

*Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński

**Sekcja Pomiarów Meteorologiczno-Hydrologicznych IMGW PB
d.matuszko@uj.edu.pl, radoslaw.nowak@imgw.pl

DOROTA MATUSZKO*, RADOSŁAW NOWAK**

Porównanie wyników pomiarów meteorologicznych wykonanych przyrządami tradycyjnymi i automatycznymi (na przykładzie danych z Krakowa)

Comparison of selected results of meteorological measurements made with traditional
and automatic instruments (according to data from Kraków)

Słowa kluczowe: pomiary meteorologiczne, termometry rtęciowe, heliograf Campbella-Stokesa, psychrometr, deszczomierz Hellmanna, deszczomierze cyfrowe, automatyczne stacje meteorologiczne

Keywords: meteorological measurements, mercury thermometers, Campbell-Stokes sunshine recorder, psychrometer, Hellmann rain gauge, digital rain gauges, automatic weather stations

WPROWADZENIE

Na przełomie XX i XXI wieku znacznie przyspieszył proces automatyzacji w polskiej służbie meteorologicznej. Na stacjach synoptycznych zainstalowano automatyczne stacje meteorologiczne fińskiej firmy Vaisala wraz czujnikami m.in. temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienia powietrza, kierunku i prędkości wiatru. Od 2004 roku dane z przyrządów automatycznych zaczęły być danymi podstawowymi, a przyrządy obsługiwane przez obserwatorów były traktowane jako zapasowe. W styczniu 2014 roku większość przyrządów tradycyjnych na stacjach synoptycznych została wycofana z użytku (w tym termometry rtęciowe) i zastąpiona przyrządami automatycznymi. W wielu wypadkach nie przeprowadzono pomiarów porównawczych i nie wyliczono współczynników korygujących, zatem istnieje obawa, że została zerwana jednorodność serii pomiarowych,

podstawowego warunku wszelkich badań klimatologicznych. Według instrukcji WMO (1983) wyniki pomiarów z nowych przyrządów należy weryfikować przynajmniej przez jeden rok.

Celem niniejszego opracowania jest porównanie wyników pomiarów meteorologicznych wykonanych przyrządami tradycyjnymi i automatycznymi w 2014 roku na stacji naukowej Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie. Porównanie dotyczy wybranych elementów pogody, tj. sumy dobowej usłonecznienia, aktualnej temperatury powietrza w terminie pomiarowym, dobowej temperatury maksymalnej i minimalnej, aktualnej wilgotności względnej powietrza w terminie pomiarowym oraz sumy dobowej opadów atmosferycznych.

W literaturze naukowej niewiele miejsca zajmują zagadnienia związane z metodyką pomiarową i zastępowaniem przyrządów klasycznych urządzeniami automatycznymi. Szczególny wkład w badania metodyczne dotyczące różnic wartości poszczególnych elementów meteorologicznych mierzonych różnymi przyrządami wniósł Zakład Meteorologii i Klimatologii UMCS w Lublinie, organizując cykliczne konferencje naukowe na temat *Problematyki pomiarów i opracowań elementów meteorologicznych*, których pokłosiem były artykuły publikowane w „Annales UMCS” (Filipiak 2001; Rojek i in. 2001; Bartoszek, Skiba 2006; Bil-Knozová, Rožnovský 2006; Budzik, Marszał 2006; Kejna, Uscka-Kowalkowska 2006; Kuśmerek 2006; Lorenc 2006) i w „Przeglądzie Geofizycznym” (Kejna, Uscka-Kowalkowska 2012; Matuszko 2012).

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W opracowaniu wykorzystano dane pochodzące z pomiarów tradycyjnych (klasycznych) i automatycznych wykonywanych na stacji naukowej Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie od 1 stycznia do 31 grudnia 2014 roku. Zgodnie z zaleceniem WMO (1983) badania porównawcze należy prowadzić przynajmniej przez jeden rok. Wyniki pomiarów automatycznych były ustawione na próbkowanie 10-minutowe. Aby ograniczyć różnice wynikające z większej częstotliwości pomiarów oraz odmiennych sposobów uśredniania dokonano porównania z wynikami pomiarów tradycyjnych wykonanych w tym samym terminie pomiarowym. Wartości temperatury powietrza porównano w godzinach: 06, 09, 12, 15, 18 UTC, a wilgotność względną powietrza w godzinach: 06, 12, 18 UTC, usłonecznienie porównano na podstawie sumy dobowej, podobnie opady atmosferyczne, z tym że dokonano tego dla doby opadowej. Różnice policzono wyłącznie dla dni, w których wystąpił opad lub usłonecznienie. Wszystkie obliczenia zostały wykonane w programach Microsoft Excel oraz Statistica 12. Aby porównać wartości otrzymane obydwoma metodami, dla każdego badanego elementu klimatu określono ich współczynniki korelacji. W wypadku braku rozkładu nor-

malnego dokonywano normalizacji danych, tj. skalowania, przekodowania bądź transformacji. W razie nieuzyskania symetrii rozkładu wg testów normalności do dalszych obliczeń wybierano ciąg danych o współczynniku skośności bliższym zeru. Następnie przed obliczeniem korelacji przeprowadzano standaryzację danych. Siłę korelacji określano na podstawie kryterium Stanisza (1998), natomiast współczynniki korygujące obliczano, korzystając z funkcji regresji liniowej.

USŁONECZNIENIE

Pomiar tradycyjny odbywał się za pomocą heliografu Campbella-Stokesa, natomiast pomiar automatyczny przeprowadzono czujnikiem CSD3. Obydwa przyrządy zasadniczo różnią się wyglądem i metodą pomiarową (Matuszko 2012). W tradycyjnym przyrządzie stosowana jest metoda bezpośrednia, optyczna, wykorzystująca do rejestracji energię cieplną promieniowania bezpośredniego Słońca. Natomiast w czujniku automatycznym stosuje się metodę pośrednią, różnicową, opartą na pomiarze różnicy promieniowania całkowitego i rozproszonego. Najważniejszą różnicą między tradycyjnym heliografem a czujnikiem CSD3 jest próg zadziałania przyrządu. W literaturze podawane są różne wartości progowe heliografu Campbella-Stokesa: 70–280 Wm⁻² (Bider 1958, Baumgartner 1979), 106–285 Wm⁻² (Painter 1981). W Polsce przyjmuje się za Kuczmariskim (1990), że heliograf Campbella-Stokesa zaczyna notować usłonecznienie dopiero od momentu, w którym natężenie promieniowania słonecznego przekracza lub jest równe 279,2 Wm⁻². W czujnikach elektronicznych próg czułości ustawiony jest na wartość 120 Wm⁻².

