

## ANOMALNIE WYSOKIE MIESIĘCZNE OPADY ATMOSFERYCZNE W POLSKICH KARPATACH I NA ICH PRZEDPOLU (1881–2010)

*Robert Twardosz, Marta Cebulska*

### **Anomalously high monthly precipitation totals in the Polish Carpathian Mountains and their foreland (1881–2010)**

*Abstract:* The study addresses the problem of river flooding and other dangerous natural processes as well as phenomena resulting from persistent heavy rainfall. Annual and multi-annual records of anomalously heavy precipitation were investigated using data from 16 weather stations in the Polish Carpathian Mountains and their foreland from the period 1881–2010. The anomalously high precipitation was studied in terms of its annual and multi-annual pattern, time of occurrence, spatial extent and the coinciding atmospheric circulation. The anomalously high monthly totals were defined as those, which exceeded the upper quartile plus 1.5x the interquartile range. It was found that during the 130 years of the study period, there were 200 anomalously heavy precipitation months (AHMs), which occurred in 106 years. Most of them were only recorded at either a single station or at two neighbouring stations, which would suggest that precipitation of this magnitude depends not just on circulation circumstances, but also on local factors. No statistical change was found in the long-term AHM occurrence pattern. There were two instances, where an AHM was recorded simultaneously at all 16 stations, in May 1940 and 2010, and they both contributed to catastrophic floods. The latter of the events involved both the highest absolute totals (exceeding 500 mm) and the highest relative totals (i.e. the percentage of the long-term average close to 500%). The AHMs tended to coincide with cyclonic circulation. Between October and March, this was the western cyclonic circulation (Wc), while for the remaining part of the year it was cyclonic trough (Bc).

*Keywords:* anomaly, extreme precipitation, monthly precipitation, interquartile range, Polish Carpathian Mts.

*Zarys treści:* Długotrwałe utrzymywanie się obfitych opadów atmosferycznych jest przyczyną wezbrań oraz innych groźnych procesów i zjawisk przyrodniczych. Celem opracowania jest zatem poznanie anomalnie wysokich opadów miesięcznych w polskich Karpatach i na ich przedpolu. Zbadano przebieg roczny i wieloletni, czas wystąpienia i zasięg przestrzenny anomalnie wysokich opadów, a także ich związek z cyrkulacją atmosferyczną, na podstawie sum miesięcznych z 16 stacji meteorologicznych ze 130 lat 1881–2010. Za podstawę wyłonięcia anomalnie wysokich sum miesięcznych opadów przyjęto kwartył górny powiększony o 1,5-krotność rozstępu międzykwartyłowego. Stwierdzono, że w ciągu 130 lat było 200 przypadków anomalnie wysokich opadów (AWO), które wystąpiły w 106 latach. W większości pojawiały się one tylko na pojedynczej stacji lub dwóch sąsiednich, co wyraźnie wskazuje, że o bardzo dużych opadach decydują uwarunkowania nie tylko cyrkulacyjne, ale także lokalne. W przebiegu wieloletnim częstości AWO nie stwierdzono zmian istotnych statystycznie. W rozpatrywanym okresie stwierdzono dwa AWO, które wystąpiły na wszystkich 16 stacjach; było to w maju 1940 i 2010 r. Skutkiem ich wystąpienia były powodzie zaliczone do katastrofalnych. Opady w maju 2010 r. cechowały się zarówno największymi sumami bezwzględnyymi (ponad 500 mm), jak i największymi wartościami względnymi, czyli stosunkiem do średniej sumy wieloletniej (prawie 500%).

*Słowa kluczowe:* anomalia, skrajnie wysoki opad, opady miesięczne, rozstęp międzykwartyłowy, polskie Karpaty

## Wstęp

Celem opracowania jest określenie wielkości, częstości, czasu wystąpienia oraz zasięgu przestrzennego anomalnie wysokich miesięcznych opadów atmosferycznych w polskich Karpatach i na ich przedpolu w latach 1881–2010 i powiązanie ich z cyrkulacją atmosferyczną. Dotychczasowe badania tendencji zmian ilości opadów na tym obszarze Polski wykazały, że znaki tych zmian są różne, a w przypadku sum opadów rocznych i półroczna ciepłego są one najczęściej słabe i nieistotne statystycznie (Kožuchowski 2004; Cebulka i in. 2007; Niedźwiedź i in. 2009; Ustrnul i in. 2009; Woźniak 2013). Podobnie jest ze zmianami opadów na wielu obszarach Ziemi (IPCC 2007), co oznacza, że nie ma prostego związku zmian opadów ze wzrostem temperatury powietrza. O występowaniu opadów decyduje bowiem nie tylko temperatura powietrza, ale także cyrkulacja atmosferyczna i zawartość pary wodnej w powietrzu. Pomimo braku zmian w ogólnej ilości opadów na niektórych obszarach stwierdzono istotne tendencje w częstości miesięcy z anomalnie wysokimi opadami (Schönwiese i in. 2003; Trömel, Schönwiese 2007).

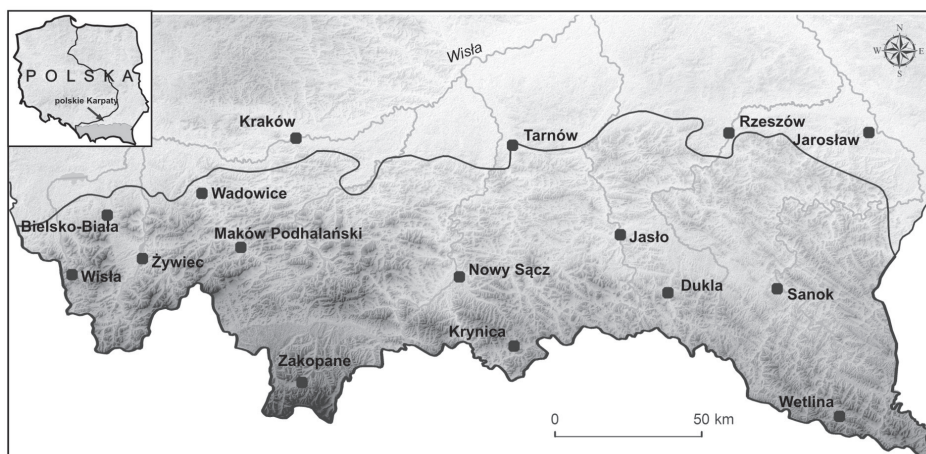
W południowej Polsce wpływ na opady mają ponadto czynniki orograficzne – urozmaicona rzeźba terenu i duże wysokości nad poziomem morza (Niedźwiedź, Obrębska-Starkłowa 1991). Decydują one o występowaniu bardzo silnych opadów ulewnych zarówno o zasięgu lokalnym, jak i rozlewnych, o dużym zasięgu terytorialnym (Cebulak 1998/1999). Opady takie są przyczyną częstych wezbrań

w dorzeczu górnej Wisły. Cyrkulacyjne uwarunkowania dużych opadów są rozpoznane i udokumentowane w wielu wcześniejszych opracowaniach. Ogólnie można powiedzieć, że są one związane z cyrkulacją cyklonalną. Z badań Niedźwiedzia i in. (2009) wynika, że zmienność sum opadów na tym obszarze w niektórych miesiącach w ponad 60% można wytłumaczyć zmiennością wskaźnika cykloniczności.

W 2010 r. w południowej Polsce wystąpiły obfite opady, które spowodowały wystąpienie katastrofalnej powodzi, ale także wywołały uruchomienie licznych osuwisk na tym obszarze. Klimatologiczna charakterystyka tych opadów oraz ich przyczyny cyrkulacyjne zostały opracowane przez Woźniak (2012, 2013) i innych autorów. Badania te potwierdziły zasadniczą rolę typów cyrkulacji cyklonalnej w kształtowaniu wysokich sum miesięcznych opadów.

