

Renata Kuśmierk-Tomaszewska

**PORÓWNANIE WYNIKÓW POMIARÓW
OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH WYKONYWANYCH
STANDARDOWYM DESZCZOMIERZEM HELLMANNA
I KOLEBKOWYM STACJI AUTOMATYCZNEJ**

***INTERCOMPARISON OF PRECIPITATION
MEASUREMENTS RECORDED WITH TRADITIONAL
AND AUTOMATED TIPPING-BUCKET RAIN GAUGES***

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki porównania sum opadów atmosferycznych i wyznaczonych w oparciu o nie wybranych wskaźników agrometeorologicznych, wyznaczonych na podstawie pomiarów deszczomierzem Hellmanna na stacji standardowej i kolebkowym automatycznej. Na tej podstawie dokonano oceny możliwości zamiennego stosowania danych z obu stacji.

Materiał do badań stanowiły wyniki pomiarów prowadzonych stacją standardową i automatyczną ośmiokanałową stacją meteorologiczną firmy Eijkelkamp, w Mochelku koło Bydgoszczy, w latach 2000–2004. Założono, że w badaniach agroklimatologicznych podstawową i wystarczającą wielkością danego wskaźnika jest jego wielkość dekadowa. Koncentrowano się zatem na porównaniu średnich sum dekadowych w zbiorach o liczebności od 15 do 180 (dekady w miesiącu, danej porze roku, półroczu lub całym roku), uzyskanych na podstawie pomiarów standardowych i automatycznych. Szczególną uwagę zwrócono na współzależności wyników pomiarów prowadzonych przez oba rodzaje deszczomierzy w celu wyprowadzenia matematycznych zależności, pozwalających stosować je zamiennie.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, porównanie pomiarów

Summary

The aim of the study was an intercomparison of precipitation measurements with classic (Hellmann) and automatic (tipping-bucket) rain gauges. Basing on the precipitation data some agricultural factors were calculated. With the obtained results, prospects for automatic data use for agricultural enterprise were evaluated, along the homogenous series maintaining.

The investigation was based on data obtained in years 2000–2004 from classic and automatic (Eijkelkamp) weather stations set in Mochelek near Bydgoszcz. It was supposed that in agrometeorological research the fundamental interval of a factor is its ten-days value. Series of number from 15 to 180 (a ten-days means in months, seasons, warm and cold half-a-year and a year) obtained from classic and automatic measurements were compared. A particular consideration of correlative results was done to assign mathematical formulas that would allow use the Hellmann and tipping-bucket rain gauges data series exchangeably.

Key words: atmospheric precipitation, intercomparison measurements

WSTĘP

Zainteresowanie procesami zachodzącymi w atmosferze towarzyszy człowiekowi od zarania dziejów. Wraz z postępem technicznym, jaki następował, ludzkość coraz bardziej uzależniała swoje poczynania od warunków meteorologicznych, traktując klimat jako jeden z ważniejszych zasobów naturalnych. Zwłaszcza woda stała się tym czynnikiem w produkcji żywności, od którego zależy wykorzystanie innych czynników przyrodniczych i antropogenicznych środowiska przyrodniczego.

Opady atmosferyczne stanowią główny proces cyklu hydrologicznego, zaopatrujący lądy w wodę. Wiedza o ich zmiennym charakterze występowania w czasie i przestrzeni jest istotna dla studiów rolniczych, hydrologicznych, jak również niezbędna w codziennym funkcjonowaniu wielu gałęzi gospodarki. Stąd współczesne pomiary meteorologiczne wysokości opadów atmosferycznych zmierzają do osiągnięcia dużej dokładności rejestrowania tego procesu. Interpretacje rozkładu przestrzennego opadów, ich modelowania i prognozowania, bazują na pomiarach zapisywanych w bardzo małych interwałach czasowych, czemu sprzyja postęp technologiczny meteorologicznych przyrządów pomiarowych.