Tab. 1. Statystyki opisowe wyników pomiarów usłonecznienia (w godzinach)

Tab. 1. Descriptive statistics of sunshine duration measurement results (in hours)

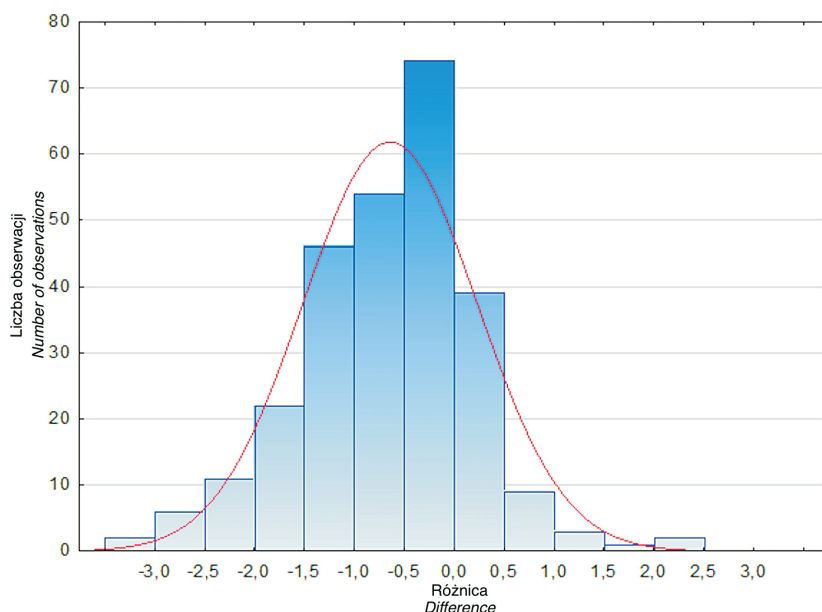
Pomiar <i>Measurement</i>	Liczba dni <i>Number of days</i>	% dni <i>% days</i>	Suma <i>Sum</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
Klasyczny <i>Traditional</i>	287	78,9	1594	5,6	4,9	0,0	14,7
Automatyczny <i>Automatic</i>	302	83,0	1772	5,9	5,3	0,0	15,1

Z danych z 2014 roku zawartych w tabeli 1. wynika, iż czujnik automatyczny zarejestrował 15 dni więcej z usłonecznieniem, wyższe średnie usłonecznienie oraz wyższą medianę niż tradycyjny heliograf Campbella-Stokesa. Wartości minimalne w obydwu pomiarach oznaczają usłonecznienie śladowe, natomiast wyższa wartość maksymalna została zarejestrowana automatycznie (usłonecznienie o 0,4

godziny wyższe). Według pomiaru automatycznego roczna suma usłonecznienia wyniosła o 178 godzin więcej niż wg pomiarów heliografem.

Tab. 2. Liczba przypadków kierunków odchyłeń wyników pomiarów usłonecznienia (U)
 Tab. 2. The number of trends of deviations of sunshine duration (U) measurements

Odchylenie <i>Deviation</i>	U wyższe w pomiarze klas. <i>U higher in trad. measur.</i>	U wyższe w pomiarze aut. <i>U higher in autom. measur.</i>	U takie samo <i>U equal</i>
N przypadków <i>N cases</i>	54	215	18



Ryc. 1. Histogram odchyłeń wyników pomiaru usłonecznienia (h) między metodami (<0 – wyższe U pomiarem automatycznym, >0 – wyższe U pomiarem klasycznym)

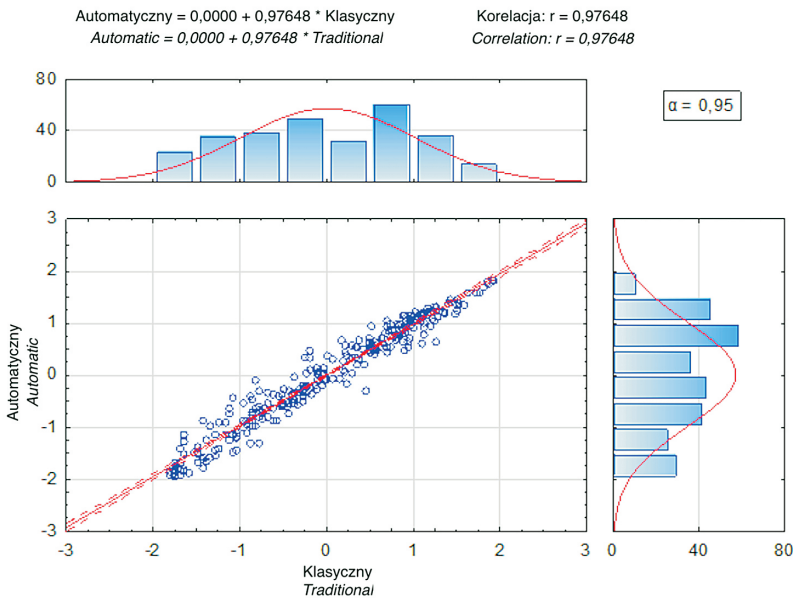
Fig. 1. Histogram of deviations of sunshine duration (h) measurements between the methods (<0 – higher U, automatic measurement; >0 – higher U, traditional measurement)

W 75% dni w roku wartości usłonecznienia były wyższe w pomiarze automatycznym (tab. 2). Zdarzały się jednak (19% dni) wyższe wartości zanotowane heliografem Campbella-Stokesa, natomiast takie same wartości (z dokładnością do 0,1 h) odnotowano w 6% dni w badanym roku.

Najwięcej przypadków odchyłeń (74) wystąpiło w przedziale do 0,5 h na korzyść pomiaru automatycznego (ryc. 1). W kolejnych przedziałach częstość sukcesywnie spada. Największe odchylenie, w którym pomiar automatyczny wykazał wyższą wartość, wyniosło 3,5 godziny. Spośród 54 przypadków wyższego

usłonecznienia zmierzonego heliografem, 39 zawiera się w przedziale odchylenia 0,5 h względem pomiaru automatycznego, natomiast największe odchylenie wyniosło 2,4 godziny. Średnie odchylenie wyniosło -0,7 h. W histogramie (ryc. 1) nie zawarto przypadków, w których zmierzone usłonecznienie było w obydwu metodach takie samo.