## Materiały źródłowe

Materiałem wyjściowym badań były miesięczne sumy opadów atmosferycznych z lat 1881–2010 z 16 stacji; 12 z nich jest położonych w polskich Karpatach, a 4 na ich przedpolu (tab. 1, ryc. 1). Stacje te reprezentują niżej położone obszary dorzeczy karpackich. Bazę danych miesięcznych opadów utworzono na podstawie wielu publikowanych materiałów. Najstarsze dane opadowe, do 1890 r., z Europy Środkowej zostały opublikowane przez Hellmanna (1906) oraz ujęte w *Sprawozdaniach Komisji Fizjograficznej PAU* i w *Materiałach do Klimatografii Galicji*. Dane opadowe z lat 1895–1912 były



Ryc. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych

Fig. 1. Location of meteorological stations

Tab. 1. Położenie stacji meteorologicznych (stacje uporządkowano z zachodu na wschód)  
 Table 1. Details of the weather station locations (arranged from East to West)

Stacja/Station		Wysokość (m n.p.m) Altitude (m a.s.l.)	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates ( $^{\circ}$ , $'$ )	
Nr/No	Nazwa/Name		$\phi$ N	$\lambda$ E
1	Wisła	433	49 39	18 51
2	Bielsko-Biała	322	49 48	19 00
3	Żywiec	354	49 41	19 12
4	Wadowice	268	49 52	19 30
5	Maków Podhalański	359	49 43	19 41
6	Kraków	206	50 03	19 57
7	Zakopane	844	49 17	19 57
8	Nowy Sącz	292	49 37	20 41
9	Krynica	613	49 24	20 57
10	Tarnów	225	50 01	20 59
11	Jasło	240	49 44	21 28
12	Dukla	351	49 34	21 40
13	Rzeszów	214	50 06	22 01
14	Sanok	314	49 35	22 11
15	Wetlina	700	49 08	22 28
16	Jarosław	204	50 01	22 41

publikowane w wydawnictwach austriackich *Jahrbuch Hydrographischen Zentralbureaus k. k. Ministerium für öffentliche Arbeiten*. Wykorzystano także roczniki hydrograficzne, meteorologiczne i opadowe oraz materiały do bilansu wodnego Polski opublikowane przez PIHM (obecnie IMGW-PIB). Brakujące dane opadowe z kilku stacji po roku 1982 uzyskano z GUS i internetowych baz danych: amerykańskiej *National Climatic Data Center* (NCDC) [www.ncdc.noaa.gov](http://www.ncdc.noaa.gov) oraz europejskiego projektu badawczego *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D) [www.eca.knmi.nl](http://www.eca.knmi.nl).

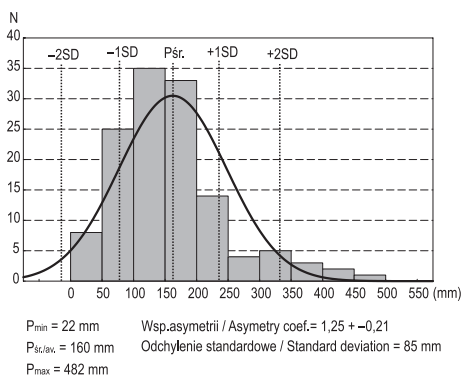
Ze względu na zmianę lokalizacji niektórych stacji meteorologicznych zgromadzone ciągi opadów sprawdzono pod kątem ich jednorodności. Do sprawdzenia hipotezy o jednorodności statystycznej miesięcznych sum opadów zastosowano test *Standard Normalised Homogeneity Test* (SNHT) Alexanderssona (1986). Na podstawie jednorodnej serii opadów z Krakowa przetestowano pozostałe ciągi opadów atmosferycznych. W świetle uzyskanych wyników stwierdzono, że na przyjętym poziomie istotności 0,05 nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o braku jednorodności serii miesięcznych i rocznych sum opadów.

Do określenia związku występowania anomalnie wysokich opadów z cyrkulacją atmosferyczną wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji nad południową Polską opracowany przez Niedźwiedzia (1981, 2014).

## Metoda opracowania

W badaniach klimatologicznych stosuje się wiele kryteriów wyznaczania anomalii opadów atmosferycznych, których przegląd, zwłaszcza tych starszych, można znaleźć w wielu publikacjach (Kaczorowska 1962; Warakomski 1989/1990, 1997; Trepieńska 2000). W Polsce najczęściej stosowana jest metoda Kaczorowskiej (1962), która ma zastosowanie do opadów rocznych i w porach roku. Stosowanie tej metody do opadów miesięcznych jest jednak niesłuszne, gdyż – jak słusznie zauważyła Kossowska-Cezak (2012) – przedział opadów normalnych jest w tym przypadku zbyt wąski (90–110%), co prowadzi do tego, że miesiące „normalne” występują rzadziej niż „suche”, a zatem podważa to sens tak zdefiniowanej „normy”. Z nowszych metod należy wskazać na metodę Mrugały (2001), w której autor przyjął jako opady anomalne te, których suma jest większa lub mniejsza od średniego opadu odpowiednio obliczonego oddzielnie z odchyleń dodatnich i ujemnych. Metoda ta została zastosowana do wyłonienia anomalii na przykładzie sekularnej serii opadów w Krakowie (Twardosz 2000). W badaniach klimatologicznych znalazła także zastosowanie metoda percentyli (Miętus i in. 2005) do opadów miesięcznych. W niniejszym opracowaniu tę ostatnią metodę już na wstępie odrzucono, pomimo że jest ona coraz częściej stosowana, a nawet usilnie popularyzowana, gdyż z samego założenia nie daje ona możliwości stwierdzenia częstości wartości anomalii, ta jest bowiem z góry przyjęta. Poza tym nie nawiązuje ona do pojęcia anomalii jako odchylenia danej wartości od wartości średniej wieloletniej, przynajmniej 30-letniej, jak wskazuje definicja WMO zamieszczona w Międzynarodowym Słowniku Meteorologicznym (*International...* 1992). Oczywiście nie każde odchylenie od średniej należy traktować jako anomalie. Według Warakomskiego (1989/1990) anomalie należy rozumieć jako pewien dodatni i ujemny przedział wartości. Pojęcie anomalii wskazuje na zjawiska, które pojawiają się rzadko, czyli osiągają „niezwykłe odchylenia”, które są mniej lub bardziej określone (Trepieńska 2000). Czasami zdarza się, że autorzy obliczają wielkość anomalii z długich serii danych (odchylenie od średniej) nie z całego okresu, lecz z 30-letniej serii z okresu normalnego (tzw. okres referencyjny). Należy to jednak uznać za podejście błędne z punktu widzenia statystyki, aczkolwiek niekiedy dające „efektowne” wyniki (np. odchylenie temperatury w XXI w. od średniej z lat 1951–1980).

Z tego względu do wyłonienia anomalnych miesięcy, pół roku czy roku pod względem wielkości opadów znajduje zastosowanie odchylenie standardowe, najczęściej jego 2-, a nawet 3-krotność (Warakomski 1989/1990; Trepieńska 2000; Schönwiese i in. 2003). Ze względu na to, że rozkład statystyczny opadów, zwłaszcza miesięcznych, odznacza się dużą asymetrią (ryc. 2), tzn. sporadycznym pojawianiem się wartości znacznie przewyższających średnią wieloletnią (rozkład prawoskośny), odchylenie standardowe może być z powodzeniem stosowane jako kryterium wyłonienia



Ryc. 2. Częstość (%) sum opadów w lipcu w Wiśle

Fig. 2. Frequency (%) of precipitation totals in July at Wisła

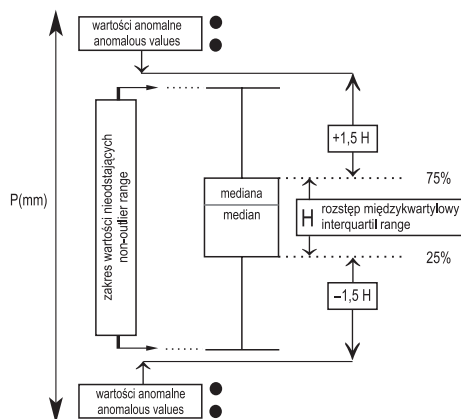
bowiem takie anomalie istnieją, chociaż ujemne skutki ich wystąpienia nie zawsze są tak widoczne jak w przypadku dodatnich. Ich oddziaływanie na środowisko zależy głównie od towarzyszących im warunków termicznych, które mogą przyczynić się np. do pogłębienia suszy czy występowania pożarów, a nawet braku wody dla ludności. Można by zatem nieco złagodzić kryterium przez zastosowanie wielkości chociażby jednego odchylenia standardowego. Konsekwencją takiego założenia byłoby oczywiście zwiększenie częstości również anomalnie wysokich opadów, a nie zawsze o to chodzi. W takiej sytuacji wartościową propozycją może być uwzględnienie dodatkowego kryterium, jakie zaproponowała m.in. Kossowska-Cezak (1993).

