miast na przykładzie Łodzi (Singularities of urban climate - Łódź case study). W K. Kłysik, J. Wibig i K. Fortuniak (red.). *Klimat i bioklimat miast* (strona 477-488). Łódź: Wyd. UŁ.
- Jacobs, A. i Boxel J. (1988). Changes of the displacement height and roughness length of maize during a growing season. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42(1), 53–62.
- Kejna, M., Wójcik, G., Marciniak, K. i Uscka, J. (2001). Kierunek i prędkość wiatru w Koniczynie (Równina Chełmżyńska) w latach 1994-2000. W M. Józwiak i A. Kowalkowski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza*. (strony 127-136). Kielce: Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Kuchcik, M. (2003). Warunki topoklimatyczne w różnych dzielnicach Warszawy. W K. Błażejczyk, B. Krawczyk i M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych. Prace Geogr.*(strony 179-190). Warszawa: IGiPZ PAN.
- Kunz, M., Uscka-Kowalkowska, J., Przybylak, R., Kejna, M., Araźny, A. i Maszewski, R. (2012). Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia – założenia projektu i wstępne wyniki badań. *Roczniki Geomatyki*, X, 3(53), 85-96.
- Landsberg, H.E. (1981). *The urban climate*. New York: Academic Press.
- Nidzgorska-Lencewicz, J. i Czarnecka M. (2011). Deformacja warunków anemometrycznych w Szczecinie. *Prace i Studia Geograficzne*, 47, 401–408.
- Stopa-Boryczka, M. (1992). Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez zabudowę w Warszawie. *Prace i Studia Geogr.*, 11, 39–73.
- Sutton, O.G. (1953). *Micrometeorology*. New York, London: McGraw Hill.
- Szymanowski, M. (2004). *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*. *Studia Geogr.*, 77. Wrocław: Uniwersytet Wrocławski.
- Wiering, J., Davenport, A., Grimmond, C. i Oke, T. (2001). *New version of Davenport roughness classification*. 3rd European & African Conference on Wind Engineering, Netherlands.

## Streszczenie

**Zróżnicowanie kierunku i prędkości wiatru na obszarze Torunia (centralna Polska) w 2012 roku.** Elementem meteorologicznym bardzo istotnym z punktu widzenia mieszkańców miast jest wiatr, wpły-

wający m.in. na temperaturę odczuwalną, zasięg miejskiej wyspy ciepła czy stężenie zanieczyszczeń w atmosferze. Na podstawie badań przeprowadzonych w Toruniu w 2012 roku stwierdzono duże deformacje kierunku oraz zmniejszenie prędkości wiatru w stosunku do terenów podmiejskich. Najmniejsze średnie prędkości wiatru odnotowano na terenach leśnych ( $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) oraz parkowych ( $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a największe wystąpiły na obszarze o zabudowie wielorodzinnej ( $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Analizie poddano również modyfikacje kierunków wiatru. Największe wystąpiły na obszarze leśnym, a najmniejsze na obszarze o zabudowie zróżnicowanej.

## Summary

**The diversity of wind speed and directions in Toruń (central Poland) in 2012.** Wind is a particularly significant meteorological element from the point of view of the residents of cities, as it affects, for example, the subjective temperature, the extent of the

Urban Heat Island or the concentration of atmospheric pollution. On the basis of observations carried out in Toruń in 2012, great deformations of wind directions and reduction of its speed were found as compared to suburban areas. The lowest values of annual mean speed were recorded in forest areas ( $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and in parks ( $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). The highest winds, on the other hand, occurred in the area of multi-apartment buildings ( $1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Modifications of wind directions were also analysed and were found to occur to the greatest extent in forest areas, and in areas of diversified land development, the least.

### Authors' address:

Tomasz Strzyżewski, Joanna Uscka-Kowalkowska, Rajmund Przybylak, Marek Kejna, Andrzej Arażny, Rafał Maszewski  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Meteorologii i Klimatologii, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń  
Poland  
e-mail: tstrzyzewski@umk.pl