Korelacja między wynikami pomiarów tradycyjnych i automatycznych jest istotna statystycznie. Jest to korelacja niemal pełna wg kryterium Stanisza (1998). Przedstawiona na rycinie 2. formuła korygująca teoretycznie pozwala na homogenizację danych klasycznych i automatycznych, jednakże ze względu na duże różnice między pomiarami w określonych warunkach zachmurzenia powinno się dalej prowadzić pomiary porównawcze obydwoma metodami.



Ryc. 2. Współczynnik korelacji wyników pomiarów U oraz histogramy danych w obydwu metodach pomiarowych

Fig. 2. The correlation coefficient of U measurements and histogram data for both measurement methods

Uzyskane rezultaty potwierdzają wyniki badań Kejny i Uskiej-Kowalkowskiej (2006, 2012) oraz Matuszko (2012, 2015). Podobnie jak w wyżej wymienionych pracach, urządzenie automatyczne zarejestrowało znacznie wyższe sumy roczne usłonecznienia. Ponadto uzyskano podobne wartości średnich miesięcznych odchyżeń. Największe odchylenia na korzyść pomiaru automatycznego występowały w miesiącach o największym dopływie promieniowania słonecznego, najmniejsze w miesiącach zimowych.

TEMPERATURA POWIETRZA

Pomiar aktualnej temperatury powietrza metodą tradycyjną dokonywany jest przez obserwatora jako odczyt wartości temperatury z termometru suchego w psychrometrze wentylowanym, natomiast automatycznie wartość temperatury rejestrowana jest przez czujnik zespolony HMP-45D firmy Vaisala. Pomiary z tego urządzenia to wartości chwilowe, zmierzone w momencie zapisu (rozdzielczość 10-minutowa). Opisane powyżej przyrządy znajdują się w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m n.p.g. w ogródku meteorologicznym.

Tab. 3. Statystyki opisowe pomiarów temperatury powietrza (°C)
 Tab. 3. Descriptive statistics of air temperature (°C) measurements

Pomiar <i>Measurement</i>	N Ważnych <i>N valid</i>	% Ważnych <i>% valid</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
Klasyczny <i>Traditional</i>	1825	100,0	11,9	12,0	-12,9	32,9
Automatyczny <i>Automatic</i>	1813	99,3	11,8	12,1	-13,2	33,0

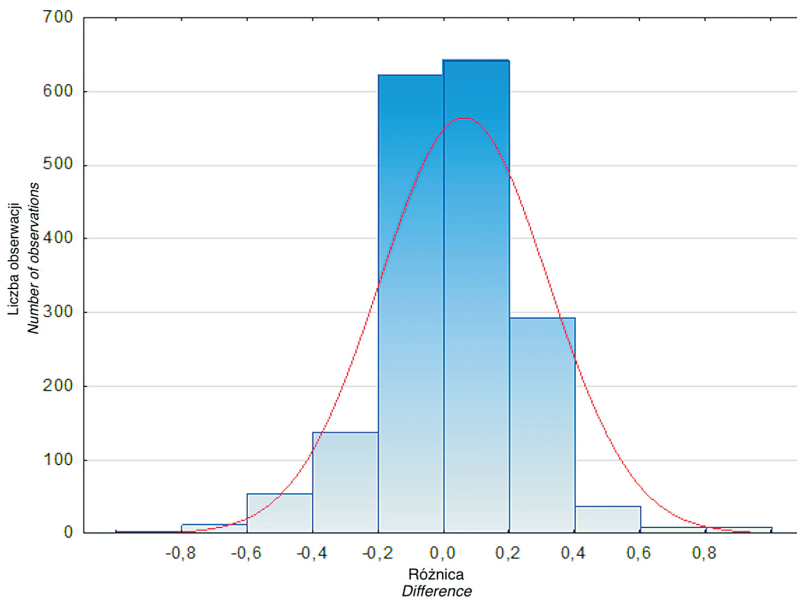
W badaniu wykorzystano wyniki pomiarów wykonywanych pięć razy w ciągu doby przez 365 dni w 2014 roku w terminach 06, 09, 12, 15, 18 UTC, co daje 1825 wartości. Jak można zauważyć w tabeli 3., spośród automatycznych danych pomiarowych brakuje 12 wartości prawdopodobnie z powodu awarii bądź braku prądu. Klasyczne dane pomiarowe z terminów, w których nie zarejestrowano pomiarów automatycznych, nie były brane pod uwagę w dalszych rozważaniach. Uzyskane wartości temperatury średniej oraz mediany nie różnią się istotnie między metodami pomiarowymi (różnica 0,1°C), aczkolwiek kierunek odchylenia jest inny dla obydwu metod. Wyższa temperatura średnia uzyskana została pomiarem klasycznym, natomiast mediana ma większą wartość przy metodzie automatycznej.

Tab. 4. Liczba przypadków (N) kierunków odchylenia pomiaru temperatury powietrza (T)
 Tab. 4. The number (N) of trends of deviations of air temperature (T) measurements

Odchylenie <i>Deviation</i>	T wyższa w pomiarze klas. <i>T higher in trad. measur.</i>	T wyższa w pomiarze aut. <i>T higher in autom. measur.</i>	T taka sama <i>T equal</i>
N przypadków <i>N cases</i>	987	525	301

Z tabeli 4. wynika, iż w 54% przypadków termometr rtęciowy wskazywał wyższe wartości. Przyrząd automatyczny wskazywał wyższą temperaturę w 29% pomiarów. Takie same wartości zostały odnotowane w 17% przypadków.

Na podstawie histogramu przedstawionego na rycinie 3. można zauważyć, iż w ponad 2/3 pomiarów odchylenia zawarte były w granicach $0,2^{\circ}\text{C}$. Stosunkowo często wystąpiły odchylenia w granicach $0,2-0,4^{\circ}\text{C}$ na korzyść termometru rtęciowego (prawie 300). Wartości zmierzonej temperatury o jednakowych wartościach w obydwu pomiarach zostały w histogramie zaklasyfikowane do przedziału $-0,2-0,0^{\circ}\text{C}$, w celu zaznaczenia dużej liczby pomiarów, w których zmierzone wartości były takie same lub różniły się minimalnie.