W tym opracowaniu podjęto próbę zastosowania nieco innego kryterium wydzielenia anomalnie wysokich opadów. Ponieważ wartość średnia jest wrażliwa na wartości skrajne, zdecydowano się na inną miarę „środkową”, jaką jest mediana, oraz na wartości kwartylowe. Podstawą wyznaczenia wartości anomalnych jest zatem wielkość rozstępu międzykwartylowego 25–75%; wartości mieszczące się w tym zakresie obejmują połowę przypadków. Anomalie należą do grupy zjawisk czy zdarzeń rzadko występujących, dlatego za dolną wartość występowania anomalii dodatniej opadów przyjęto kwartył górny ( $Q_{75\%}$ ) powiększony o 1,5-krotność wielkości rozstępu międzykwartylowego H ( $H = Q_{75\%} - Q_{25\%}$ ), a górną stanowi największa wartość w serii. W statystyce wartości przekraczające taką wielkość rozstępu nazwano „ekstremalnymi”, a wartości przekraczające jego 3-krotność nazwano „odstającymi” (STATISTICA 2010). Występowanie takich skrajnych wartości może być traktowane jako wynik błędu obserwacji lub zapisu albo jako wynik nie-

anomalnie wysokich opadów czy wartości innych elementów klimatu. Jest oczywiste, że w przypadku rozkładu normalnego częstość anomalii dodatnich i ujemnych byłaby jednakowa, ale tak nie jest, ponieważ mają one różną częstość, i poznanie tej częstości jest najistotniejsze.

W przypadku poszukiwania anomalnie niskich opadów, zwłaszcza miesięcznych, ze względu na rozkład asymetryczny ich sum kryterium to może być zbyt ostre. Może to skutkować zupełnym brakiem miesięcy bez opadów (por. ryc. 2), a nawet takich pór roku i lat. Wynik ujęcia statystycznego pozostaje tu w sprzeczności z doświadczeniem. W ogólnym przekonaniu

zwykłych warunków je wywołujących (Stedinger i in. 1993). W przypadku opadów, które cechuje duża naturalna zmienność czasowa, wartości przekraczające 1,5-krotność rozstępu międzykwartylowego będą zatem wartościami nietypowymi (znacznie odbiegającymi od typowego rozkładu statystycznego), czyli wartościami anomalnymi. Ilustrację przyjętej metody wyznaczania anomalii przedstawiono na ryc. 3. Oczywiście jest to dość ostre kryterium statystyczne, ale nadające się do wyznaczania właściwie tylko anomalii dodatnich ( $P \geq Q75\% + 1,5H$ ). W przypadku anomalii ujemnych kryterium to można byłoby złagodzić np. do równowartości rozstępu międzykwartylowego ( $P \leq Q25\% - 1H$ ) lub zastosować dodatkowe kryterium zgodnie z propozycją Kossowskiej-Cezak (1993).



Ryc. 3. Schemat wyłaniania anomalii opadów atmosferycznych (Twardosz 2005, zmien.)

Fig. 3. Scheme for the identification of AHM (Twardosz 2005, modified)

## Częstość miesięcy z anomalnie wysokimi opadami

W przyjętym do badań okresie 130 lat na 16 stacjach stwierdzono łącznie 618 przypadków anomalnie wysokich opadów (AWO) miesięcznych, co stanowi 2,5% wszystkich rozpatrywanych miesięcy (12 miesięcy razy 16 stacji razy 130 lat) (tab. 2). Średnio na każdej stacji było zatem 38,6 anomalii deszczowych miesięcy, co oznacza, że średnio w danym miesiącu wystąpiło 3,2 AWO w ciągu 130 lat, czyli jeden przypadek AWO w danym miesiącu na około 40 lat. Na poszczególnych stacjach liczba AWO była bardzo zróżnicowana; od 29 w Rzeszowie do 48 Nowym Sączu.

Wyraźne zróżnicowanie liczby AWO występuje w ich przebiegu rocznym. Spośród stwierdzonych 618 przypadków AWO (tab. 2) najwięcej było w maju – 78 spośród 618 (tj. 13%) oraz w lutym i lipcu – odpowiednio 68 i 67, razem 137 (tj. 22%). Inaczej można powiedzieć, że średnia liczba przypadków AWO na jednej stacji w 130-leciu wahała się od około 2 w listopadzie, grudniu oraz w marcu, do 4 i więcej w lutym i lipcu, oraz do 5 w maju. Najmniej ich było w listopadzie – 30, oraz marcu i grudniu – odpowiednio 37 i 35 (razem 72). Należy tu zwrócić uwagę, że chociaż na badanym obszarze wyłoniono znaczną liczbę (618) przypadków AWO, to w istocie stanowią one rzadkie zjawisko, zgodnie z pojęciem anomalii, gdyż na



Tab. 2. Przebieg roczny liczby anomalnie wysokich opadów miesięcznych (AWO) na poszczególnych stacjach (1881–2010)

Table 2. Annual distribution of anomalously heavy precipitation months (AHMs) at individual stations (1881–2010)

Stacje Stations	Miesiące/Months												Σ I–XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Wisła	4	2	5	3	6	4	6	5	3	-	3	3	44
Bielsko-Biała	2	3	2	1	8	4	6	6	3	4	2	4	45
Żywiec	3	3	5	5	3	3	4	4	2	2	-	3	37
Wadowice	2	4	4	2	4	3	6	2	1	2	-	4	34
Maków Podhalański	1	5	2	3	2	1	7	3	3	3	1	1	32
Kraków	2	5	2	4	6	2	5	3	7	-	-	2	38
Zakopane	3	3	3	2	4	2	4	5	7	1	6	1	41
Nowy Sącz	2	7	1	3	4	4	4	6	7	4	2	4	48
Krynica	5	2	1	2	6	5	1	3	5	3	2	1	36
Tarnów	4	7	-	3	5	6	4	1	4	4	1	2	41
Jasło	1	2	3	2	8	6	9	3	2	4	2	2	44
Dukla	1	7	1	3	6	4	2	1	3	1	2	4	35
Rzeszów	5	5	2	3	3	2	2	-	1	3	2	1	29
Sanok	1	3	1	3	5	7	1	3	3	3	-	2	32
Wetlina	4	5	2	2	4	5	6	2	1	5	2	-	38
Jarosław	6	5	3	8	4	2	2	3	3	2	5	1	44
Σ	46	68	37	49	78	60	69	50	55	41	30	35	618

poszczególnych stacjach zdarzają się takie miesiące nie częściej niż jeden na 3–5 lat. W 5 miesiącach na niektórych stacjach nie stwierdzono w ogóle anomalnie wysokich sum opadów: w marcu – w Tarnowie, w sierpniu – w Rzeszowie, w październiku – w Wiśle i Krakowie, w listopadzie – w Żywcu, Wadowicach, Krakowie i Sanoku, oraz w grudniu – w Wetlinie. Największą liczbę przypadków AWO w danym miesiącu stwierdzono w lipcu w Jasle – aż 9, oraz w kwietniu – w Jarosławiu, w maju – w Bielsku-Białej i Jasle (po 8 na każdej z tych stacji).

Stwierdzone 618 przypadków AWO wystąpiło w 200 miesiącach 130-lecia 1881–2010 (12,8% miesięcy), co oznacza, że w niektórych latach dane AWO występowały w tym samym miesiącu na kilku stacjach. Szczególnie jest to widoczne w maju, kiedy AWO występowały w 15 latach rozpatrywanego 130-lecia (tab. 3), a liczba stacji, na której się pojawiły, wyniosła 78 (tab. 2). Oznacza to, że ten sam maj był anomalnie wilgotny jednocześnie na średnio 5 stacjach. W listopadzie natomiast obszar objęty anomalnie wysokimi opadami był najmniejszy, występował bowiem średnio na 2 stacjach (w 15 latach na 30 AWO, tab. 2 i 3).



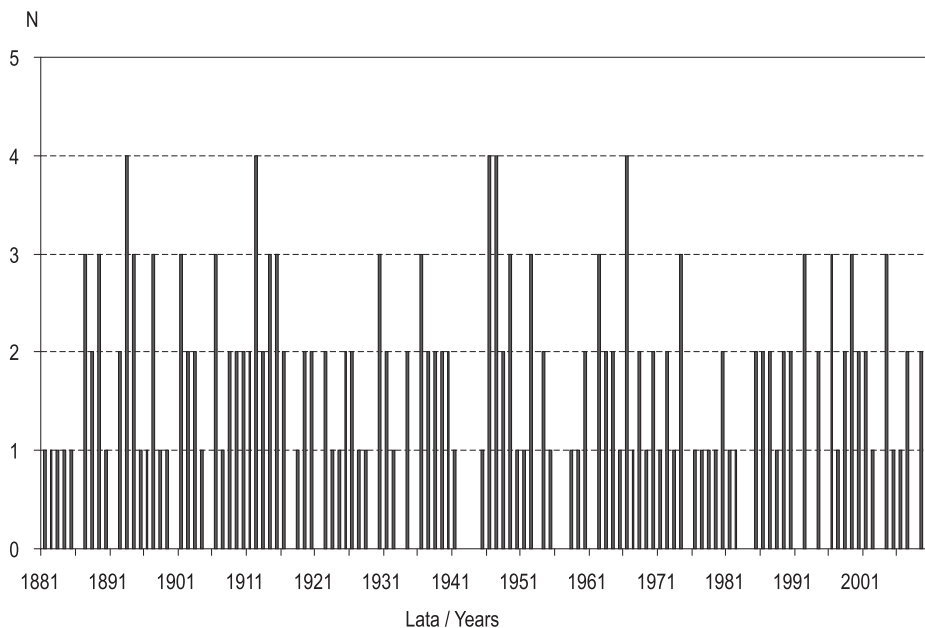
Tab. 3. Liczba miesięcy z AWO w kolejnych 10-letniach

