

# ZGODNOŚĆ POMIARÓW AUTOMATYCZNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH ULOKOWANYCH NA DACHACH BUDYNKÓW Z POMIARAMI ZE STACJI IMGW-PIB

Sławomir ROJ-ROJEWSKI<sup>a\*</sup>, Olgierd ALEKSANDROWICZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

<sup>b</sup> Wydział Biologiczno-Chemiczny, Instytut Biologii, Uniwersytet w Białymstoku, ul. Ciołkowskiego 1J, 15-245 Białystok

**Streszczenie:** W pracy porównano dane z dwóch stacji zamontowanych na dachach budynków Politechniki Białostockiej i Uniwersytetu w Białymstoku oraz jednej stacji IMGW-PIB w Białymstoku położonych w pobliżu siebie. W obliczeniach statystycznych wzięto pod uwagę 18 pełnych miesięcy (16 dla kierunku wiatru) w okresie od października 2011 do maja 2014 roku. Pomiaru wykonywane przez automatyczne stacje meteorologiczne montowane na dachach budynków często różnią się w stosunku do pomiarów służby meteorologicznej w przypadku danych krótkookresowych, takich jak dane dobowe. Najbardziej są tu widoczne różnice w metodach pomiarów, co szczególnie dotyczy wilgotności względnej powietrza oraz kierunku wiatru. Niektóre ze stacji pogodowych mogą dostarczać dane dobowe dotyczące temperatury powietrza i opadów atmosferycznych porównywalne z pomiarami profesjonalnymi. Różnice między pomiarami zacierają się przy porównywaniu danych miesięcznych. Temperatura powietrza, prędkość wiatru i opady atmosferyczne dla dłuższych okresów nie różnią się w sposób istotny statystycznie w stosunku do pomiarów sieci meteorologicznej, więc mogą być wykorzystywane do podobnych celów. Wyraźne różnice stwierdzono jedynie w przypadku wilgotności względnej i kierunku wiatru.

*Słowa kluczowe:* automatyczna stacja meteorologiczna, pomiary meteorologiczne, porównanie pomiarów.

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się wzrost popularności automatycznych stacji meteorologicznych zarówno amatorskich, jak i profesjonalnych. Systematycznie rośnie liczba prywatnych stacji pogodowych, które udostępniają dane online przez Internet (Bell i in., 2013). Automatyzacja pomiarów w coraz większym stopniu obejmuje także stacje sieci meteorologicznej, w naszym kraju prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, co wyraźnie wpływa na poprawę dokładności i wiarygodności uzyskiwanych danych, stwarzając jednocześnie pewne problemy metodologiczne (Szwejkowski, 1999; Łabędzki i in., 2001; Łomotowski i Rojek, 2001; Lorenc, 2006; Mete, 2008; Kajewska-Szkudlarek i Rojek, 2013). Oprócz tego wiele instytucji, takich jak szkoły czy urzędy, posiada własne stacje pogodne. Urządzenia takie, często ze względów bezpieczeństwa oraz braku odpowiedniej przestrzeni, montowane są na dachach budynków tych instytucji. Powszechnie uważa się, że wyniki obserwacji meteorologicznych tego typu stacji istotnie różnią się od wyników uzyskiwanych w sieci IMGW-PIB z powodu nieodpowiadającej normom metodzie pomiaru, częstszych

awarii, niekiedy też niższej jakości stosowanych urządzeń pomiarowych. Z tego względu dane te, przez niektóre instytucje podawane na bieżąco w Internecie (na przykład przez Uniwersytet w Białymstoku Wydział Biologiczno-Chemiczny <http://meteo.uwb.edu.pl>, Politechnika Warszawska Wydział Fizyki <http://www.if.pw.edu.pl/~meteo>, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu Wydział Nauk o Ziemi <http://www.home.umk.pl/~vaisala>, Uniwersytet Opolski Instytut Fizyki <http://www.fizyka.uni.opole.pl/~astro/meteo>), są traktowane jako poglądowe, charakteryzujące bardziej lokalne warunki meteorologiczne. Nieznana jest jednak kwestia rzeczywistych różnic między tymi pomiarami – czy różnice te ujawniają się tylko w pomiarach chwilowych, czy także w dobowych, miesięcznych i dłuższych okresach czasu. Brakuje w literaturze przedmiotu opracowań, które dokładniej analizowałyby te kwestie.

W pracy postawiono za cel określenie stopnia wiarygodności wyników pomiarów uzyskanych z automatycznych stacji meteorologicznych ulokowanych na dachach wysokich budynków w odniesieniu do wyników stacji IMGW-PIB.