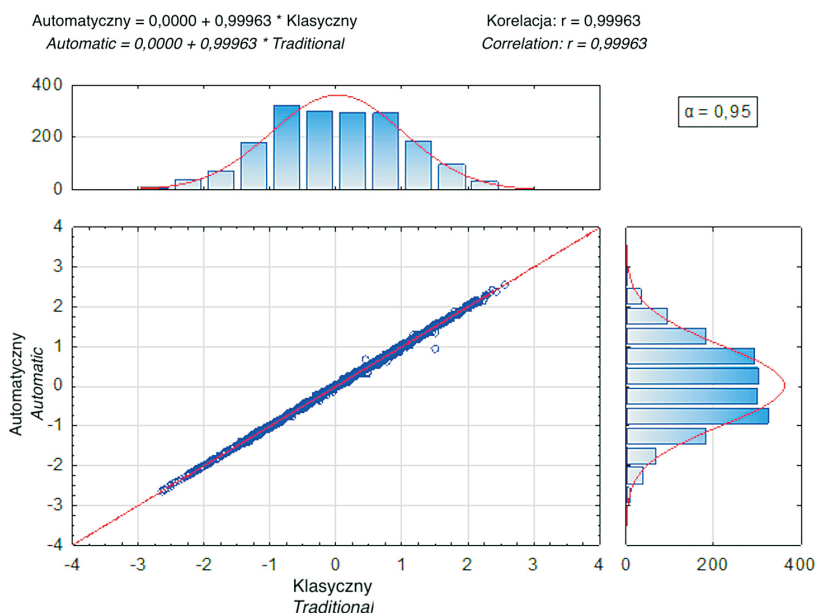


Ryc. 3. Histogram odchyień pomiarów temperatury ($^{\circ}\text{C}$) (<0 – wyższa T pomiarem automatycznym, >0 – wyższa T pomiarem klasycznym)

Fig. 3. Histogram of deviations of temperature ($^{\circ}\text{C}$) measurements (<0 – higher T, automatic measurement; >0 – higher T, traditional measurement)

Współczynnik korelacji między metodami wyniósł 0,9996 (ryc. 4). Jest to korelacja niemal pełna wg kryterium Stanisza (1998) oraz istotna statystycznie. Oznacza to, że po wprowadzeniu współczynnika korygującego (ryc. 4) istnieje możliwość zastąpienia pomiaru klasycznego przez automatyczny, przy zachowaniu jednorodności serii. Pojedyncze odchylenia, które mogą osiągać wartości przekraczające $1,0^{\circ}\text{C}$, wynikają najczęściej z błędów obserwatora oraz różnego czasu odczytu termometru przez niego i rejestracji temperatury przez automat.

Uzyskane wyniki porównania między metodami ukazują bardzo dużą zgodność. Wszelkie średnie wartości różnią się od siebie w niewielkim stopniu. W badaniach innych autorów (Rojek i in. 2001; Łabędzki i in. 2001; Kejna i Uscka-Kowalkowska 2006; Kajewska i Rojek 2009; Kajewska 2011; Kajewska-Szkudlarek



Ryc. 4. Współczynnik korelacji pomiarów T oraz histogramy danych w obydwu metodach pomiarowych

Fig. 4. The correlation coefficient of T measurements and histogram data for both measurement methods

i Rojek 2013) pomiar klasyczny dawał wyraźnie wyższe wartości niż pomiar automatyczny. Prawdopodobnie jest to związane z innymi metodami próbkowania i uśredniania danych. Należy zaznaczyć, że wymienione badania innych autorów dotyczyły średnich dobowych, dekadowych, miesięcznych lub rocznych, a nie jak w niniejszym opracowaniu chwilowych danych z poszczególnych terminów pomiarowych.

Do porównania wartości temperatury maksymalnej i minimalnej zmierzonej różnymi metodami skorzystano z danych odczytanych przez obserwatora z termometrów maksymalnego i minimalnego umieszczonych w klatce meteorologicznej oraz na podstawie najwyższej i najniższej wartości temperatury powietrza zarejestrowanej każdego dnia (rozdzielczość 10-minutowa) przez urządzenie automatyczne. Wartości ekstremalne mierzone są przez obserwatora o godzinie 18 UTC i odpowiadają dobie termicznej. Na potrzeby niniejszego porównania w podobny sposób zostały wykorzystane wartości pomiaru automatycznego, tj. zakres danych dla danego dnia pochodzi od godziny 18:10 UTC dnia poprzedniego do 18:00 UTC danego dnia.

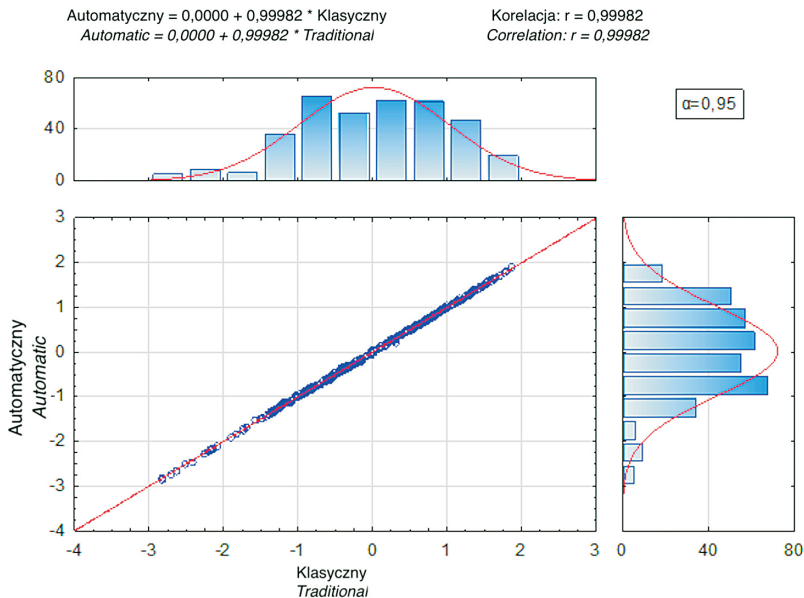
Porównano wartości ekstremalne dla 362 dni w 2014 roku. Termometry klasyczne wskazywały średnio takie same wartości, jak pomiar automatyczny tempe-

ratury minimalnej oraz o 0,1°C więcej w przypadku pomiarów temperatury maksymalnej (tab. 5). Mediana dla temperatury minimalnej wyniosła 7,0°C w obydwu metodach, natomiast dla temperatury maksymalnej o 0,2°C więcej w pomiarze