Stosowane współcześnie automatyczne stacje pomiarowe wyposażone w innej konstrukcji aniżeli standardowe, przyrządy pomiarowe, pracujące na podstawie innej metodyki pomiarów, dostarczają, co prawda dużej ilości danych, ale tworzą tym samym „nowe” serie. W związku z tym powstaje zagadnienie jednorodności i porównywalności tych serii pomiarowych z wieloletnimi standardowymi ciągami pomiarów prowadzonych przyrządami tradycyjnymi. Problem ten był i jest przedmiotem badań wielu krajowych i zagranicznych

ośrodków naukowych [Szwejkowski 1999; Rojek i in. 2001; Źarski i in. 2001; Kuśmierk 2008; Pavlyukov 2007; Sevruk i in. 2009]. Bezskrytyczne stosowanie danych opadowych pochodzących z pomiarów automatycznych może skutkować błędnymi wnioskami w prognozowaniu np. przepływów rzek, czy dostępności wody niezbędnej do produkcji rolniczej.

Celem badań było porównanie warunków opadowych i wyznaczonych w oparciu o nie wybranych wskaźników agrometeorologicznych mierzonych na stacji standardowej i automatycznej oraz ocena możliwości wykorzystania danych ze stacji automatycznej do badań agrometeorologicznych z zachowaniem jednorodności ciągów pomiarowych.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę przydatności deszczomierza stacji automatycznej do badań agrometeorologicznych przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów meteorologicznych, wykonywanych w latach 2000-2004 w Mochelku koło Bydgoszczy. Przedmiotem badań było porównanie wyników pomiarów opadów atmosferycznych i wyznaczonych na podstawie tych wybranych wskaźników agrometeorologicznych, uzyskanych za pomocą pomiaru tradycyjnego deszczomierzem Hellmanna ustawionym na wysokości 100 cm nad ziemią oraz deszczomierzem kolebkowym automatycznej ośmiokanałowej stacji meteorologicznej firmy Eijkelkamp, zainstalowanym 34 cm nad powierzchnią gruntu. Różne były powierzchnie odbiorcze porównywanych przyrządów: deszczomierz tradycyjny – 200 cm², deszczomierz kolebkowy stacji automatycznej – 507 cm².

Sumy dobowe opadów atmosferycznych na stacji tradycyjnej były ich sumą pomiędzy godziną 06:00 UTC dnia poprzedniego i 06:00 UTC bieżącego. Stacja automatyczna zaprogramowana była na próbkowanie w odstępach 5-minutowych, a w pamięci dataloggera zapisywane były średnie z godziny, które stanowiły podstawę obliczeń sum dobowych opadów z wielkości godzinowych w terminach pomiarowych 00:00–24:00.

Zasadniczą część badań stanowiła analiza statystycznej zgodności wyników pomiarów prowadzonych porównywanymi metodami. Wykonano ją na podstawie wielkości średnich dekadowych, zakładając, że dekada jest podstawowym krokiem czasowym stosowanym w agrometeorologii. Analizę porównawczą wielkości dekadowych przeprowadzono osobno dla poszczególnych miesięcy (liczebność zbiorów $N = 15$; 1 miesiąc \cdot 3 dekady \cdot 5 lat), pół roku (liczebność zbiorów $N = 45$; 3 miesiące \cdot 3 dekady \cdot 5 lat), półroczy ($N = 90$) oraz całego roku ($N = 180$). Zbiory danych scharakteryzowano metodami statystyki opisowej. Wzajemne relacje danych w zbiorach opisano równaniami regresji, uwzględniając wielkość standardowego błędu estymacji. Istotność różnic pomiędzy parami danych w poszczególnych zbiorach zbadano testem t Studenta

dla par powiązanych. Stopień zgodności został określony na podstawie współczynnika korelacji na poziomie ufności $\alpha = 0,05$, przy $n-2$ stopniach swobody.

Porównano także wybrane wskaźniki agrometeorologiczne obliczone na podstawie danych standardowych i automatycznych: liczbę dni z opadem $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm, $\geq 5,0$ mm i $\geq 10,0$ mm oraz wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI) [Łabędzki, Bąk 2004].