Table 3. Number of AHMs by decades

10-lecia 10-years	Miesiące/Months												Σ I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1881–1890	–	2	1	–	–	1	2	2	3	1	–	3	15
1891–1900	–	4	1	2	–	3	1	2	2	–	–	–	15
1901–1910	1	1	1	1	1	3	3	1	2	1	3	–	18
1911–1920	4	2	1	3	3	–	1	3	2	1	1	–	21
1921–1930	1	1	1	1	1	2	–	3	1	2	–	–	13
1931–1940	1	1	2	–	2	–	1	2	1	5	1	–	16
1941–1950	3	2	3	1	–	2	1	–	–	–	3	1	16
1951–1960	1	1	1	1	1	–	1	–	–	–	2	3	11
1961–1970	–	1	–	3	2	4	2	1	2	1	2	–	18
1971–1980	3	1	–	1	–	3	1	1	–	2	–	1	13
1981–1990	1	–	–	1	2	1	–	1	1	–	1	5	13
1991–2000	–	1	2	4	1	2	2	1	2	–	1	–	16
2001–2010	1	1	1	1	2	2	3	–	2	–	1	1	15
1881–2010	16	18	14	19	15	23	18	17	18	13	15	14	200
Śr./Av.	0,12	0,14	0,11	0,15	0,12	0,18	0,14	0,13	0,14	0,10	0,12	0,11	1,54

Liczba miesięcy z AWO w poszczególnych latach 130-lecia znacznie się wahała – od zupełnego ich braku do 4 w roku (ryc. 4). Miesiące z anomalnie wysokimi opadami w ogóle nie było w 24 latach, 1–2 miesiące z AWO wystąpiły w 82 latach, po 3 – w 19 latach, i po 4 – w 5 latach. Największa liczba miesięcy z AWO (4) była w latach: 1883, 1912, 1946, 1947 i 1966. Były to następujące miesiące w latach: luty, czerwiec, lipiec i sierpień w 1893 r.; luty, kwiecień, maj i wrzesień w 1912 r.; luty, marzec, lipiec i listopad w 1946 r.; styczeń, luty, listopad i grudzień w 1947 r.; luty, kwiecień, maj i lipiec 1966 r.

Rozpatrzono liczbę miesięcy z AWO w poszczególnych 10-letniach (tab. 3). Liczba ta zmieniała się od 11 w latach 1951–1960 do 21 w okresie 1911–1920. Stosunkowo dużo ich było także w latach 1900 i 1960 (po 18), a więc wtedy, kiedy na wszystkich stacjach wystąpiły wysokie opady roczne (Cebulska i in. 2007). W ostatnich dwóch 10-letniach względnie często pojawiały się anomalnie wysokie opady od kwietnia do lipca. Wyraźnie mniej ich było w sierpniu w drugiej połowie rozpatrywanego okresu. Ogólnie można powiedzieć, że w świetle sum 10-letnich nie stwierdza się istotnych zmian liczby miesięcy z anomalnie wysokimi opadami w całym roku ani w poszczególnych miesiącach. Można natomiast zauważyć dużą zmienność liczby AWO w październiku – od zupełnego ich braku w sześciu 10-letniach do aż 5 w latach 1931–1940.



Ryc. 4. Przebieg wieloletni liczby (N) miesięcy z anomalnie wysokimi opadami (AWO)

Fig. 4. Long-term distribution of the number (N) of AHMs

## Wielkość i długotrwałość anomalnie wysokich opadów

Anomalnie wysokie opady wykazują na rozpatrywanym obszarze bardzo duże zróżnicowanie przestrzenne. We wszystkich miesiącach największe AWO przekraczały ponad-2-krotnie najmniejsze AWO (tab. 4). Najmniejsze wartości AWO występują na stacjach położonych na przedpolu Karpackim i w Kotlinie Sądeckiej, największe zaś w Beskidzie Śląskim i w Wetlinie.

Wartości bezwzględne odchyłek (anomalii) AWO, zgodnie z oczekiwaniem, najmniejsze są w miesiącach od listopada do marca, a największe od kwietnia do września, co jest związane z cyklem rocznym opadów. Wynoszą one od 44,5 mm w grudniu w Tarnowie w 1959 r. ( $P_{\max} = 82$  mm i  $P_{\text{sr.}} = 37$  mm) do 425 mm w maju 2010 r. w Wiśle ( $P_{\max} = 536$  mm,  $P_{\text{sr.}} = 111$  mm) (tab. 4). W przebiegu rocznym największa anomalia opadów na różnych stacjach może stanowić zatem 10-krotność najmniejszej.

W świetle miary względnej, jaką jest wartość AWO wyrażona w procentach wielkości opadów średnich miesięcznych, wielkość anomalii  $AWO_{\max}$  waha się od 245% w styczniu 1976 r. w Wadowicach do 484% w maju 2010 r. w Wiśle (tab. 4). Naj-

Tab. 4. Przebieg roczny skrajnych wartości anomalnie wysokich opadów (AWO) i ich charakterystyki

Table 4. Annual distribution of extreme AHMs and their characteristics

Miesiące Months	AWO <sub>min</sub> /AHMs <sub>min</sub>					AWO <sub>max</sub> /AHMs <sub>max</sub>				
	P (mm)	Rok Year	(%) <sup>1</sup>	xH <sup>2</sup>	Stacja Station	P (mm)	Rok Year	(%) <sup>1</sup>	xH <sup>2</sup>	Stacja Station
I	85	1976	245	1,69	Wadowice	168	1976	326 244	3,0 2,0	Krynica Wiśla
II	89	1977	271	2,46	Tarnów	191	1946	303	2,0	Wiśla
III	95	1887	254	1,65	Nowy Sącz	226	2000	298	2,6	Wiśla
IV	128	2001	242	1,61	Wadowice	233	1998	320	3,0	Wetlina
V	202	1940	296	2,32	Rzeszów	536	2010	484	6,9	Wiśla
VI	208	1884	238	1,75	Rzeszów	478	1884	321	4,1	Wiśla
VII	241	1913	259	1,98	Rzeszów	521	2001	377	4,1	Maków Podh.
VIII	188	1882	228	1,54	Tarnów	402	1925	294	3,2	Wiśla
IX	162	1904	288	1,75	Rzeszów	359	1996	354	3,4	Wiśla
X	155	1936	332	2,58	Nowy Sącz	396	1974	419	3,8	Wetlina
XI	98	1962	261	2,01	Nowy Sącz	270	1910	329	2,5	Wetlina
XII	82	1959	219	1,56	Tarnów	210	1952	409	5,0	Bielsko-Biała

<sup>1</sup> procent średniej sumy/percentage of average totals,

<sup>2</sup> wielokrotność rozstępu międzykwartylowego/multiple of interquartile range.

większa jednak anomalia względna opadu miesięcznego nie wystąpiła w przypadku największego AWO<sub>max</sub>, ale AWO w maju 2010 r. w Żywcu, kiedy opady wyniosły 463 mm ( $P_{sr.} = 93$  mm) i osiągnęła 499%. W świetle tej miary wielkość anomalii największej może zatem przekroczyć 2-krotność najmniejszej.

Jako kryterium wyłonienia AWO przyjęto równowartość 1,5-krotności rozstępu międzykwartylowego H. Wielkość anomalii opadów wyrażono również za pomocą wielokrotności tej miary statystycznej (xH). Największą wartość xH uzyskano w przypadku opadów w maju 2010 r. w Wiśle i Bielsku-Białej (xH odpowiednio 6,9 i 6,8). Opady te zatem bardzo odbiegały od typowego rozkładu częstości opadów w tym miesiącu na tych stacjach. Na uwagę zasługuje również bardzo wysoka wartość xH = 5 w przypadku AWO w grudniu w Bielsku-Białej.

W tabeli 5 podano zestawienie 20 miesięcy o najwyższych sumach w 130-leciu zarówno z punktu widzenia bezwzględnej sumy opadów (w mm), jak i względnej (w % średniej sumy); 20 miesięcy odpowiada częstości ok. 2% w ciągu 130 lat (1881–2010). Łatwo zauważyć, że te 2% przypadków o najwyższych opadach miesięcznych najczęściej (11 razy) wystąpiło w lipcu. Miesiące o najwyższym przekroczeniu średniej sumy wieloletniej natomiast pojawiały się w zasadzie w ciągu całego

roku (8 miesięcy). W wyniku w rankingu 20 miesięcy „najbardziej deszczowych” z dwójakiego punktu widzenia zaledwie 7 miesięcy zakwalifikowało się jednocześnie do obu kategorii.