Tab. 5. Statystyki opisowe pomiarów wartości temperatur ekstremalnych (°C)
Tab. 5. Descriptive statistics of extreme temperatures (°C) measurements

Statystyki Statistics	Min klas. Min trad.	Min aut. Min aut.	Max klas. Max trad.	Max aut. Max aut.
Średnia Mean	6,6	6,6	15,6	15,5
Mediana Median	7,0	7,0	16,4	16,2
Wartości najniższe Lowest values	-13,2	-13,5	-10,1	-10,6
Wartości najwyższe Highest values	19,7	20,0	33,3	33,5

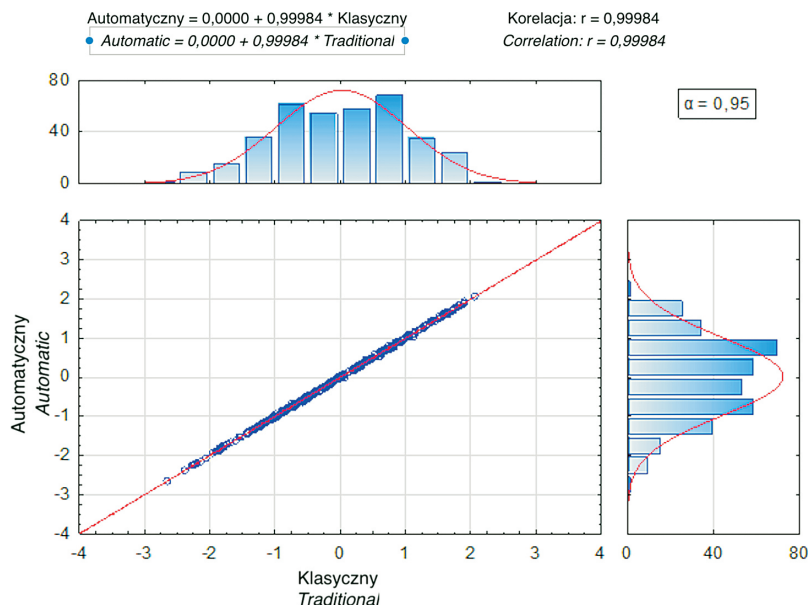
klasycznym. Absolutne temperatury ekstremalne nie różnią się znacznie między pomiarami, aczkolwiek zaznaczają się wyższe wartości najwyższe i niższe wartości najniższe w pomiarze automatycznym.



Ryc. 5. Współczynnik korelacji pomiarów T min oraz histogramy danych w obydwu metodach pomiarowych

Fig. 5. The correlation coefficient of T min measurements and histogram data for both measurement methods

Korelacja wartości temperatury minimalnej jest istotna statystycznie. Dla przedziału ufności 95% wyniosła 0,9998 (ryc. 5). Jest to korelacja niemal pełna, co oznacza, iż pomiar klasyczny może być zastąpiony przez automatyczny.



Ryc. 6. Współczynnik korelacji pomiarów T max oraz histogramy danych w obydwu metodach pomiarowych

Fig. 6. The correlation coefficient of T max measurements and histogram data for both measurement methods

Korelacja wartości temperatury maksymalnej również jest istotna statystycznie (ryc. 6) oraz niemal pełna (0,9998). Stąd również w przypadku temperatury maksymalnej pomiar automatyczny może zastąpić pomiary klasyczne.

Pomiary temperatury minimalnej i maksymalnej spełniają kryteria określone przez Lorenc (2006), co oznacza, że serie są jednorodne. W odniesieniu do temperatury minimalnej w przedziale do 1,0°C odchylenia zawarte było 100% przypadków, w znacznie mniejszym przedziale do 0,2°C – 89%. Z kolei co do temperatury maksymalnej w wymienionych przedziałach zawarte było odpowiednio: 100% i 70% przypadków.

WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA POWIETRZA

Wilgotność względna powietrza była wyznaczana metodą tradycyjną przez odczyt termometru suchego i wilgotnego, natomiast automatycznie pomiar doko-

nywany jest sondą HMP45 produkcji Vaisala. Elementem pomiarowym w tym przyrządzie jest czujnik pojemnościowy (elektrody i polimery), który z powodu wrażliwości na zanieczyszczenia osłonięto filtrem. Osłona ta przyczynia się do przedłużenia żywotności miernika, ale równocześnie wydłuża czas reakcji czujnika na zmianę wilgotności, co jest podstawową wadą tego przyrządu. Bezwładność miernika jest widoczna zwłaszcza w sytuacjach gwałtownego wzrostu bądź spadku wilgotności.

Tab. 6. Statystyki opisowe pomiarów wilgotności względnej powietrza (%)

Tab. 6. Descriptive statistics of relative air humidity (%) measurements

Pomiar <i>Measurement</i>	N Ważnych <i>N valid</i>	% Ważnych <i>% valid</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
Klasyczny <i>Traditional</i>	1095	100,0	73,7	77,0	15,0	100,0
Automatyczny <i>Automatic</i>	1086	99,2	70,4	75,0	13,0	95,0

W 2014 roku wystąpiło 9 przypadków braku danych automatycznych. Średnia zmierzona wartość wilgotności względnej powietrza była wyższa w pomiarze klasycznym o 3,3% niż w automatycznym (tab. 6). Również mediana jest wyższa o 2% w pomiarze klasycznym. Absolutna wartość minimalna zmierzona psychrometrem wyniosła 15%, a więc o 2% więcej niż w pomiarze automatycznym. Wartość maksymalna zmierzona automatycznie wyniosła 95%, a nie 100%, co jest ewidentnym błędem i świadczy o złym skalibrowaniu przyrządu. Z tego powodu zrezygnowano z dalszej analizy wyników pomiarów wilgotności względnej. Po wykonaniu kalibracji konieczne jest przeprowadzenie kolejnych badań porównawczych.

Badania Kejny i Uskiej-Kowalkowskiej (2006) wskazują także na różnice (4–5%) w wartościach wilgotności względnej wyznaczonej różnymi metodami. Największe odchylenia (około 6%) występują w cieplej połowie roku, w terminie wieczornym. IMGW nie opublikował wyników badań porównawczych.