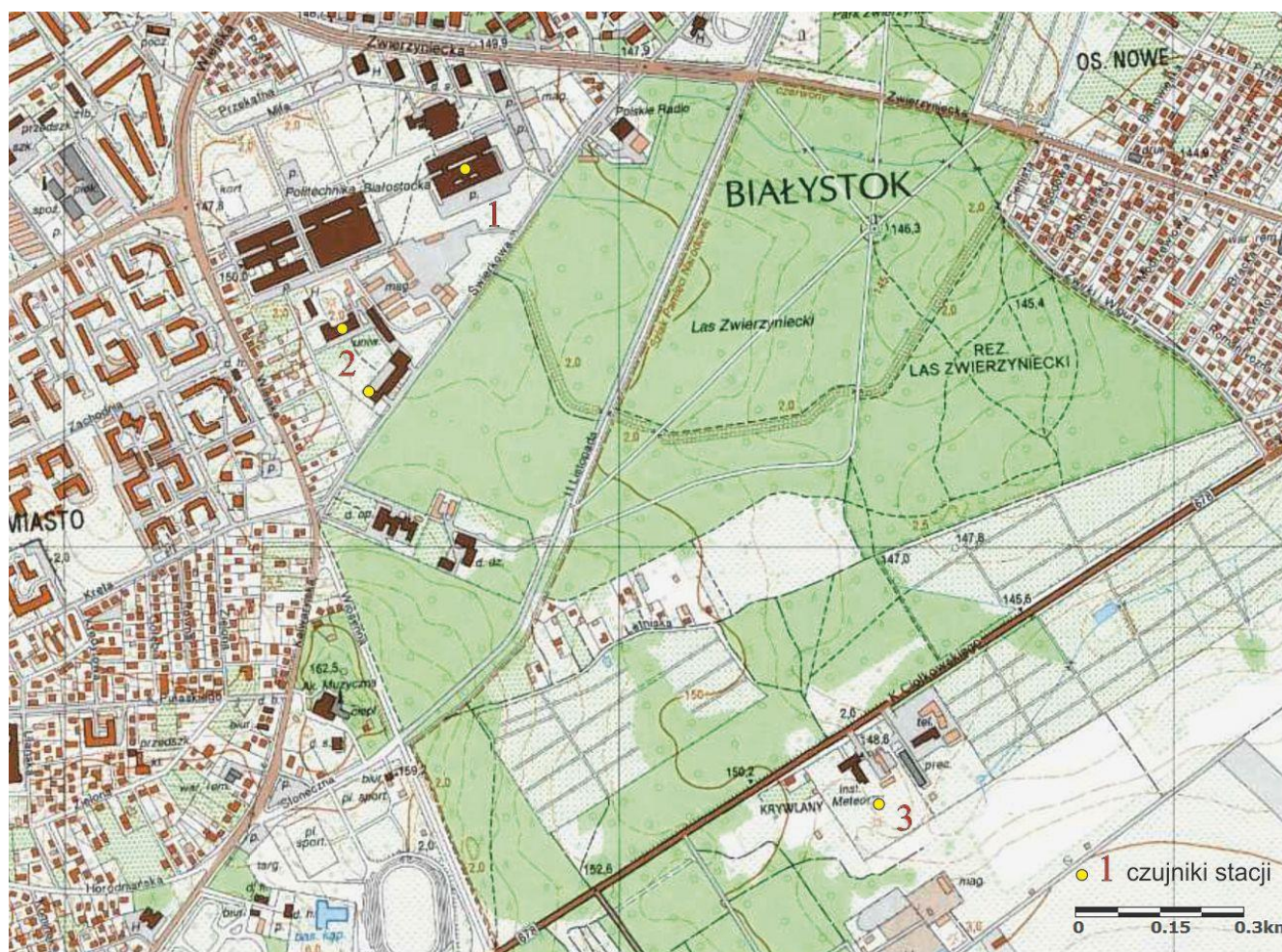
\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: s.roj@pb.edu.pl

## 2. Materiał i metody badań

Porównano dane z dwóch stacji zamontowanych na dachach (stacja agrometeorologiczna WatchDog 2900ET na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej oraz stacja Oregon WMR 928N w Instytucie Biologii Wydziału Biologiczno-Chemicznego Uniwersytetu w Białymstoku) oraz jednej stacji w ogródku meteorologicznym IMGW-PIB (Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Białymstoku, Dane uzyskane z IMGW-PIB Warszawa) ulokowanych w nieznaczącej odległości od siebie (od 0,36 do 1,4 km) w Białymstoku (rys. 1).