WYNIKI BADAŃ

W badanym okresie średnia roczna suma opadów atmosferycznych uzyskana metodą standardową wynosiła w Mochelku 539,7 mm, z czego 336,9 mm (62,4%) przypadało na półrocze letnie, a 202,8 mm (37,6%) na półrocze zimowe (tab. 1). W pięcioleciu 2000–2004 wystąpiły zarówno lata i półrocza suche (2003 r.), jak i o dostatecznej, a nawet nadmiernej ilości opadów (półrocze letnie 2001 r.). Zarówno sumy roczne, jak i półroczne, zmierzone deszczomierzem kolebkowym, we wszystkich latach były wyższe od uzyskanych na drodze pomiaru deszczomierzem Hellmanna. Różnice sum rocznych wynosiły od 27,3 do 76,0 mm (średnio 53,3 mm), półrocza letniego od 13,0 do 30,0 mm (średnio 22,1 mm), a w półroczu zimowym były na ogół większe i kształtowały się od 9,3 do 59,1 mm (średnio 31,2 mm).

Najwyższa, zmierzona deszczomierzem Hellmanna, dekadowa suma opadów wyniosła 87,5 mm i wystąpiła w drugiej dekadzie lipca 2001. Zanotowano osiem dekad bezopadowych, z czego sześć w półroczu letnim. Deszczomierz kolebkowy zarejestrował najwyższą sumę opadów w tej samej dekadzie co standardowy, jednakże suma ta była wyższa o 25,5 mm. Liczba dekad bezopadowych zarejestrowana automatem była o połowę mniejsza w porównaniu z metodą tradycyjną.

Tabela 1. Roczne i półroczne sumy opadów atmosferycznych na podstawie pomiaru standardowego (S) i automatycznego (A)
Table 1. Annual and half-year totals of precipitation on base of traditional (S) and automatic (A) rain gauges measurements

Okres	Opady atmosferyczne (mm)								
	Suma roczna			Suma półrocza letniego			Suma półrocza zimowego		
	S	A	S-A	S	A	S-A	S	A	S-A
2000	463,0	533,2	-70,2	275,4	305,4	-30	187,6	227,8	40,2
2001	642,7	704,4	-61,7	476,2	504,4	-28,2	166,5	200,0	-33,5
2002	640,6	716,6	-76,0	366,9	384,0	-17,1	273,7	332,8	-59,1
2003	326,9	354,2	-27,3	207,6	220,6	-13,0	119,3	133,6	-14,3
2004	625,2	656,8	-31,6	358,3	380,6	-22,3	266,9	276,2	-9,3
2000–2004	539,7	593,0	-53,3	336,9	359,0	-22,1	202,8	234,0	-31,2

Na podstawie porównania dekadowych sum opadów atmosferycznych mierzonych metodą standardową i automatyczną stwierdzono, że w połowie badanych przypadków różnice pomiędzy danymi były nieistotne (miesiące: styczeń, luty, marzec, lipiec, sierpień, grudzień oraz zima i lato) (tab. 2). Wyższe sumy opadów w niemal wszystkich badanych okresach rejestrowane były deszczomierzem kolebkowym stacji automatycznej, wyjątkiem był grudzień. Różnice między średnimi dekadowymi sumami opadów wynosiły od 0,2 mm (luty) do 3,4 mm (styczeń). Rozproszenie porównywanych danych wokół wartości średniej wyrażone współczynnikiem zmienności było różne w każdym z 19 badanych okresów. Większe, od otrzymanych w przypadku metody standardowej, wielkości rozstępu dotyczyły metody automatycznej.

Tabela 2. Porównanie dekadowych sum opadów atmosferycznych mierzonych metodą standardową (S) i automatyczną (A)
Table 2. Intercomparison the ten-day sums of the precipitation measured by traditional (S) and automatic (A) rain gauges