OPADY ATMOSFERYCZNE

Pomiary opadów atmosferycznych w Krakowie dokonywane są za pomocą deszczomierza Hellmanna oraz dwóch urządzeń automatycznych typu TPG-034-H230 firmy A-STER. Wszystkie deszczomierze mają tę samą wysokość oraz powierzchnię wlewu (200 cm²). Pomiar klasyczny odbywa się o godzinie 06 UTC i stanowi sumę opadu za poprzednią dobę, natomiast pomiar automa-

tyczny stanowi sumę opadu z okresów pomiarowych (10-min). W obu wypadkach uwzględniono taki sam czas doby opadowej.

W 2014 roku każdy z deszczomierzy pokazał inną liczbę dni z opadem (tab. 7), deszczomierz Hellmanna największą, natomiast wskazania Automatu 1 i Automatu 2 były mniejsze i także różniły się od siebie.

Tab. 7. Statystyki opisowe pomiarów opadów atmosferycznych (mm)

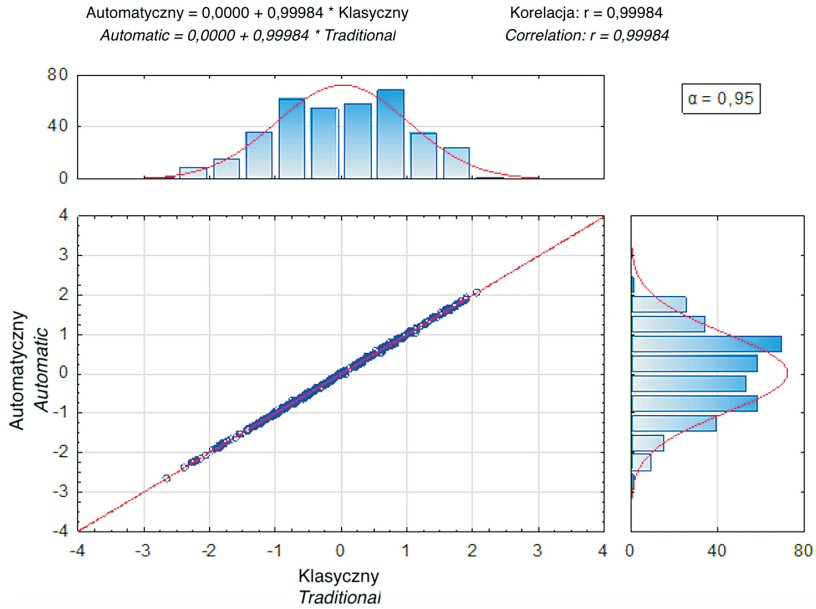
Tab. 7. Descriptive statistics of precipitation measurements (mm)

Pomiar <i>Measurement</i>	Liczba dni <i>No. of days</i>	Suma <i>Sum</i>	Średnia <i>Mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
Klasyczny <i>Traditional</i>	198	733,0	4,4	1,8	0,0	56,1
Automatyczny 1 <i>Automatic 1</i>	159	637,8	3,8	1,7	0,0	46,3
Automatyczny 2 <i>Automatic 2</i>	167	624,1	3,8	1,6	0,0	41,9

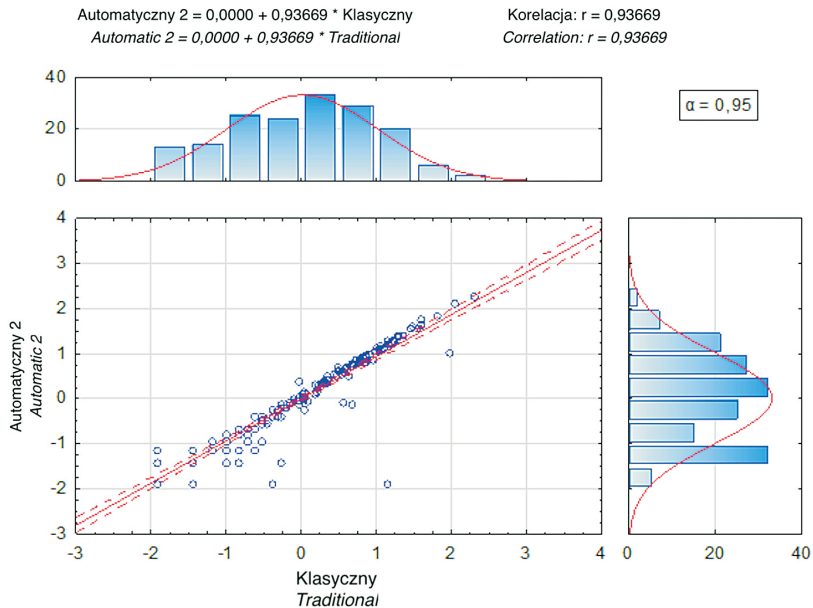
Roczna suma opadów była najwyższa w pomiarze klasycznym (tab. 7). Pierwsze urządzenie automatycznie zmierzyło opad niższy o 13%, natomiast drugie o 15%. Średnia wartość opadu wyniosła według pomiaru klasycznego – 4,4 mm, wg pomiarów automatycznych – 3,8 mm. Mediana wyniosła 1,8 mm w przypadku pomiaru klasycznego, 1,7 mm w pomiarze Automatem 1 i 1,6 mm w pomiarze Automatem 2. Maksymalna dobową sumą opadu dla każdego urządzenia wystąpiła tego samego dnia (09.07.2014). Pomiar klasyczny wykazał wówczas 56,1 mm opadu, Automat 1 zarejestrował opad mniejszy o 9,8 mm, a Automat 2 o 14,2 mm.

Największe różnice w wielkości opadów zmierzonych różnymi przyrządami związane są z dużymi sumami dobowymi. Wraz z intensywnością opadu rosną odchylenia między pomiarami (także między pomiarami automatycznymi). Największa różnica między pomiarem klasycznym i Automatem 2 wyniosła aż 27,4 mm, dnia 28.05.2014. Analizując przebieg opadów z obydwu urządzeń automatycznych, można zauważyć, że Automat 2 rejestrował opady, aczkolwiek jego wartości były znacznie zaniżone w stosunku do Automatu 1. Prawdopodobnie tak duże różnice między pomiarami są spowodowane „zatykaniem” korytkowych urządzeń automatycznych przy intensywnym opadzie oraz przez czynniki losowe, np. zablokowanie wlewu przez owady.