Stacja PB jest zamontowana w jednym miejscu na wysokości 10 m nad poziomem terenu, na dachu budynku uczelni. Czujniki stacji UwB były bardziej rozproszone, a część z nich (deszczomierz i wiatromierz) także została ulokowana na dachu. Przyrządy pomiarowe przymocowano na różnych wysokościach: pomiar temperatury i wilgotności względnej – na 4 m nad poziomem terenu, deszczomierz na 15 m, a wiatromierz, który znajdował się w innym budynku uczelni oddalonym o 120 m, na wysokości 12 m. Wszystkie trzy analizowane stacje działają automatycznie, dane przesyłają bezprzewodowo i należą do urządzeń profesjonalnych o wysokiej dokładności pomiarów.

W pracy pod uwagę wzięto pięć podstawowych parametrów meteorologicznych najczęściej wykorzystywanych w analizach warunków pogodowych: temperaturę powietrza, wilgotność względną, wielkość opadu, prędkość wiatru i kierunek wiatru. Ze względu na przerwy w zasilaniu i awarie rejestracji dane ze stacji uczelnianych nie mają charakteru ciągłego, tak jak dane z IMGW-PIB Białystok. Dlatego w analizie porównawczej nie uwzględniono obliczeń dla całych lat, a jedynie okresy dobowe i miesięczne. Nie było możliwe także przeprowadzenie analizy zmienności sezonowej danych. Analizy obejmują tylko te miesiące, dla których miała miejsce nieprzerwana i pozbawiona zakłóceń rejestracja pomiarów we wszystkich trzech stacjach. Dlatego wzięto pod uwagę jedynie 18 pełnych miesięcy w okresie od października 2011 do maja 2014 roku, co było podyktowane częstymi przerwami w pracy głównie na stacji UwB. Obliczenia wykonywano na danych dobowych (suma opadów na stacji IMGWB – 534 pomiary), godzinowych (stacja PB, pozostałe parametry na stacji IMGWB – 21 627 pomiarów na każdej z nich) lub 5-minutowych (stacja UwB – 154 657 pomiarów). Udział procentowy 8 głównych kierunków wiatru określono dla 16 miesięcy wspólnych dla wszystkich trzech stacji.



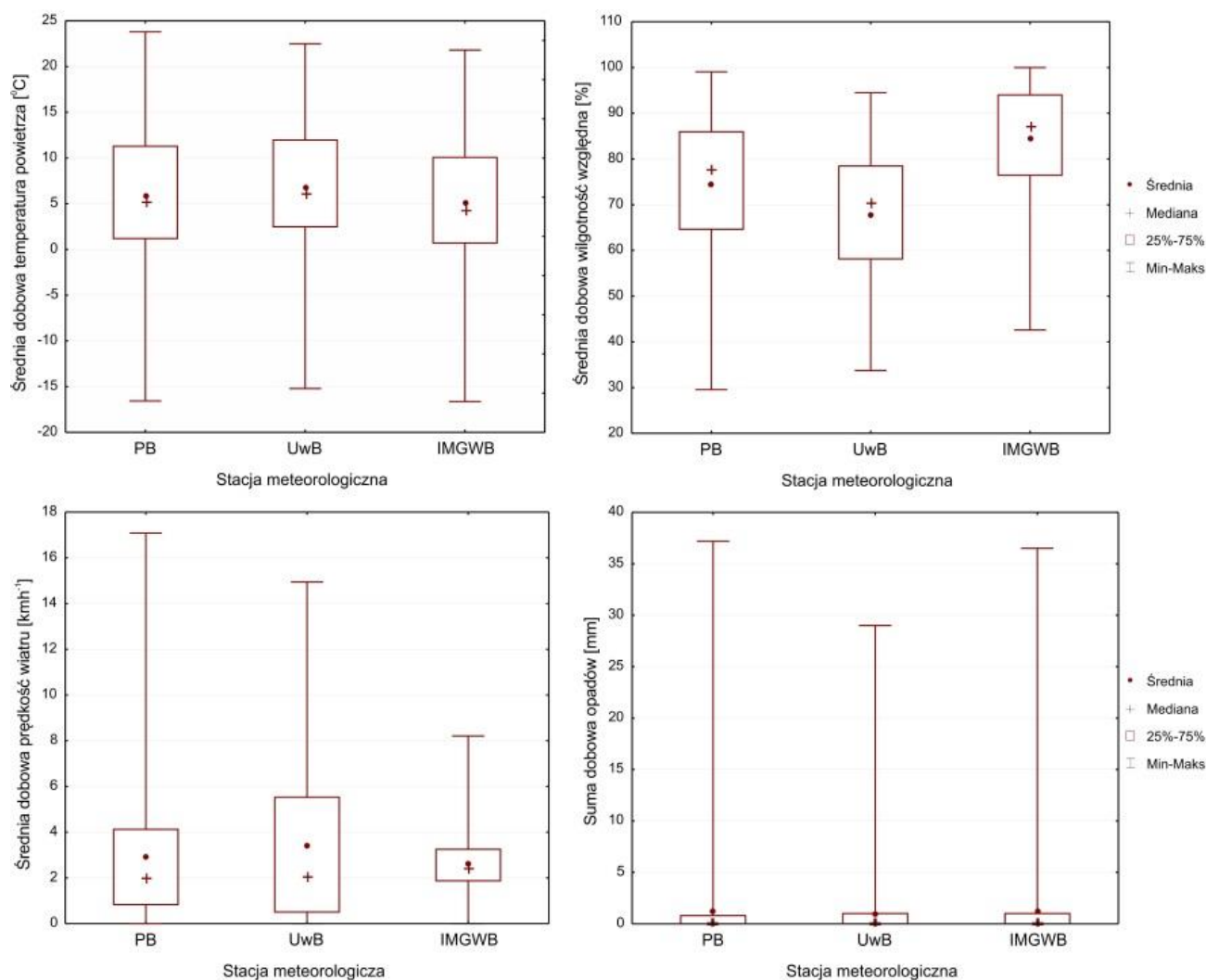
Rys. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych: 1 – Politechnika Białostocka, 2 – Uniwersytet w Białymstoku, 3 – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku (na podstawie mapy <http://mapy.geoportal.gov.pl>)



Analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu komputerowego Statistica v.12. Do badania normalności rozkładu zmiennych oraz normalności reszt w regresji liniowej zastosowano test Shapiro-Wilka. Prawie wszystkie badane zmienne nie posiadały rozkładu normalnego ( $p = 0,05$ ), dlatego do porównania istotnych różnic między nimi zastosowano test nieparametryczny Kruskala-Wallisa. Rozkładem normalnym charakteryzowały się jedynie średnie miesięczne temperatury powietrza, z tego powodu porównano je testem parametrycznym jednoczynnikowa ANOVA. Dodatkowo obliczono współczynniki korelacji rang Spearmana  $r_s$  oraz opracowano modele regresji liniowej ( $p = 0,05$ ). Różne wiatru porównano jedynie graficznie.

### 3. Wyniki i dyskusja

Podstawowe statystyki i wykresy ramkowe danych dobowych, obliczonych dla trzech analizowanych stacji, wskazują przeważnie na znaczne różnice między nimi (rys. 2). Szczególnie są one widoczne w przypadku wilgotności względnej (średnia dla stacji PB – 74,47%, UwB – 67,86%, IMGWB – 84,36%). Na istotne statystycznie różnice między wszystkimi stacjami jednoznacznie wskazują wyniki testu Kruskala-Wallisa (tab. 1). Zarejestrowane wartości wilgotności powietrza różniły się w dużym stopniu, lecz jednocześnie były bardzo silnie ze sobą skorelowane ( $r_s = 0,9260-0,9646$ , tab. 2), czyli cechowały się identycznym trendem. Na różnice miały głównie wpływ odmienne wysokości zamontowania czujników (PB – 10 m, UwB – 4 m, IMGWB – 1 m), jak również odmienny charakter podłoża i najbliższego otoczenia przyrządów. Wilgotność względna była wyraźnie wyższa w przypadku stacji IMGWB.



Rys. 2. Wykresy ramkowe danych dobowych: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku

Tab. 1. Wartości prawdopodobieństwa dla porównań wielokrotnych w teście Kruskala-Wallisa analizowanych parametrów (test NIR i ANOVA w przypadku średniej miesięcznej temperatury powietrza)

Parametr	Stacja	Dane dobowe			Dane miesięczne		
		PB	UwB	KW	PB	UwB	KW/A
Temperatura powietrza	PB						
	UwB	0,1280		<b>0,0004</b>	0,7225		0,7343
	IMGWB	0,1522	<b>0,0002</b>		0,6689	0,4348	
Wilgotność względna	PB						
	UwB	<b>0,0000</b>		<b>0,0000</b>	0,2005		<b>0,0001</b>
	IMGWB	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>		<b>0,0340</b>	<b>0,0000</b>	
Prędkość wiatru	PB						
	UwB	0,9494		<b>0,0007</b>	1,0000		0,8496
	IMGWB	<b>0,0006</b>	<b>0,0275</b>		1,0000	1,0000	
Opady atmosferyczne	PB						
	UwB	<b>0,0004</b>		<b>0,0000</b>	0,9274		0,2140
	IMGWB	1,0000	<b>0,0001</b>		1,0000	0,2414	

Objaśnienia: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku, KW – test Kruskala-Wallisa, A – test ANOVA, pogrubiono wartości  $p < 0,05$ .