Miesiące o anomalnie wysokich opadach (AWO) najczęściej występowały pojedynczo; w ciągach było tylko 29 miesięcy spośród 200 (tj. 14,5%), z czego 13 razy wystąpiły one w ciągach 2-miesięcznych i jeden raz w ciągu 3-miesięcznym. Zdarzyły się one na 10 stacjach w następujących okresach:

- czerwiec, lipiec i sierpień w 1893 r. w Jasle (suma opadów w lecie 714 mm),
- styczeń i luty w 1911 r. w Zakopanem,
- kwiecień i maj w 1912 r. w Wisle,
- lipiec i sierpień w 1913 r. w Jasle i Wetlinie,
- wrzesień i październik w 1922 r. w Nowym Sączu,

Tab. 5. Miesiące o najwyższych opadach atmosferycznych (1881–2010); A – według sum (mm), B – według wielkości przekroczenia średniej sumy wieloletniej (%)

Table 5. Months with the highest precipitation (1881–2010); A – by precipitation total (mm), B – by the amount by which it exceeds the long-term average (%)

A					B				
Lp.	mm	(%) <sup>1</sup>	Miesiąc i rok Month and year	Stacja Station	Lp.	(%) <sup>1</sup>	mm	Miesiąc i rok Month and year	Stacja Station
1	535	484	V 2010	Wisła	1	499	463	V 2010	Żywiec
2	521	377	VII 2001	Maków Podh.	2	486	516	V 2010	Bielsko-Biała
3	516	486	V 2010	Bielsko-Biała	3	484	535	V 2010	Wisła
4	482	299	VII 1997	Wisła	4	482	418	V 2010	Wadowice
5	478	321	VI 1884	Wisła	5	419	396	X 1974	Wetlina
6	463	499	V 2010	Żywiec	6	409	210	XII 1952	Bielsko-Biała
7	439	240	VII 2001	Zakopane	7	402	154	III 1946	Jarosław
8	438	239	VII 1960	Zakopane	8	399	157	I 1954	Sanok
9	437	271	VII 1960	Wisła	9	398	140	I 1911	Nowy Sącz
10	433	269	VII 1908	Wisła	10	393	251	X 1939	Maków Podh.
11	432	236	VII 1903	Zakopane	11	389	132	III 1946	Rzeszów
12	423	231	VII 1934	Zakopane	12	389	283	V 2010	Tarnów
13	418	482	V 2010	Wadowice	13	388	285	V 2010	Kraków
14	402	294	VIII 1925	Wisła	14	381	184	IV 1898	Nowy Sącz
15	400	240	VI 1884	Zakopane	15	379	201	X 1974	Jasło
16	396	419	X 1974	Wetlina	16	378	220	IV 1916	Żywiec
17	388	273	VII 1960	Bielsko-Biała	17	378	182	X 1974	Rzeszów
18	387	285	VI 1925	Bielsko-Biała	18	378	191	X 1974	Tarnów
19	385	271	VII 1966	Bielsko-Biała	19	377	521	VII 2001	Maków Podh.
20	385	280	VII 1980	Wetlina	20	374	276	IX 1996	Sanok

<sup>1</sup> procent średniej sumy/percentage of average totals.

- styczeń i luty w 1936 r. w Wetlinie,
- luty i marzec w 1946 r. w Rzeszowie i Jarosławiu,
- listopad i grudzień w 1947 r. w Bielsku-Białej i Dukli,
- marzec i kwiecień w 1994 r. w Wiśle i Żywcu,
- sierpień i wrzesień w 1996 r. w Krakowie.

Należy podkreślić, że prawie wszystkie ciągi AWO występowały tylko w zachodniej albo – częściej – wschodniej części rozpatrywanego obszaru. Obejmowały różne pary kolejnych miesięcy, ale anomalnie wilgotne nie były ani razu maj i czerwiec, październik i listopad oraz grudzień i styczeń. Utrzymywanie się wysokich opadów przez 2, a nawet przez 3 kolejne miesiące świadczy zatem o długotrwałości warunków cyrkulacyjnych sprzyjających takim opadom.

Na rozpatrywanym obszarze czasami anomalnie wysokie opady występowały rok po roku w tym samym miesiącu; było ich 24. Były to następujące miesiące:

- styczeń w 1915 i 1916 r. w Tarnowie i Rzeszowie oraz w 1947 i 1948 r. w Jarosławiu,
- luty w 1946 i 1947 r. w Krakowie i Rzeszowie,
- maj w 1919 i 1920 r. w Nowym Sączu oraz w 1939 i 1940 r. w Bielsku-Białej, Wiśle, Żywcu, Wadowicach, Zakopanem, Krynicy, Tarnowie, Rzeszowie, Sanoku, Dukli, Jaśle, Wetlinie i Jarosławiu,
- czerwiec w 1893 i 1894 r. w Sanoku oraz w 1973 i 1974 r. w Jaśle,
- lipiec w 2000 i 2001 r. w Wadowicach,
- październik w 1938 i 1939 r. w Wadowicach,
- grudzień w 1888 i 1889 r. w Nowym Sączu.

## Zasięg i lokalizacja miesięcy z anomalnie wysokimi opadami

Spośród 200 miesięcy z AWO prawie połowa (88, czyli 44%) zdarzyła się tylko na pojedynczej stacji (tab. 6). Najbardziej pod tym względem wyróżnił się Jarosław (16 AWO), tzn. stacja najbardziej wysunięta na wschód rozpatrywanego obszaru. Stosunkowo dużo pojedynczych miesięcy z AWO wystąpiło także w Nowym Sączu i Wetlinie (po 11). Na dwóch stacjach jednocześnie wystąpiło 36 (18%) anomalnie wysokich opadów; nie zawsze były to stacje sąsiednie, a czasem nawet znajdowały się na skrajnych obszarach. Ogólnie 145 miesięcy AWO, czyli prawie 73%, wystąpiło na nie więcej niż 3 stacjach.

Tab. 6. Liczba AWO (2) występujących jednocześnie na określonej liczbie stacji (1)

Table 6. Number of AHMs (2) recorded simultaneously at particular numbers of stations (1)

1.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ
2.	88	36	21	9	15	9	2	6	3	1	4	–	2	–	1	3	200

Szczegółową charakterystykę poszczególnych miesięcy z AWO przeprowadzono w odniesieniu do tych, które wystąpiły na co najmniej 4 stacjach (25% uwzględnionych stacji). W rozpatrywanym 130-leciu stwierdzono 55 takich przypadków (tab. 7).

Spośród wyłonionych miesięcy z 55 AWO najmniej było jesiennych – 10, zimowych i wiosennych było po 13, a najwięcej letnich – 19. W okresie 130 lat AWO wystąpiły 2-krotnie na wszystkich 16 uwzględnionych stacjach – w maju 1940 i 2010 r. Szczególnie duże opady wystąpiły w maju 2010 r.; wahały się one od 179 mm (263% średnich opadów) w Rzeszowie do 536 mm (484%) w Wiśle. Na 9 stacjach, głównie w zachodniej części obszaru, sumy opadów w tym miesiącu były największe w 130-leciu. Skutkiem tych niezwykle wysokich opadów była powódź w Polsce Południowej (Maciejewski i in. 2011). Podobny zasięg przestrzenny miały AWO w maju 1940 r., tylko jednak na dwóch stacjach (w Rzeszowie i Jarosławiu) opady były największe w 130-leciu. Wyniosły one odpowiednio 202 i 206 mm, co stanowi odpowiednio 296 i 292% średniej wartości. Choć nie były to największe bezwzględne wartości (w Bielsku-Białej było 281 mm), to osiągnęły największe wartości anomalii wyrażonej w procentach średniej sumy. Ogólnie można powiedzieć, że sumy miesięczne opadów w 1940 r. na większości stacji, głównie w zachodniej części obszaru, były około połowę mniejsze niż w maju 2010 r. Opady te spowodowały jednak wystąpienie powodzi na całym obszarze górnej Wisły (Punzet 1994). Bardzo dużym

Tab. 7. Kalendarz anomalnie wysokich opadów występujących przynajmniej na 4 stacjach; pogrubioną czcionką oznaczono wartości największe w wieloleciu

Table 7. Calendar of AHMs recorded at four stations at least: maximum values in the 130-year period in bold type

