Zakład Klimatologii Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Uniwersytet Jagielloński

Ul. Gronostajowa 7

30-387 Kraków

d.matuszko@uj.edu.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 Krakow)

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 przypadkach nie przeprowadzono pomiarów porównawczych i nie wyliczono współczynników korygujących zatem istnieje obawa, że została zerwana jednorodność serii pomiarowych, podstawowego warunku wszelkich badań klimatologicznych.

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, Rožnovskŷ 2006; Budzik, Marszał 2006; Kejna, Uscka-Kowalkowska 2006; Kuśmierek 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. Wyniki pomiarów automatycznych były ustawione na próbkowanie 10-minutowe. Aby ograniczyć różnice wynikające z większej częstości 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 obliczania zostały wykonane w programach Microsoft Excel oraz Statistica 12. Aby porównać wartości otrzymane obydwiema metodami, dla każdego badanego elementu klimatu określono ich współczynniki korelacji. W przypadku braku rozkładu normalnego dokonywano normalizacji danych tj. skalowania, przekodowania bądź transformacji. W razie dalszego 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 przy pomocyheliografu Campbella-Stokesa, natomiast pomiar automatyczny 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: 70-280Wm-2 (Bider 1958, Baumgartner 1979), 106-285Wm-2 (Painter 1981). W Polsce przyjmuje się za Kuczmarskim (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.

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

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pomiar | |  | | --- | | Liczba dni | | |  | | --- | | % dni | | Suma | |  | | --- | | Średnia | | |  | | --- | | Mediana | | |  | | --- | | Minimum | | |  | | --- | | Maksimum | |
| |  | | --- | | Klasyczny | | 287 | 78,9 | 1594 | 5,6 | 4,9 | 0,0 | 14,7 |
| |  | | --- | | Automatyczny | | 302 | 83,0 | 1772 | 5,9 | 5,3 | 0,0 | 15,1 |

Tab. 2. Liczba przypadków kierunków odchyleń wyników pomiarów usłonecznienia (U)

Tab. 2. The number of trends of deviations of sunshine duration (U) measurements

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Odchylenie | |  | | --- | | U > w pomiarze klas. | | |  | | --- | | U > w pomiarze aut. | | |  | | --- | | U takie samo | |
| |  | | --- | | N przypadków | | 54 | 215 | 18 |

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 odchyleń (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. Z 54 przypadków wyższego usłonecznienia zmierzonego heliografem, 39 z nich 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.



Ryc. 1. Histogram odchyleń 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)

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 Usckiej-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 odchyleń. 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 (oC)

Tab. 3. Descriptive statistics of air temperature (oC) measurements

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pomiar | |  | | --- | | N Ważnych | | |  | | --- | | % Ważnych | | |  | | --- | | Średnia | | |  | | --- | | Mediana | | |  | | --- | | Minimum | | |  | | --- | | Maksimum | |
| |  | | --- | | Klasyczny | | 1825 | 100,0 | 11,9 | 12,0 | -12,9 | 32,9 |
| |  | | --- | | Automatyczny | | 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 0,1oC), 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 odchyleń pomiaru temperatury powietrza (T)

Tab. 4. The number (N) of trends of deviations of air temperature (T) measurements

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Odchylenie | |  | | --- | | T wyższa w pomiarze klas. | | |  | | --- | | T wyższa w pomiarze aut. | | |  | | --- | | T taka sama | |
| |  | | --- | | N przypadków | | 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 0,2oC. Stosunkowo często wystąpiły odchylenia w granicach 0,2-0,4oC na korzyść termometru rtęciowego (prawie 300 przypadków). Wartości zmierzonej temperatury o jednakowych wartościach w obydwu pomiarach, zostały w histogramie zaklasyfikowane do przedziału -0,2-0,0oC,   
w celu zaznaczenia dużej liczby pomiarów, w których zmierzone wartości były takie same lub różniły się minimalnie.



Ryc. 3. Histogram odchyleń pomiarów temperatury (oC) (<0 – wyższa T pomiarem automatycznym,   
>0 – wyższa T pomiarem klasycznym)

Fig. 3. Histogram of deviations of temperature (oC) 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 1,0oC wynikają najczęściej z błędu obserwatora oraz różnego czasu odczytu termometru przez obserwatora i rejestracji temperatury przez automat.