Tab. 2. Współczynniki korelacji rang Spearmana analizowanych parametrów

Parametr	Stacja	Dane dobowe		Dane miesięczne	
		PB	UwB	PB	UwB
Temperatura powietrza	PB	1,0000		1,0000	
	UwB	<b>0,9929</b>	1,0000	<b>0,9979</b>	1,0000
	IMGWB	<b>0,9936</b>	<b>0,9924</b>	<b>0,9979</b>	<b>0,9959</b>
Wilgotność względna	PB	1,0000		1,0000	
	UwB	<b>0,9451</b>	1,0000	<b>0,9897</b>	1,0000
	IMGWB	<b>0,9646</b>	<b>0,9260</b>	<b>0,9794</b>	<b>0,9669</b>
Prędkość wiatru	PB	1,0000		1,0000	
	UwB	<b>0,5803</b>	1,0000	0,3000	1,0000
	IMGWB	<b>0,8212</b>	<b>0,5906</b>	<b>0,8018</b>	-0,0382
Opady atmosferyczne	PB	1,0000		1,0000	
	UwB	<b>0,6870</b>	1,0000	<b>0,7035</b>	1,0000
	IMGWB	<b>0,5978</b>	<b>0,4889</b>	<b>0,9262</b>	<b>0,6088</b>

Objaśnienia: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku, pogrubiono wartości  $p < 0,05$ .

Duże różnice zauważono także w przypadku dobowych wartości prędkości wiatru (średnia dla stacji PB – 2,90 km/h, UwB – 3,41 km/h, IMGWB – 2,62 km/h), a szczególnie dotyczyło to wartości maksymalnych (PB – 17,08 km/h, UwB – 14,94 km/h, IMGWB – 8,21 km/h). Stacja IMGWB, ze względu na lokalizację na otwartym terenie, rejestrowała mniejsze prędkości wiatru, co wynikało z braku zawirowań i efektu tunelowego, jaki tworzy się na obszarach o zagęszczonej zabudowie (Kozuchowski i in., 2013). Różnice potwierdził test Kruskala-Wallisa, choć korelacje były

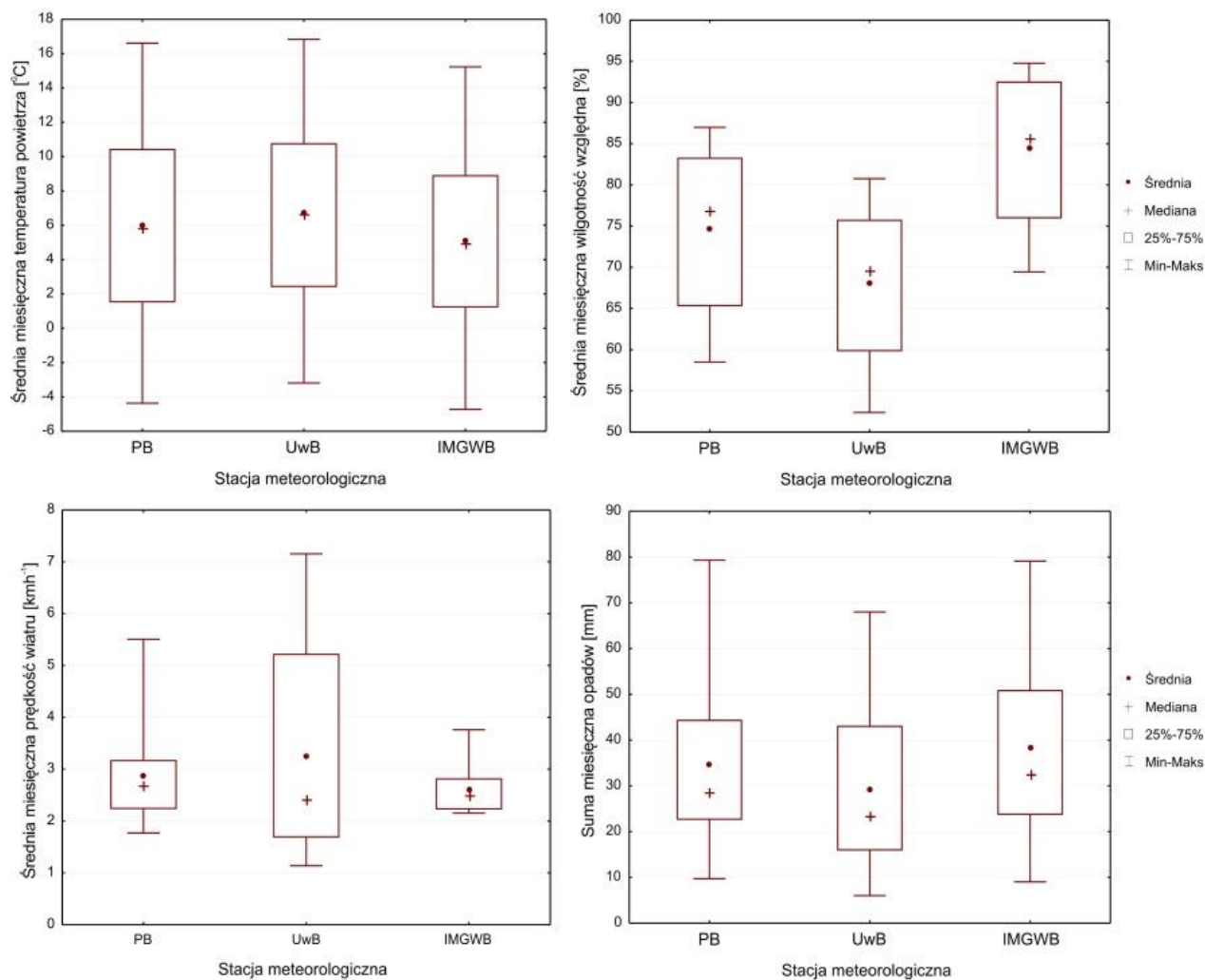
dosyć wysokie ( $r_s = 0,5803-0,8212$ ).