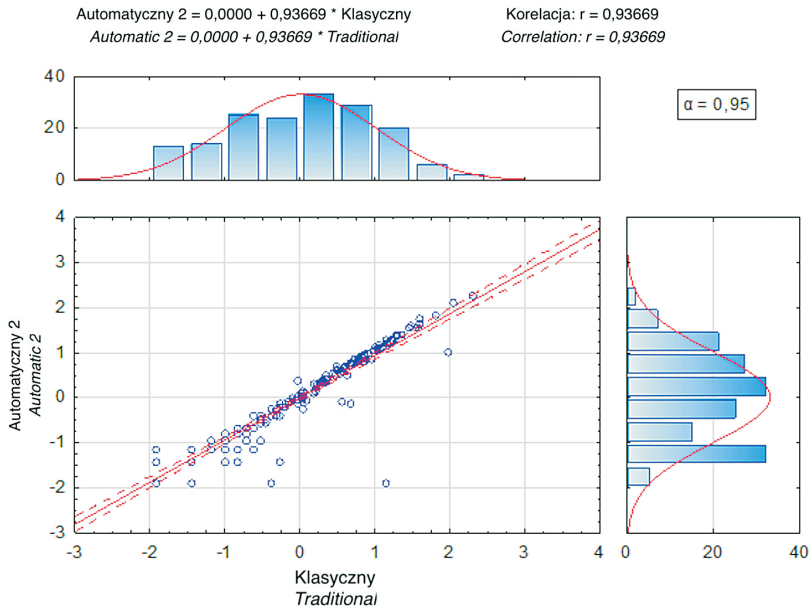
Korelacja między wynikami pomiarów jest istotna statystycznie i niemal pełna według klasyfikacji Stanisza (1998) (ryc. 7–9). Najsilniejsza wzajemna relacja występuje między pomiarami automatycznymi i wynosi prawie 98% (ryc. 9). Pomiar klasyczny ma nieco większą korelację z pomiarem automatycznym 1 (prawie 95%) niż z pomiarem automatycznym 2 (ok. 94%).



Ryc. 7. Współczynnik korelacji pomiarów O (klas. i Aut.1) oraz histogramy danych
 Fig. 7. The correlation coefficient of O measurements (traditional and Auto 1) and histogram data



Ryc. 8. Współczynnik korelacji pomiarów O (klas. i Aut.2) oraz histogramy danych
 Fig. 8. The correlation coefficient of O measurements (traditional and Auto 2) and histogram data



Ryc. 9. Współczynnik korelacji pomiarów O (Aut.1 i Aut. 2) oraz histogramy danych
 Fig. 9. The correlation coefficient of O measurements (Auto 1 and Auto 2) and histogram data

Jednak w określonych warunkach atmosferycznych oraz sytuacjach losowych (mających wpływ zwłaszcza na funkcjonowanie urządzeń automatycznych) występują znaczne różnice w wartościach sum opadów mierzonych tradycyjnym deszczomierzem i przyrządami automatycznymi.

Przy analizie wieloletniej zmienności opadów warto pamiętać, że w Polsce do końca 2013 roku podstawowym przyrządem w zakresie pomiarów sumy opadów był deszczomierz Hellmanna. Od stycznia 2014 roku na stacjach synoptycznych obsługiwanych przez obserwatorów przyrządem podstawowym jest deszczomierz automatyczny, ale tylko dla opadów w formie ciekłej. Natomiast dla opadów w formie stałej przyrządem podstawowym wciąż jest deszczomierz Hellmanna. Na stacjach całkowicie zautomatyzowanych suma opadów mierzona jest deszczomierzem automatycznym, a w sobotę i niedzielę na tych stacjach brak jest kontroli obserwatora. Obecnie wykorzystywane deszczomierze automatyczne to przyrządy korytkowo-wywrotowe niemieckiej firmy SEBA lub polskiej firmy A-STER. Urządzenia te są wyposażone w mechanizm grzewczy, który umożliwia roztopianie opadów w formie stałej i ich pomiar. Opcja ta jednak w okresie zimowym wpływa na znaczne niedoszacowanie sum opadów, zwłaszcza przy opadach o natężeniu słabym wskutek zwiększonego parowania. Przeciętnie deszczomierz

firmy ASTER wskazuje zaledwie 70–90% sumy deszczomierza Hellmanna i to pomimo kilkukrotnych kalibracji i bieżącej kontroli drożności przyrządu.

Badania porównawcze prowadzone przez trzy zespoły badawcze z IMGW wykazały:

1. Filipiak (2001) – dobra zgodność sum opadów atmosferycznych (dotyczy wyłącznie półrocza ciepłego), szczególnie w przypadku opadów o natężeniu średnim i silnym; najmniejsza dokładność dotyczy opadów o słabym natężeniu, przy opadach bardzo słabych (mżawka) często brak rejestracji opadów; występują trudne do oceny straty opadu na parowanie opadu zalegającego w korytku pomiarowym;
2. Lorenc (2006) – dobowe, miesięczne i roczne sumy opadów nie spełniają kryteriów jednorodności, seria opadów ma zerwaną homogeniczność; różnice są wielokierunkowe, najczęściej deszczomierze automatyczne zaniżają sumę opadów (72–97% rocznej sumy opadów zmierzonych deszczomierzem Hellmanna);
3. Wójcik i in. (2010) – występują istotne różnice między wskazaniami obu przyrządów, co zrywa jednorodność wieloletnich sum opadów; średnio deszczomierze automatyczne rejestrują o 10–15% mniejszą sumę opadów niż deszczomierz tradycyjny (do 30% przy opadach do 2 mm oraz do 10% przy opadach powyżej 10 mm); w sumach rocznych różnice mogą przekraczać nawet 100 mm.

WNIOSKI

1. Ze statystycznego punktu widzenia analizowane serie danych z pomiarów klasycznych i automatycznych wykazują silną korelację, jednak porównanie wartości z konkretnych terminów pomiarowych pokazuje duże różnice.
2. Porównanie wyników pomiarów usłonecznienia, wilgotności względnej i opadów atmosferycznych pokazuje duże, wielokierunkowe różnice w wartościach i wskazuje na zerwanie jednorodności serii.
3. Jedynie wyniki pomiarów temperatury powietrza są zgodne, zatem tradycyjne termometry mogą być zastąpione czujnikami automatycznymi.

KONKLUZJA

Automatyzacja pomiarów meteorologicznych jest nieunikniona, lecz mimo zalet, jakie niosą za sobą pomiary automatyczne, nie powinno się rezygnować z pomiarów tradycyjnych. Pomiar cyfrowy jest precyzyjny, obiektywny, zapew-

nia łatwy dostęp do danych i ich dalszej interpretacji, ale jest awaryjny i metody klasyczne stanowią zabezpieczenie na wypadek braku rejestracji automatycznej.