Badany okres	Wartość średnia (mm)		Różnica (mm)	Współczynnik zmienności (%) log ₁₀ (x+1,1)		Rozstęp (mm) max-min		Równanie regresji	Standardowy błąd estymacji (mm)	Współczynnik korelacji (r)
	S	A		S-A	S	A	S			
	I	8,5	11,9	-3,4	50,2	64,2	34,8			
II	11,1	11,3	-0,2	49,6	41,0	53,1	33,2	S = 1,182A-2,2752	6,005	0,904
III	11,7	13,7	-2,0	37,9	38,9	45,3	52,2	S = 0,8288A+0,4117	2,270	0,982
IV	8,4	10,4	-2,0*	42,0	39,4	27,9	30,6	S = 0,868A-0,6736	1,684	0,974
V	16,4	17,3	-0,9*	48,1	42,2	57,9	60,6	S = 1,0165A-1,209	2,446	0,989
VI	13,4	14,9	-1,5*	37,8	34,8	31,6	32,8	S = 0,9051A-0,063	2,380	0,969
VII	32,1	33,1	-1,0	24,8	25,3	84,9	108,8	S = 0,7368A+7,8754	9,860	0,905
VIII	21,4	21,8	-0,4	48,8	46,4	53,8	46,6	S = 1,0343A-1,0475	5,683	0,952
IX	20,5	22,3	-1,8*	47,9	45,4	52,2	55,6	S = 0,9229A-0,0549	1,277	0,997
X	16,0	18,7	-2,7*	47,7	40,0	72,4	86,4	S = 0,8414A+0,2468	1,466	0,997
XI	10,7	13,8	-3,1*	36,2	26,6	21,9	24,4	S = 0,8463A-0,9208	2,728	0,930
XII	10,3	9,4	0,9	42,3	43,0	38,4	37,0	S = 0,8761A+2,0178	6,288	0,806
XII-II	10,0	10,9	-0,9	47,0	49,2	53,1	37,8	S = 0,8223A+0,9796	6,319	0,823
III-V	12,2	13,8	-1,6*	43,1	40,0	57,9	60,6	S = 0,9365A-0,7667	2,448	0,980
VI-VIII	22,3	23,3	-1,0	38,4	36,0	87,5	113,0	S = 0,8521A+2,5661	7,012	0,929
IX-XI	15,7	18,3	-2,6*	44,3	37,7	72,4	86,8	S = 0,8842A-0,3931	2,181	0,990
IV-IX	18,7	20,0	-1,3*	43,1	39,6	87,5	113,0	S = 0,8976A+0,8143	5,234	0,952
X-III	11,3	13,3	-1,7*	43,7	42,4	72,4	87,0	S = 0,8291A+0,4871	4,694	0,923
I-XII	15,0	16,5	-1,5*	44,3	41,6	87,5	113,0	S = 0,8823A+0,4573	5,017	0,944

* istotność różnic oznaczona testem t dla prób powiązanych

Zależność pomiędzy wszystkimi analizowanymi danymi (180) układała się liniowo, a stopień zgodności wyrażony współczynnikiem korelacji wynosił 0,944. Lepszą zgodnością danych charakteryzowało się półrocze letnie, w porównaniu z zimowym, spośród pór roku jesień, a spośród miesięcy wrzesień i październik (tab. 2). Najmniejszy współczynnik korelacji otrzymano dla grudnia ($r = 0,806$). Istotne współczynniki korelacji we wszystkich badanych okresach pozwoliły przedstawić równania regresji, które umożliwiają obliczenia dekadowych sum opadów atmosferycznych mierzonych deszczomierzem Hellmanna na podstawie danych z automatu. Obliczenia te mogą być jednak obciążone dość dużym błędem, zwłaszcza w odniesieniu do dekad miesięcy zimowych oraz miesiąca lipca.