Mniejsze różnice widoczne były w sumach dobowych opadów atmosferycznych (średnia dla stacji PB – 1,16 mm, UwB – 0,99 mm, IMGWB – 1,27 mm). Test porównań wielokrotnych nie wykazał istotnych statystycznie różnic tylko między wskazaniem deszczomierza na stacji PB oraz IMGWB, pomimo tego, że znajdowały się na zupełnie innych wysokościach nad poziomem terenu (PB – 10 m, IMGWB – 1 m). Korelacje między opadami na badanych stacjach należały do średnich ( $r_s = 0,4889-0,6870$ ).

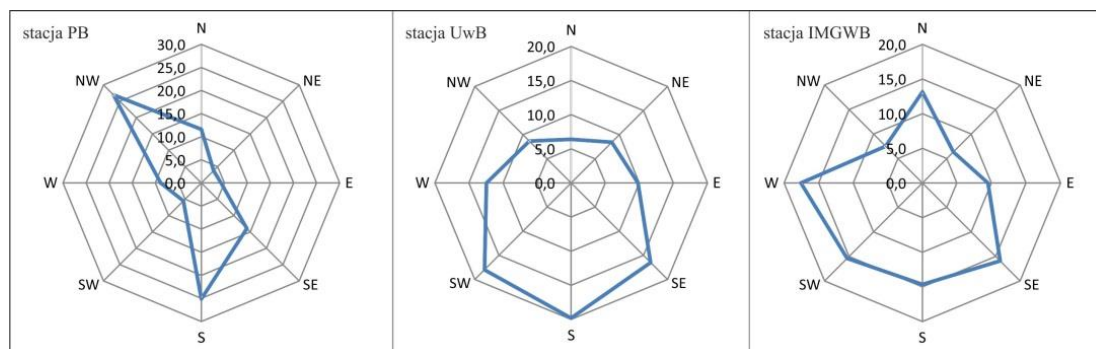
Przy porównaniu danych miesięcznych uzyskano odmienne rezultaty w stosunku do danych dobowych (rys. 3). Jedyne wilgotność względna nadal wykazywała duże różnice w zależności od lokalizacji stacji (średnia dla stacji PB – 76,80%, UwB – 69,56%, IMGWB – 85,65%), co ponownie potwierdziły wyniki testu Kruskala-Wallisa. W przypadku tych analiz nie wykazano istotnych statystycznie różnic w zakresie temperatury powietrza, prędkości wiatru i opadów atmosferycznych. W większości przypadków korelacje między wynikami

na różnych stacjach były zbliżone do korelacji dla danych dobowych.

Analizy wielolecia wskazują na dominację na terenie Białegostoku wiatrów zachodnich (Górniak, 2000). Potwierdza to wykonana róża wiatrów dla stacji IMGWB (udział wiatrów zachodnich 17,6%), pomimo tego, że nie sporządzono jej w cyklu rocznym (rys. 4). Dodatkowo zaznacza się znaczny udział wiatrów południowych (14,6%) i północnych (13,2%).