Rok Year	Miesiąc Month	Liczba stacji Number stations	Stacje (nr według tab 1) Stations (numbers as in Tab. 1)
1882	VIII	5	3, 6, <b>7, 8, 10</b>
1884	VI	11	<b>1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15</b>
1885	VII	4	1, 2, 5, 6
1890	X	4	8, 9, <b>14, 15</b>
1894	VI	5	1, 3, <b>14, 15, 16</b>
1897	III	5	<b>3, 6, 7, 11, 14</b>
1898	IV	11	3, 5, 6, <b>7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16</b>
1899	IX	5	6, 7, 8, 9, 10
1906	III	5	3, 4, 5, 6, 7
1908	VII	6	1, 2, 5, 6, <b>10, 11</b>
1911	I	5	1, <b>2, 7, 8, 9</b>
1912	II	4	10, <b>13, 14, 16</b>
1913	VIII	6	2, 8, <b>9, 11, 12, 15</b>

Rok Year	Miesiąc Month	Liczba stacji Number stations	Stacje (nr według tab 1) Stations (numbers as in Tab. 1)
1916	I	4	1, 9, 10, 13
	IV	11	1, <b>3</b> , <b>5</b> , <b>6</b> , 7, <b>10</b> , 11, 12, <b>13</b> , 14, 16
1919	V	5	2, 6, 8, 11, 12
1920	I	5	2, 3, 4, 9, 13
1931	IX	9	1, 2, 3, <b>5</b> , <b>7</b> , 8, <b>9</b> , 10, 12
1934	VII	5	5, 7, 8, <b>10</b> , <b>11</b>
1936	II	5	8, 10, <b>11</b> , 14, 15
	X	4	5, <b>8</b> , 9, 10
1938	VIII	4	1, 7, 8, 9
1939	V	13	1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
1939	X	10	2, <b>3</b> , <b>4</b> , <b>5</b> , 10, 11, 13, 14, 15, 16
1940	V	<b>16</b>	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, <b>13</b> , 14, 15, <b>16</b>
1946	II	13	<b>1</b> , <b>2</b> , <b>3</b> , 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, <b>14</b> , <b>16</b>
1947	XI	8	1, <b>2</b> , 7, 8, <b>9</b> , 11, <b>12</b> , 13
1948	VI	6	7, 10, <b>11</b> , 12, 14, 15
1952	II	8	2, 3, 4, <b>5</b> , 6, 7, <b>8</b> , <b>9</b>
1954	XII	9	1, 2, 3, 4, <b>6</b> , 8, <b>9</b> , 10, <b>12</b>
1960	VII	9	1, <b>2</b> , 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
1966	II	7	5, 6, 8, 9, 10, 12, 16
	V	4	1, 2, 6, 10
1970	VII	6	1, <b>3</b> , 4, 5, 10, 11
1972	VIII	6	1, <b>2</b> , <b>4</b> , <b>5</b> , 7, 11
1974	VI	4	10, 11, <b>15</b> , <b>16</b>
	X	8	3, 8, <b>10</b> , <b>11</b> , <b>12</b> , <b>13</b> , <b>15</b> , <b>16</b>
1976	I	14	<b>1</b> , <b>3</b> , <b>4</b> , <b>5</b> , 6, 7, 8, <b>9</b> , <b>10</b> , <b>11</b> , <b>12</b> , 13, 15, <b>16</b>
1977	II	11	1, 2, 3, 4, <b>5</b> , <b>6</b> , <b>10</b> , 12, 13, 15, 16
1980	VII	6	11, 12, 13, <b>14</b> , <b>15</b> , <b>16</b>
	X	5	7, 9, 11, 14, 15
1982	XII	8	<b>4</b> , 6, 7, 8, <b>11</b> , 12, <b>13</b> , <b>14</b>
1985	VIII	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9
1989	V	5	9, 11, 12, 14, 15
1994	IV	5	1, 2, 3, 4, 6
1996	IX	6	<b>1</b> , 5, 6, 7, <b>12</b> , <b>14</b>
1997	VII	7	<b>1</b> , 2, 3, 4, 5, 6, 8
2000	III	6	<b>1</b> , 2, 3, 4, <b>5</b> , 7
	VII	5	1, 2, 3, 4, 11
2001	VII	6	<b>4</b> , <b>5</b> , <b>7</b> , <b>8</b> , <b>9</b> , <b>12</b>
2004	II	5	4, 10, 12, 13, 16
2006	VI	4	8, 9, <b>10</b> , 12
2007	IX	15	1, 2, <b>3</b> , <b>4</b> , 5, 6, 7, 8, 9, <b>10</b> , 11, 12, 14, <b>15</b> , 16
2009	III	8	1, 2, 3, 4, 11, <b>12</b> , 13, 16
2010	V	<b>16</b>	<b>1</b> , <b>2</b> , <b>3</b> , 4, 5, 6, <b>7</b> , <b>8</b> , <b>9</b> , <b>10</b> , 11, 12, 13, 14, <b>15</b> , 16



zasięgiem przestrzennym wyróżniły się również AWO w maju 1939 r. Wystąpiły na 13 stacjach. AWO nie stwierdzono wtedy tylko w Krakowie, Makowie Podhalańskim i Nowym Sączu. Największa suma opadów wystąpiła wtedy w Zakopanem – 255 mm, a największą anomalie wyrażoną w procentach stwierdzono w Wiśle – 223%.

W cieplej połowie roku zdarzył się jeszcze jeden przypadek AWO – we wrześniu 2007 r. – który swym zasięgiem objął prawie cały obszar – 15 stacji, bez Rzeszowa. Na 5 stacjach: w Żywcu, Wadowicach, Krakowie, Tarnowie i Wetlinie sumy opadów były największe we wrześniu w 130-leciu. W Żywcu i Wiśle opad z sumą odpowiednio 226 i 293 mm w największym stopniu przewyższył wartość średnią – 290%.

Do anomalnie wysokich opadów o bardzo dużym zasięgu przestrzennym należały także opady w styczniu 1976 i lutym 1946. W pierwszym przypadku AWO wystąpiły na 14 stacjach, bez Bielska-Białej i Sanoka. Aż na 9 stacjach sumy opadów w styczniu osiągnęły wartości największe w 130-leciu. Największa miesięczna suma była w Wiśle ( $P = 168$  mm i 244% średniej), a największe przewyższenie średniej sumy 351% stwierdzono w Żywcu ( $P = 147$  mm). W drugim przypadku AWO objęły 13 stacji, bez Nowego Sącza, Krynicy i Wetliny. W Wiśle, Żywcu, Sanoku i Jarosławiu sumy opadów w tym miesiącu były skrajnie wysokie. Największa suma wystąpiła w Wiśle ( $P = 191$  mm), a największe przewyższenie średniego opadu (314%) – w Żywcu ( $P = 121$  mm). Do anomalnie wysokich opadów o największym zasięgu przestrzennym – 11 stacji – w miesiącach letnich należały opady w czerwcu 1884 r. Nie objęły one części środkowo-zachodniej Karpat i Jarosławia. Maksymalna suma miesięczna wystąpiła w Wiśle – 478 mm; była to jednocześnie największa anomalia opadów wyrażona w wartości względnej – 321%.

Podobnym zasięgiem przestrzennym cechowały się AWO w lutym 1977 r. oraz kwietniu 1898 i 1916 r. – po 11 stacji. W obu przypadkach w kwietniu była podobna liczba stacji 5–6, na których wystąpił największy opad w 130-leciu; w Bielsku-Białej i Wetlinie nie wystąpiły AWO. Podobna też była wielkość anomalii opadów, zarówno w wartościach względnych, jak i bezwzględnych (największe sumy około 200 mm, a przewyższenie średniej 380%). W lutym 1977 r. AWO wystąpiły w zachodniej i północnej części obszaru oraz w Wetlinie i Dukli. Największe opady były w Wiśle – 171 mm (przewyższenie średniej sumy 272%), a największą anomalie wyrażoną w wartościach względnych stwierdzono w Wadowicach – 368% ( $P = 120$  mm).

Na uwagę zasługują anomalnie wysokie opady, które wystąpiły na mniejszej liczbie stacji, ale na większości z nich opady były największe w 130-leciu. Do takich AWO należały m.in. opady w październiku 1974 r. z 6 takimi stacjami (spośród 8 objętych badaniami) oraz w lipcu 2001 r. (z 5 stacjami spośród 6). Do szczególnych pod tym względem należą anomalnie wysokie opady w marcu 1897 r., które wystąpiły na 5 stacjach i na wszystkich były to opady największe w wieloleciu.