Pomiary wysokości opadów atmosferycznych są obciążone błędami zarówno natury fizycznej, jak i systematycznej. Sevruk [1996] jako przyczyny różnic w pomiarze opadów atmosferycznych deszczomierzem standardowym i automatycznym wymienia zakłócenia strumienia powietrza (wiry) ponad powierzchnią odbiorczą przyrządów, które tworzą przeszkodę dla swobodnego ruchu cząsteczek powietrza. Drugą z przyczyn mogą być straty spowodowane zwilżaniem wewnętrznych ścian przyrządu, czego efektem jest wzmożone parowanie, lub „wychłapywanie” wody poza odbiornik [Frankhauser 1998]. Nie bez znaczenia jest prędkość wiatru podczas opadu, jak również natężenie opadu (im większe natężenie opadu, tym mniejszy wpływ na wielkość błędu ma prędkość wiatru), a także wysokość, na której zainstalowany jest przyrząd, kształt korpusu deszczomierza, wielkość powierzchni odbiorczej, a także grubość górnej krawędzi odbiornika przyrządu. Sevruk [1996] stwierdził, że wysokość opadu atmosferycznego zmierzona w tym samym czasie dwoma różnymi przyrządami jest zazwyczaj różna. Przyczyną znaczących błędów w pomiarze opadów deszczomierzem kulebkowym stacji automatycznej może być zaklinowanie się kulebki – a taka usterka jest bardzo trudna do wykrycia – efektem czego jest zerowy pomiar opadu [Upton, Rahimi 2003].

W wyniku przeprowadzonych pięcioletnich badań własnych stwierdzono, że wyniki pomiaru wysokości opadów atmosferycznych metodą automatyczną przewyższały pomiar standardowy, choć stopień zgodności danych był dość duży. Podobne rezultaty otrzymali Perini i Beltrano [2003], porównując sumy opadów w dekadach. Rozbieżności pomiędzy otrzymanymi wynikami w badaniach własnych mogły wynikać z trzech przyczyn. Pierwszą z nich były różnice wielkości powierzchni odbiorczych deszczomierzy: 200 cm^2 – standardowy i 507 cm^2 – automatyczny oraz wysokość zainstalowania przyrządów nad powierzchnią gruntu (odpowiednio 100 cm i 34 cm). Druga, to czułość urządzenia automatycznego, które każdą najmniejszą nawet ilość opadu rejestrowało jako 0,2 mm. Deszczomierz automatyczny rejestrował znacznie wyższą ilość opadu niż standardowy, co mogło wynikać z kumulowania się wody w kulebce podczas szybkich zmian jej położenia. Trzecią przyczyną otrzymanych różnic był

sposób obliczania sum dobowych opadu. Na stacji standardowej, zgodnie z procedurą IMGW, pomiar obejmuje okres pomiędzy godziną 07:00 dnia bieżącego a 07:00 dnia poprzedniego. Stacja automatyczna natomiast sumuje ilość opadu, który wystąpił pomiędzy godziną 00:00 a 24:00.

Liczba dni z opadem atmosferycznym, wyznaczona na podstawie opadów standardowych deszczomierzem Hellmanna oraz metodą automatyczną różniła się istotnie. Dużo większą liczbę dni z opadem rejestrował deszczomierz stacji automatycznej. Średnia w okresie badań roczna suma tych dni wynosiła 189, a w poszczególnych latach zmieniała się od 171 do 212 (tab. 3). Wielkość omawianego wskaźnika określona na podstawie pomiaru standardowego była znacznie mniejsza. Suma roczna wynosiła średnio 108 dni, zmieniając się w latach badań od 90 do 116. Większe różnice pomiędzy liczbą dni z opadem określoną metodą automatyczną i standardową dotyczyły półrocza zimowego, w porównaniu z letnim.

Tabela 3. Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm, $\geq 5,0$ mm, $\geq 10,0$ mm określona na podstawie pomiaru opadów metodą standardową (S) i automatyczną (A)

Table 3. The number of days wit precipitation of $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm, $\geq 5,0$ mm, $\geq 10,0$ mm, onbase of tradional (S) and automatic (A) rain gauges measurements