Rys. 3. Wykresy ramkowe danych miesięcznych: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku

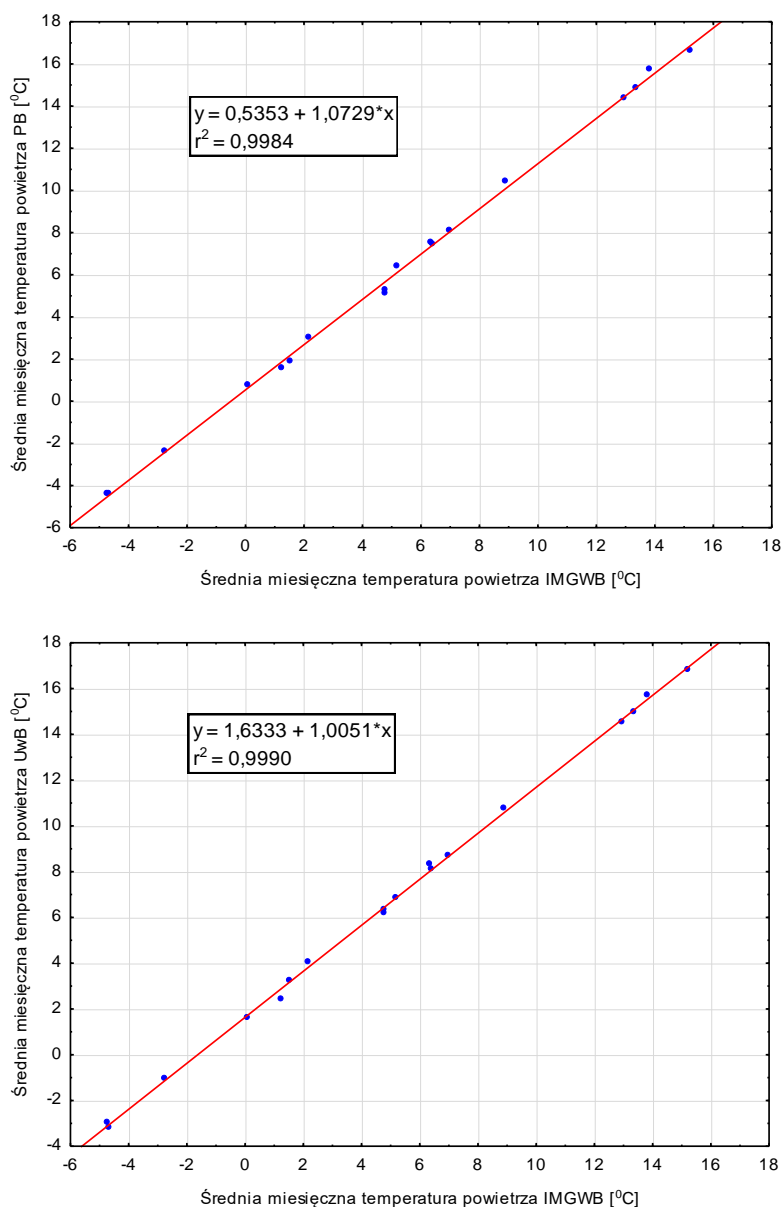


Rys. 4. Róże wiatru dla stacji meteorologicznych: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku

Różne wiatry na badanych stacjach automatycznych znacznie różnią się w stosunku do pomiarów kierunków wiatru wykonanych przez IMGW. W parametrze tym najbardziej uwidaczniają się różnice w umiejscowieniu porównywanych stacji. Można zauważyć wyraźne zmiany kierunku wiatru wynikające z lokalizacji urządzeń pomiarowych na dachach budynków oraz odbić i zawirowań spowodowanych pobliskimi przeszkodami w postaci innych budynków, bądź lasu. Nawet różnice wiatru dwóch stacji ułożonych w niewielkiej odległości od siebie na dachach bardzo się różnią. W przypadku stacji PB zdecydowanie dominują wiatry północno-zachodnie (26,9%) i południowe (25,1%), zaś wiatry zachodnie mają niewielki udział (8,8%). Tworzy się tu wyraźny sztuczny tunel wskazujący na duże zaburzenie naturalnych kierunków wiatru. W przypadku stacji UwB

efekt ten nie występuje. Przeważają tu wiatry południowe (19,8%), zaś północne mają najniższy udział (6,4%). Dość znaczny jest udział wiatrów zachodnich (12,4%) i południowo-zachodnich (18,0%).