Niektóre anomalnie wysokie opady miesięczne o mniejszym zasięgu przestrzennym były skupione na jednym obszarze, a mianowicie w części zachodniej

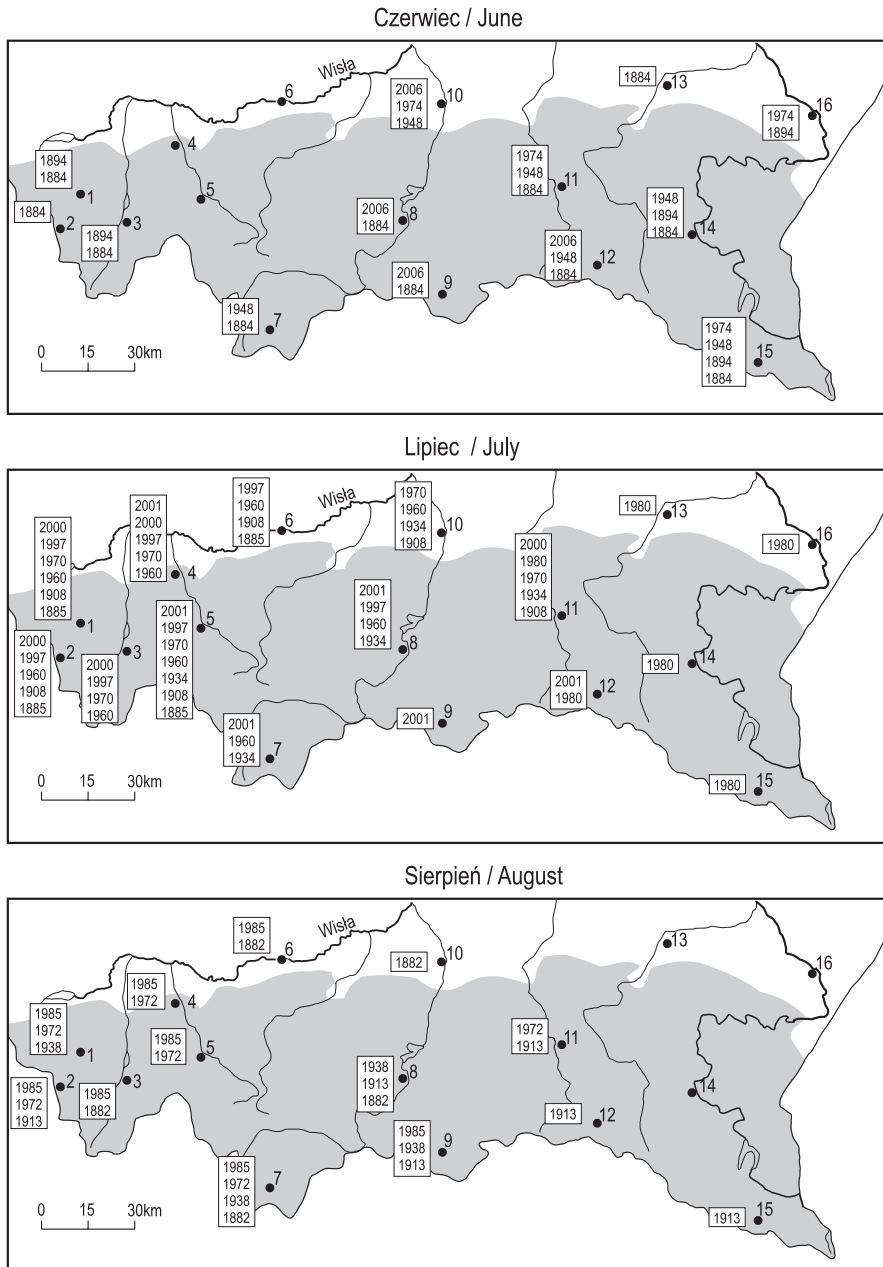
rozpatrywanego obszaru odnotowano 12 miesięcy z AWO: styczeń 1911, luty 1952, marzec 1906 i 2000, kwiecień 1994, lipiec 1885, 1960 i 1997, sierpień 1882, 1938 i 1985 i październik 1936; w części środkowej – 2 miesiące z AWO: wrzesień 1899 i czerwiec 2006; w części wschodniej natomiast 6 miesięcy z AWO: luty 1912 i 1936, maj 1989, czerwiec 1948 i 1974 oraz lipiec 1980.

Szczególnie interesująco przedstawia się rozkład AWO miesięcznych występujących na więcej niż 3 stacjach na obszarze badań w miesiącach letnich (ryc. 5). W czerwcu najwięcej AWO w 130-leciu wystąpiło w części południowo-wschodniej (do 4 w Wetlinie), a w zachodniej części – do 2. W sierpniu natomiast w części wschodniej nie było miesięcy z AWO, z jednoczesną znaczną ich częstością na obszarze zachodnim.

Można zauważyć, że w lipcu w części zachodniej oraz środkowo-północnej wystąpiła największa liczba 4–7 miesięcy z AWO, a w części południowo-wschodniej i wschodniej było to 1–2.

## **Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie anomalnie wysokich opadów**

Rozpatrzono częstość typów cyrkulacji w 200 miesiącach z anomalnie wysokimi opadami (AWO) (tab. 8). Przyjęto typy według kalendarza cyrkulacji Niedźwiedzia (1981, 2014). Takie podejście ukazuje tylko pewien uproszczony obraz roli cyrkulacji w kształtowaniu wysokich opadów. Do jego pełnego ukazania konieczne byłoby uwzględnienie liczby dni z opadem o różnej wielkości na poszczególnych stacjach. Zgodnie z oczekiwaniem należy stwierdzić, że występowaniu AWO sprzyjają cyklonalne typy cyrkulacji, w kwietniu ponad 60% częstości (tab. 8). Rodzaj układu barycznego ma zatem większe znaczenie niż kierunek adwekcji. We wszystkich miesiącach z anomalnie wysokimi opadami występuje jeden z najczęstszych typów cyrkulacji – Wc lub Bc. W miesiącach od października do marca jest to typ cyrkulacji cyklonalnej zachodniej Wc – od 12% w marcu do 19% w listopadzie. Istotne znaczenie ma wtedy także większa częstość innych typów cyklonalnych z sektora zachodniego SWc i NWc (razem 9–17%) oraz typu Wa (10–16%). W okresie zimowym, zwłaszcza w styczniu, istnieje nad Polską tendencja do zbieżności średniego strumienia pary wodnej, czego skutkiem są wyższe opady w typach cyrkulacji z sektora zachodniego na tle pozostałych typów (Twardosz 2005). W pozostałych miesiącach największą częstość osiąga bruzda cyklonalna Bc – od 11% do 15% oraz niewiele mniej – klin wyżowy Ka – od 10% do 14%. W letnich miesiącach z AWO zwiększa się także częstość typów cyrkulacji z sektora północnego. Te typy cyrkulacji sprzyjają występowaniu obfitych opadów, głównie w strefie frontu chłodnego lub stacjonarnego i o długim czasie ich trwania (Twardosz 2005). Podobne prawidłowości cyrkula-



Ryc. 5. Występowanie anomalnie wysokich opadów (AWO) w miesiącach letnich  
 Fig. 5. Occurrence of AHMs in summer months

Tab. 8. Częstość (%) typów cyrkulacji w południowej Polsce w miesiącach z anomalnie wysokim opadem AWO

Table 8. Frequency (%) of circulation types in the southern Poland during AHMs.

Typ cyrkulacji Circulation type		Miesiące/Months											
		I	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Na	1,6	2,0	5,3	2,5	4,9	6,5	6,1	4,9	3,0	2,2	1,1	2,8
2	NEa	2,0	2,5	1,4	3,7	5,8	5,1	4,5	5,7	5,0	2,2	0,9	1,6
3	Ea	5,8	4,5	4,4	6,7	5,6	1,7	2,0	5,1	7,0	6,7	2,0	3,0
4	SEa	7,3	5,1	4,1	2,3	3,4	1,2	0,4	2,7	5,7	5,0	4,0	2,5
5	Sa	3,2	1,6	2,1	1,1	1,5	1,4	0,9	1,3	2,6	2,0	3,6	3,2
6	SWa	3,2	0,8	3,9	1,9	1,3	1,3	1,1	2,7	4,3	5,2	3,6	4,4
7	Wa	12,7	11,7	9,9	4,7	4,3	4,8	7,7	10,1	8,0	12,2	10,2	16,1
8	NWa	6,9	4,1	7,1	3,0	4,1	5,5	5,7	4,7	6,9	2,7	4,9	5,3
9	Ca	1,2	0,8	1,2	1,1	0,4	1,9	1,3	0,9	0,7	2,2	0,9	2,5
10	Ka	7,3	6,1	6,5	10,2	12,0	12,3	13,6	12,5	9,6	7,2	8,9	6,5
11	Nc	2,8	4,9	4,6	6,5	7,5	8,0	10,4	5,9	4,4	2,5	2,4	1,6
12	NEc	1,2	3,1	2,1	4,6	4,9	5,7	3,4	4,6	2,6	2,7	1,6	2,1
13	Ec	1,8	2,3	2,3	3,3	4,5	3,9	0,9	0,9	2,2	3,7	2,9	1,4
14	SEc	1,2	4,1	3,2	3,2	5,8	1,6	1,6	1,9	3,1	1,5	3,8	2,3
15	Sc	1,6	4,3	4,4	4,6	3,2	1,0	1,1	1,3	2,4	3,5	5,8	6,2
16	SWc	6,3	8,4	5,3	6,3	3,4	2,8	3,0	2,1	3,7	5,5	8,0	4,1
17	Wc	<b>16,9</b>	<b>14,3</b>	<b>12,2</b>	9,6	3,9	8,8	9,5	10,6	10,0	<b>15,1</b>	<b>18,9</b>	<b>16,6</b>
18	NWc	9,3	8,8	8,1	5,1	5,8	8,3	9,1	6,8	5,9	4,7	5,8	8,1
19	Cc	0,4	1,4	0,9	2,5	1,9	2,6	0,7	1,3	0,7	2,2	2,0	1,2
20	Bc	5,0	7,4	9,4	<b>14,9</b>	<b>14,0</b>	<b>14,9</b>	<b>15,1</b>	<b>12,7</b>	<b>10,7</b>	9,4	7,1	6,7
21	X	2,2	2,0	1,6	2,5	1,5	0,7	2,0	1,1	1,3	1,5	1,8	1,8
1–21	Suma Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
01–10	a	51,2	39,1	45,9	37,0	43,4	41,7	43,2	50,9	52,8	47,6	40,0	47,9
11–20	C	46,6	59,0	52,5	60,5	55,1	57,5	54,8	48,0	45,9	50,9	58,2	50,2