		Liczba dni z opadem											
Rok	Metoda	$\geq 0,1$ mm			$\geq 1,0$ mm			$\geq 5,0$ mm			$\geq 10,0$ mm		
		I-XII	IV-IX	X-III	I-XII	IV-IX	X-III	I-XII	IV-IX	X-III	I-XII	IV-IX	X-III
2000	S	107	49	58	88	42	46	25	15	10	10	8	2
	A	195	86	109	106	50	56	26	16	10	13	9	4
	S-A	-88	-37	-51	-18	-8	-10	-1	-1	0	-3	-1	-2
2001	S	116	65	51	90	56	34	40	29	11	17	14	3
	A	212	97	115	117	62	55	46	31	15	20	15	5
	S-A	-96	-32	-64	-27	-6	-21	-6	-2	-4	-3	-1	-2
2002	S	113	56	57	97	50	47	43	23	20	17	10	7
	A	181	84	97	116	55	61	43	23	20	19	9	10
	S-A	-68	-28	-40	-19	-5	-14	0	0	0	-2	1	-3
2003	S	90	54	36	71	41	30	20	12	8	4	3	1
	A	171	81	90	82	44	38	19	11	8	4	3	1
	S-A	-81	-27	-54	-11	-3	-8	1	1	0	0	0	0
2004	S	116	61	55	101	53	48	43	23	20	17	11	6
	A	187	92	95	113	59	54	39	20	19	18	12	6
	S-A	-71	-31	-40	-12	-6	-6	4	3	1	-1	-1	0
Średnio 2000- 2004	S	108	57	51	89	48	41	34	20	14	13	9	4
	A	189	88	101	107	54	53	35	20	14	15	10	5
	S-A	-81	-31	-50	-18	-6	-12	-1	0	0	-2	-1	-1

Omówione różnice liczby dni z opadem, zarejestrowane porównywanymi metodami pomiarowymi, dotyczyły w głównej mierze opadów najniższych, zawierających się w przedziale od 0,1 do 0,9 mm, a w drugiej kolejności opadów w zakresie od 1,0 do 4,9 mm. W przypadku opadów, których suma dobową przekraczała 4,9 mm (zakresy 5,0–9,9 mm oraz $\geq 10,0$ mm), obie metody wskazywały często identyczną albo bardzo podobną ich liczbę dni. Zanotowane różnice liczby dni z opadem $\geq 0,1$ mm w większym stopniu dotyczyły dekad półroczną zimowego, w porównaniu z letnim.

Sevruk [1996] w swoich badaniach porównał sumy dobowe opadów i liczbę dni z opadem ($P \geq 0,1$ mm). Stwierdził, że wyższe opady zmierzono metodą tradycyjną i jednocześnie zarejestrowano na podstawie jej większą liczbę dni z opadem, aniżeli w metodzie automatycznej. Z kolei z obserwacji Tekusovej i in. (2003) wynika, że automatyczny deszczomierz korytkowy o powierzchni odbiorczej 500 cm² w 60% wykazywał opady wyższe, a w 20% niższe aniżeli deszczomierz standardowy typu Hellmanna.

Oba przyrządy zainstalowane były na tej samej wysokości. Prowadzi to do wniosku, że wyniki badań porównujących wysokość opadów atmosferycznych mierzonych na stacjach tradycyjnych i automatycznych nie są reprezentatywne i muszą być traktowane indywidualnie. Dla przykładu spośród ośmiu stacji podanych testom przez Spenglera [1999], w 43% przypadków wielkości rejestrowane przez deszczomierze stacji automatycznych były niższe, a 23% wyższe niż te odnotowane przy użyciu standardowego deszczomierza Hellmanna. Całkowita suma opadów atmosferycznych zapisana na stacjach automatycznych wynosiła 96% sumy otrzymanej na stacjach standardowych.

Dekadowe wskaźniki standaryzowanego opadu w kolejnych sezonach wegetacyjnych lat 2000–2004 obliczono, odnosząc rzeczywiste sumy opadów do ich standardowych wartości normalnych w 30-letnim okresie 1971–2000.

Spośród analizowanych 90. dekad, 16–18 (17,8–20%) z nich – zależnie od metody pomiarów opadów atmosferycznych – określono na podstawie wskaźnika SPI jako ekstremalnie, bardzo lub umiarkowanie suche. Wystąpiły one zwłaszcza w latach 2003 i 2000. Użycie do obliczeń wskaźnika SPI wyników pomiarów opadów atmosferycznych drogą automatyczną spowodowało złagodzenie oceny intensywności posuchy (tab. 4). Wynikało to bezpośrednio z faktu, iż metoda automatyczna wskazywała ogólnie wyższe sumy opadów, w porównaniu z wynikami pomiarów deszczomierzem Hellmanna.