Analiza regresji liniowej pozwoliła na wyznaczenie jedynie czterech istotnych statystycznie modeli, przy czym wszystkie dotyczyły tylko danych miesięcznych, a jako zmienne niezależne zostały przyjęte pomiary na stacji IMGWB (rys. 5). Prawie idealne dopasowanie modelu liniowego miało miejsce w przypadku temperatury powietrza (stacja PB  $r^2 = 0,9984$ , stacja UwB  $r^2 = 0,9990$ ). Większe błędy dopasowania uzyskano przy regresji dla prędkości wiatru (stacja PB  $r^2 = 0,8680$ ) i sumy opadów atmosferycznych (stacja UwB  $r^2 = 0,5697$ ).



Rys. 5. Modele regresji liniowej dla miesięcznej temperatury powietrza: PB – Politechnika Białostocka, UwB – Uniwersytet w Białymstoku, IMGWB – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Białymstoku

#### 4. Wnioski

1. Wyniki pomiarów wykonywanych przez profesjonalne automatyczne stacje meteorologiczne montowane na dachach budynków często różnią się w stosunku do pomiarów służby meteorologicznej w przypadku danych krótkookresowych, takich jak dane dobowe. Najbardziej są tu widoczne różnice w metodologii, co szczególnie dotyczy wilgotności względnej powietrza oraz kierunku wiatru.
2. Niektóre ze stacji pogodowych mogą dostarczać danych dobowych dotyczących temperatury powietrza i opadów atmosferycznych porównywalnych z pomiarami służby meteorologicznej.
3. Różnice między pomiarami krótkookresowymi zacierają się przy porównywaniu danych miesięcznych. Szczególnie temperatura powietrza, w mniejszym stopniu także prędkość wiatru i opady atmosferyczne, dla dłuższych okresów czasu nie różnią się w sposób istotny statystycznie w stosunku do pomiarów sieci meteorologicznej, więc mogą być wykorzystywane do podobnych celów. Wyraźne różnice stwierdzono jedynie w przypadku wilgotności względnej i kierunku wiatru.

#### Literatura

- Bell S., Cornford D., Bastin L. (2013). The state of automated amateur weather observations. *Weather*, Vol. 68, Issue 2, 36-41.
- Dane uzyskane z IMGW-PIB. Warszawa.
- Górniak A. (2000). Klimat województwa podlaskiego. *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Oddział w Białymstoku*, Białystok.
- Kajewska-Szkudlarek, J., Rojek, M. (2013). Porównanie średniej dobowej temperatury i wilgotności powietrza mierzonych i obliczanych metodami standardową i automatyczną. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13, 1(41), 59-73.
- Koźuchowski K., Wibig J., Degirmendźić J. (2013). *Meteorologia i klimatologia. Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Lorenc H. (2006). Ocena jakości danych meteorologicznych po wprowadzeniu automatycznych przyrządów rejestrujących na sieci IMGW. *Annales UMCS*, Vol. 61, Nr 30, Sect. B, 256-266.

- Łabędzki, L., Roguski W., Kasperska W. (2001). Ocena pomiarów meteorologicznych prowadzonych stacją automatyczną. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW*, Nr 21, 195-201.
- Łomotowski, J., Rojek, M. (red.). (2001). Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych. *Monografie. Wydawnictwa AR Wrocław*, 25, Nr 428, 87.
- Mete M. (2008). Implementation of Automatic Weather Observing Systems (AWOS) in the mountainous areas. *W: WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observations*, St. Petersburg, Russian Federation, 27-29 November 2008.
- Szwejkowski Z. (1999). Porównanie wyników pomiarów dokonywanych za pomocą klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Folia Universitatis Agriculture Stetinensis*, 201, Agricultura 89, 199-202.

#### COMPATIBILITY OF MEASUREMENTS OF AUTOMATIC WEATHER STATIONS LOCATED ON THE ROOFS OF BUILDINGS AND MEASUREMENTS OF THE IMGW-PIB STATION

**Abstract:** In the study data from two stations mounted on roofs of buildings at the Białystok University of Technology and the University of Białystok, and one station IMGW-PIB located in a slight distance from each other, were compared. Statistical analyses concerned 18 full months (16 for wind direction) from October 2011 until May 2014. Measurements carried out by automatic weather stations mounted on the roofs of buildings often differ in relation to the measurement of meteorological service for short-term, such as daily. Differences in measurement methodology are the most visible for that period, particularly regarding the relative humidity and wind direction. Some weather stations can provide daily air temperature and precipitation comparable to professional ones. The differences between the measurements are blurred when comparing monthly data. Air temperature, wind speed and precipitation for longer periods do not differ in a statistically significant way in relation to the measurement meteorological network, so they can be used for similar purposes. Significant differences were observed only in case of relative humidity and wind direction.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBiŚ/1/14 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.