W badaniach wieloletnich zmian klimatu zastąpienie klasycznych przyrządów czujnikami automatycznymi bez przeprowadzenia badań porównawczych może prowadzić do błędnej interpretacji wyników i sugerować np. wzrost usłonecznienia bądź spadek sum opadów.

Aby zapewnić porównywalność danych tradycyjnych i automatycznych, wskazane jest dublowanie czujników oraz prowadzenie okresowych kontroli porównawczych, konieczna jest kalibracja przyrządów i ciągła weryfikacja danych oraz dalsze badania porównawcze i wprowadzanie współczynników korygujących.

LITERATURA

- Bartoszek K., Skiba K., 2006: *Wpływ rodzaju termometru i osłony na pomiary temperatury powietrza*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 34–38.
- Baumgartner T., 1979: *Die Schwellenintensität des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes an wolkenlosen Tagen*, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, No. 84, Zurich.
- Bider M., 1958: *Über die Genauigkeit der Registrierungen des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes*, Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Volume 9, No. 2, 199–230.
- Bil-Knozová G., Rožnovský J., 2006: *Comparison of a series of air temperature and relative air humidity measured using Hobo and AMS sensors and conventional methods*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 72–81.
- Budzik T., Marszał M., 2006: *Porównanie temperatury powietrza w klatce meteorologicznej i osłonie antyradiacyjnej na przykładzie pomiarów w Sosnowcu w 2003 roku*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 107–115.
- Filipiak J., 2001: *Problem dokładności serii opadowych w aspekcie instalacji cyfrowych deszczomierzy rejestrujących*, Annales UMCS, Sec. B, vol. LV/LVI, 145–152.
- Kajewska J., 2011: *Ocena wybranych parametrów agrometeorologicznych mierzonych przyrządami klasycznymi i za pomocą stacji automatycznej*, Rozprawa doktorska, Dostęp: http://www.dbc.wroc.pl/Content/13376/Kajewska_J_doktor_014_DBC.pdf?handler=pdf, data: 29.05.2016.
- Kajewska J., Rojek M., 2009: *Porównanie temperatury powietrza mierzonej przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej w Obserwatorium Wrocław-Swojec*, Acta Agrophysica, 13, 713–723.
- Kajewska-Szkudlarek J., Rojek M., 2013: *Porównanie średniej dobowej temperatury i wilgotności powietrza mierzonych i obliczanych metodami standardową i automatyczną*, Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, IT-P w Falentach, 13, 59–73.
- Kejna M., Uscka-Kowalkowska J., 2006: *Porównanie wyników pomiarów meteorologicznych w Stacji ZMŚP w Koniczynie (Pojezierze Chełmińskie) wykonanych metodą tradycyjną i automatyczną w roku hydrologicznym 2002*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 208–217.
- Kejna M., Uscka-Kowalkowska J., 2012: *Porównanie wyników rejestracji usłonecznienia heliografem Campbella-Stokesa i czujnikiem świecenia Słońca DSU-12 w Koniczynie k. Torunia w latach 2006–2010*, Przegląd Geofizyczny, 62, 11–20.
- Kuczmarowski M., 1990: *Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii*, Dokumentacja Geograficzna, 4, 67.

- Kuśmirek R., 2006: *Porównanie wyników pomiarów promieniowania całkowitego metodą pośrednią i automatyczną*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 250–255.
- Lorenc H., 2006: *Ocena jakości danych meteorologicznych po wprowadzeniu automatycznych przyrządów rejestrujących na sieci IMGW*, Annales UMCS, Sec. B, LXI, 256–266.
- Łabędzki L., Rogulski W., Kasperska W., 2001: *Ocena pomiarów meteorologicznych prowadzonych stacją automatyczną*, Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, 21, 195–201.
- Matuszko D., 2012: *Porównanie wartości usłonecznienia mierzonego heliografem Campbella-Stokesa i czujnikiem elektronicznym CSD3*, Przegląd Geofizyczny, LVII, 1, 3–10.
- Matuszko D., 2015: *A comparison of sunshine duration records from the Campbell-Stokes sunshine recorder and CSD3 sunshine duration sensor*, Theoretical and Applied Climatology, 419, 401–406.
- Painter H.E., 1981: *The performance of a Campbell-Stokes sunshine recorder compared with a simultaneous record of normal incidence irradiance*, The Meteorological Magazine, 110, 102–109.
- Rojek M., Rojek M.S., Lomotowski J., 2001: *Porównanie danych meteorologicznych uzyskiwanych przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej*, Annales UMCS, 55/56, 299–307.
- Stanisz A., 1998: *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków.
- Wójcik R., Zębik A., Biernacik D., Miętus M., 2010: *Porównanie rejestracji natężenia i sum dobowych opadów atmosferycznych za pomocą urządzeń tradycyjnych i elektronicznych, Metody kontroli jakości dla polskiej Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej*, t. 6, IMGW, Warszawa.
- WMO, 1983: *Guide to Climatological Practices*. Geneva.

SUMMARY

Nowadays, at the meteorological stations traditional measurements are often replaced with automatic ones. The main aim of this master thesis is to compare the two measurement methods, according to results of selected meteorological measurements made at the scientific station of the Jagiellonian University in Kraków in 2014. The correlation and differences between methods were studied. It was indicated when the biggest differences occur and which situations are associated with them. The author attempted to determine the homogeneity of the series and assessed the sense of resigning from the conventional measurements. The values compared were taken for the same time periods in order to reduce the differences caused by averaging and data processing methods. It was shown that the correlation coefficient was very strong in every comparison made (the highest in case of air temperature, the lowest in case of precipitation). However, some significant differences in specific situations were shown. Variable trend and magnitude of deviations depending on the time of the measurement in the course of day and year occurred. Deviations were caused by differences in construction and sensitivity of devices as well as by meteorological conditions, mistakes made by observer and random factors. It was concluded that despite the advantages of automatic measurements, conventional measurements should not be abandoned. Regardless the technical advancement, automatic measurement systems can brake down and the traditional ones serve as a security in case of lack of the data. In most comparisons, the data series obtained are not homogenous. Despite theoretically high correlation, there are very significant differences between methods that prevent thoughtless resignation from classic measurements. Furthermore, traditional measurements are required for the calibration of the automatic sensors.