W wyniku statystycznego porównania dekadowych wskaźników SPI, obliczonych na podstawie standardowego i automatycznego pomiaru opadów stwierdzono, że różnice we wszystkich badanych okresach miały charakter jednokierunkowy (wyższą wielkość SPI wskazywała metoda automatyczna) i z wyjątkiem lipca i sierpnia były istotne (tab. 5). Analiza korelacji i regresji potwierdziła duży stopień zgodności danych, uzyskanych obiema metodami pomiaru opadów. Współczynnik korelacji charakteryzujący zależność wszyst-

kich 90. par danych wynosił 0,975, a zależność układała się liniowo (tab. 5). Spośród analizowanych okresów miesięcznych, dekadowe wskaźniki SPI były najbardziej zgodne we wrześniu ($r = 0,994$) i w maju ($r = 0,992$), a najmniej w kwietniu ($r = 0,962$) (tab. 5).

Tabela 4. Częstość występowania dekad posusznych okresu wegetacyjnego obliczona według wskaźnika SPI, na podstawie pomiaru automatycznego (A) i standardowego (S)

Table 4. The frequency of 10-day periods with a drought during a growing season, based on SPI calculated on base of traditional (S) and automatic (A) rain gauges measurements

Rok	Ekstremalnie suchy SPI $\leq -2,00$		Bardzo suchy SPI $-1,99 \div -1,50$		Umiarkowanie suchy SPI $-1,49 \div -0,50$		Razem SPI $\leq -0,50$	
	S	A	S	A	S	A	S	A
2000	1	0	2	2	1	4	4	6
2001	0	0	0	0	2	1	2	1
2002	0	0	1	1	1	0	2	1
2003	0	0	1	0	5	5	6	5
2004	0	0	1	0	3	3	4	3
Suma 2000-2004	1	0	5	3	12	13	18	16

Tabela 5. Porównanie wielkości SPI obliczonych na podstawie pomiaru standardowego (S) i automatycznego (A)

Table 5. Intercomparison of the monthly SPI value on base of traditional (S) and automatic (A) rain gauges measurements

Badany okres	Wartość średnia		Różnica	Odchylenie standardowe		Rozstęp max-min		Równanie regresji	Standardowy błąd estymacji	Współczynnik korelacji (r)
	S	A	S-A	S	A	S	A			
IV	0,10	0,31	-0,21*	0,76	0,73	3,1	2,6	$S = 1,0016A - 0,2107$	0,216	0,962
V	0,18	0,27	-0,09*	0,94	0,89	3,6	3,7	$S = 1,0451A - 0,1043$	0,125	0,992
VI	-0,20	-0,09	-0,11*	0,77	0,67	3,1	2,6	$S = 1,1357A - 0,1026$	0,161	0,980
VII	0,52	0,53	-0,01	0,81	0,82	2,7	3,0	$S = 0,9223A + 0,0263$	0,294	0,967
VIII	0,21	0,27	-0,06	1,04	0,95	3,4	3,1	$S = 1,076A - 0,0834$	0,222	0,979
IX	0,34	0,46	-0,12*	1,10	1,04	3,6	3,1	$S = 1,059A - 0,1434$	0,130	0,994
IV-IX	0,19	0,29	-0,10*	0,92	0,86	4,3	4,0	$S = 1,0425A - 0,1143$	0,204	0,975

* istotność różnic oznaczona testem t dla prób powiązanych

WNIOSKI

1. Roczne, półroczne, sezonowe i dekadowe sumy opadów atmosferycznych uzyskane na podstawie pomiarów standardowym deszczomierzem Hellmanna i deszczomierzem kolebkowym stacji automatycznej, w większości przypadków różniły się istotnie. Było to wynikiem zastosowania różnych w obu metodach przyrządów pomiarowych zainstalowanych na różnych wysokościach oraz odmiennych procedur przetwarzania danych.