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

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 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.

Tab. 5. Statystyki opisowe pomiarów wartości temperatur ekstremalnych (oC)

Tab. 5. Descriptive statistics of extreme temperatures (oC) measurements

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Statystyki | |  | | --- | | Min klas. | | |  | | --- | | Min aut. | | |  | | --- | | Max klas. | | |  | | --- | | Max aut. | |
| |  | | --- | | Średnia | | 6,6 | 6,6 | 15,6 | 15,5 |
| |  | | --- | | Mediana | | 7,0 | 7,0 | 16,4 | 16,2 |
| Wartości najniższe | -13,2 | -13,5 | -10,1 | -10,6 |
| Wartości najwyższe | 19,7 | 20,0 | 33,3 | 33,5 |

Porównano wartości ekstremalne dla 362 dni w 2014 roku. Termometry klasyczne wskazywały średnio takie same wartości, jak pomiar automatyczny w przypadku temperatury minimalnej oraz o 0,1oC więcej w przypadku pomiarów temperatury maksymalnej (tab. 5). Mediana dla temperatury minimalnej wyniosła 7,0oC w obydwu metodach, natomiast dla temperatury maksymalnej o 0,2oC więcej w pomiarze 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 Tmin oraz histogramy danych w obydwu metodach pomiarowych

Fig. 5. The correlation coefficient of Tmin 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 pomiar automatyczny.



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

Fig. 6. The correlation coefficient of Tmax 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 przypadku temperatury minimalnej   
w przedziale do 1,0oC odchylenia zawarte było 100% przypadków, w znacznie mniejszym przedziale do 0,2oC – 89%. Z kolei w przypadku 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 dokonywany 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 | |  | | --- | | N Ważnych | | |  | | --- | | % Ważnych | | |  | | --- | | Średnia | | |  | | --- | | Mediana | | |  | | --- | | Minimum | | |  | | --- | | Maksimum | |
| |  | | --- | | Klasyczny | | 1095 | 100,0 | 73,7 | 77,0 | 15,0 | 100,0 |
| |  | | --- | | Automatyczny | | 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 Usckiej-Kowalkowskiej (2006) wskazują także na różnice (4-5%) w wartościach wilgotności względnej wyznaczanej różnymi metodami. Największe odchylenia (około 6%) występują w ciepłej połowie roku, w terminie wieczornym. IMGW nie opublikowało 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 automatyczny stanowi sumę opadu z okresów pomiarowych (10-min). W obu przypadkach 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 (mm) measurements

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pomiar | |  | | --- | | N | | Suma | Średnia | Mediana | |  | | --- | | Minimum | | |  | | --- | | Maksimum | |
| |  | | --- | | Klasyczny | | 198 | 733,0 | 4,4 | 1,8 | 0,0 | 56,1 |
| Automatyczny 1 | 159 | 637,8 | 3,8 | 1,7 | 0,0 | 46,3 |
| Automatyczny 2 | 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 urządzenie zmierzyło opad niższy o 15%. Średnia wartość opadu wyniosła wedlug 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 dobowa suma 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 zarejestrował opad mniejszy o 14,2 mm.

Największe różnice w wielkości opadów zmierzonych różnymi przyrządami związane są 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 znaczne 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, 8, 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 Auto1) 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 Auto2) 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 (Auto1 and Auto2) 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. 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 roztapianie 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 wykazuje 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.

WNIOSKI OGÓLNE

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, zapewnia 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 bądż spadek sum opadów.

Aby zapewnić porównywalność danych tradycyjnych i automatycznych wskazane jest dublowanie czujników i okresowe kontrole porównawcze, 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 Schwellenintensitat des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes an wolkenlosen Tagen, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, No. 84, Zurich.

Bider, M., 1958: Uber die Genauigkeit der Registrierungen des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes, Archiv fur Meteorologie,Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Volume 9, No. 2: 199–230.

Bil-Knozová G., Rožnovskŷ 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 Koniczynce (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 Koniczynce k. Torunia w latach 2006-2010, Przegląd Geofizyczny, 62: 11–20.

Kuczmarski M., 1990: Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii, Dokumentacja Geograficzna, 4: 67s.

Kuśmierek 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., Łomotowski 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.