2. Zanotowane różnice wielkości dekadowych sum opadów miały najczęściej charakter jednokierunkowy. Automatyczna metoda pomiarowa wskazywała wyższe sumy opadów atmosferycznych i dużo większą liczbę dni z opadem, w porównaniu z metodą standardową.

3. Wyniki automatycznego pomiaru opadów atmosferycznych dzięki dużej zgodności z wynikami pomiarów standardowych mogą być wykorzystywane w badaniach agrometeorologicznych. Zachowanie jednorodności ciągów pomiarowych nie jest jednak możliwe bez zastosowania matematycznych równań, określających współzależność danych standardowych i automatycznych.

4. Wielkość różnic i stopień zgodności danych zależały od okresu, w którym dokonywano porównywania. W przypadku opadów atmosferycznych wyraźnie większe różnice i mniejszą zgodność wyników stwierdzono w dekadach półrocza zimowego w porównaniu z letnim.

5. Bezpośrednie odnoszenie wyników automatycznych pomiarów liczby dni z opadem atmosferycznym do wyników pomiarów standardowych nie wydaje się uprawnione ze względu na duże różnice odczytów.

6. Zastosowanie wyników pomiarów opadów atmosferycznych ze stacji automatycznej do obliczeń wskaźników agrometeorologicznych charakteryzujących warunki wodne powodowało, że ocena stopnia intensywności posuchy na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu SPI była łagodniejsza.

BIBLIOGRAFIA

- Frankhauser R. *Influence of systematic errors from tipping bucket rain gauges on recorded rainfall data*. Wat. Sci. Tech. Vol.37, No.11, 1998. s.121–129
- Kuśmierek R. *Przydatność automatycznej stacji pomiarowej do osłony meteorologicznej rolnictwa*. Przegl. Nauk. Inż. i Kszt. Środ. XVII z.1(39), Warszawa 2008. s.26–41
- Łabędzki L., Bąk B. *Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy*. Acta Agroph.3(1), 2004, s.117–124.
- Perini L., Beltrano M. *Linking of traditional and automatic stations data: operational experience of UCEA*. 3^a Conferencia International Sobre Experiencias con Estaciones Meteorológicas Automáticas, Torremolinos 2003
- Pavlyukov Yu. B. *Precipitation Measurement with Automated Tipping-Bucket Rain Gauges* Russian Meteorology and Hydrology. 2007, Vol. 32, No. 11, s.711–718

- Rojek M., Rojek M., Łomotowski J. *Porównanie danych meteorologicznych uzyskiwanych przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej*. Annales UMCS, vol.LV/LVI, 37, sectio B, Lublin, 2001. s. 299–307.
- Sevruk B. *Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurements*. Atmospheric Research 42, 1996. s.237–246.
- Sevruk B., Ondrás M. , Chvilá B. *The WMO precipitation measurement intercomparisons*. Atmospheric Research 92 , 2009. s.376–380
- Spengler R. *Use of AWS-data in climatology-experiences and perspectives at DWD*. 2nd Intern. Conf. On Experiences with Automatic Weather Stations, heft 20, Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna 1999
- Szwejkowski Z. *Porównanie wyników pomiarów dokonywanych za pomocą klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej*. Folia Universitatis Agriculture Stetinensis 202, Agricultura (89), Szczecin, 1999, s.199–202
- Tekusová M., Státný P., Chvilá B. *Comparison of recording precipitation gauges; weighing, tipping-bucket and float types*. 3rd Conferencia International Sobre Experiencias con Estaciones Meteorológicas Automáticas, Torremolinos , 2003
- Upton G., Rahimi A. *On-line detection of errors in tipping-bucket raingauges*. Journ. of Hydrol., vol.178, issue 1–4, 2003. s.197–212
- Żarski J., Dudek S., Kuśmierk R. *Wstępna ocena przydatności automatycznej stacji pomiarowej do badań agrometeorologicznych*. Zesz. Nauk. ATR nr 236 Rolnictwo 47, 2001.s.129–134

Dr inż. Renata Kuśmierk-Tomaszewska
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul Bernardyńska 6
tel. 052 3749516, e-mail: rkusmier@utp.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Cezary Podsiadło