cyjnych uwarunkowań występowania anomalnie wysokich opadów stwierdzono w innych obszarach Polski (Kossowska-Cezak 1997). Przy tych typach cyrkulacji wystąpiły prawie wszystkie opady dobowe w Krakowie w niezwykle mokrym maju 2010 r. (Woźniak 2012). Wysokie sumy opadów miesięcznych w południowej Polsce mogą się także pojawiać w typach cyrkulacji antycyklonalnej zwłaszcza w sytuacji wystąpienia klina antycyklonalnego Ka (Twardosz 2005). Latem w wyniku silnej konwekcji termicznej w jednorodnych masach powietrznych mogą się tworzyć opady ulewne o zasięgu lokalnym.

## Podsumowanie

Za podstawę do wyłonienia anomalnie wysokich opadów miesięcznych przyjęto wielkość sumy odpowiadającej kwartyłowi górnemu powiększonemu o 1,5-krotność rozstępu międzykwartyłowego w 130-letniej serii pomiarowej. Badaniem objęto 16 stacji meteorologicznych na obszarze polskich Karpat i ich przedpola.

W okresie 130 lat (1881–2010) miesiące o anomalnie wysokich opadach (AWO) wystąpiły w 106 latach (razem 200 miesięcy). W większości miesiący pojawiały się one tylko na pojedynczej stacji (44%) lub dwóch, zwykle sąsiednich (spośród rozpatrywanych 16 stacji), co wyraźnie wskazuje, że o występowaniu bardzo dużych opadów decydują uwarunkowania nie tylko cyrkulacyjne, ale także lokalne. Na największej liczbie stacji AWO występowały w maju (średnio 5 stacji), a na najmniejszej – w listopadzie (średnio 2 stacje).

Na poszczególnych stacjach liczba przypadków miesiący z AWO była bardzo różnicowana; od 29 w Rzeszowie do 48 Nowym Sączu; średnio 39.

W przebiegu wieloletnim częstości miesiący z AWO nie stwierdzono zmian istotnych statystycznie. Na pojedynczych stacjach trudno uchwycić takie zmiany ze względu na małą liczbę zdarzeń (w danym miesiącu kalendarzowym raz na kilkadziesiąt lat). Można natomiast stwierdzić, że występowanie miesiący z AWO dobrze koreluje z fluktuacjami sum rocznych. Większa częstość AWO i wzrost ich sum, nie tylko w miesiącach letnich, przyczynia się do wzrostu ogólnej sumy opadów.

W rozpatrywanym okresie wystąpiły dwa miesiące, w których AWO objęły cały rozpatrywany obszar, tzn. wszystkie 16 stacji. Było to w maju 1940 i 2010 r. Skutkiem ich wystąpienia były powodzie, które zaliczono do katastrofalnych. Opady w maju 2010 r. cechowały się zarówno największymi bezwzględными sumami przekraczającymi 500 mm w Beskidzie Śląskim, jak i wartościami względnymi, czyli przekroczeniem średniej wieloletniej sumy. W tym drugim przypadku największą anomalię względną stwierdzono w Bielsku-Białej (487% średniej sumy). Również duży obszar objęty AWO (13–15 stacji) stwierdzono we wrześniu 2007 r., styczniu 1976 r., lutym 1946 r. i maju 1939 r.

Niektóre anomalnie wysokie opady miesięczne o mniejszym zasięgu przestrzennym wystąpiły tylko w jednej części obszaru. W części zachodniej polskich Karpat i ich przedpola pojawiło się ich 12, w środkowej 2, a wschodniej 6. Większa częstość miesiący z AWO w części zachodniej jest niewątpliwie związana z dużym udziałem w tych miesiącach cyrkulacji z sektora zachodniego.

W miesiącach z anomalnie wysokimi opadami, zgodnie z wcześniejszą wiedzą, przeważają typy cyrkulacji cyklonalnej. W miesiącach od października do marca są to głównie typy cyrkulacji z sektora zachodniego, zwłaszcza typ Wc, a od kwietnia do września bruzda cyklonalna Bc, a także klin wyżowy Ka. Te przeciwstawne typy cyrkulacji wskazują na genezę AWO: są to zarówno opady w aktywnych frontach atmosferycznych, jak i silne opady konwekcyjne.

## Literatura

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*, International Journal of Climatology, 6, 661–675.
- Cebulak E., 1998/1999, *Charakterystyka wysokich opadów wywołujących wezbrania rzek karpackich*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 29–30, 43–65.
- Cebulska M., Twardosz R., Cichoński J., 2007, *Zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły w latach 1881–2030*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 383–390.
- Hellmann G., 1906, *Die Niederschläge in den Norddeutschen Stromgebieten*, Zweiter Band, Tabellen I, Berlin, Dietrich Reimer.
- International Meteorological Vocabulary*, 1992, WMO, No. 182, Geneva.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [w:] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (red.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geograficzne PAN, 33.
- Kossowska-Cezak, 1993, *Okresy z niedostatkami opadów w 120-leciu 1871–1990 (na przykładzie Warszawy)*, Przegląd Geofizyczny, 3–4, 213–222.
- Kossowska-Cezak U., 1997, *Miesięczne warunki termiczno-opadowe i ich zależność od cyrkulacji atmosferycznej*, Prace i Studia Geograficzne 144–125 ,20.
- Kossowska-Cezak U., 2012, *Nadmiary i niedostatki opadów atmosferycznych we wschodniej części Niziny Mazowieckiej (na przykładzie Warszawy-Okęcia i Siedlec)*, Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin w Warszawie, Seria Geograficzno-Turystyczna, 5, 9, 9–42.
- Koźuchowski K. (red.), 2004, *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Zakład Dynamiki Środowiska i Bioklimatologii UŁ, Łódź.
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., 2005, *Zmienność warunków opadowych w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego w świetle kwantylowej klasyfikacji opadowej*, Materiały Badawcze IMGW, Meteorologia, 37.
- Maciejewski M., Ostojski M., Walczykiewicz T. (red.), 2011, *Dorzecze Wisły. Monografia powodzi maj–czerwiec 2010*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Mrugala S., 2001, *Opady atmosferyczne o normalnej i anomalnej wysokości na obszarze Polski (1951–1990)*, Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na różnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu dorzecza górnej Wisły*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 58.
- Niedźwiedz T., 2014, *Kalendarz typów cyrkulacji dla obszaru Polski Południowej (09.1873–18.01.2011)*, Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, plik komputerowy dostępny on line.:<http://klimat.wnoz.us.edu.pl/>.

- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1991, *Klimat*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, Wydawnictwo PWN, 68–84.
- Niedźwiedz T., Twardosz R., Walanus A., 2009, *Long-term variability of precipitation series in east central Europe in relation to circulation patterns*, *Theoretical and Applied Climatology*, 98, 3–4, 337–350.
- Punzet J., 1994, *Katastrofalne powodzie w dorzeczu górnej Wisły w XX wieku*, IMGW, Kraków.
- Schönwiese C.-D., Grieser J., Trömel S., 2003, *Secular change of extreme monthly precipitation in Europe*, *Theoretical and Applied Climatology*, 75, 245–250.
- STATISTICA (*Data analysis software system*), 2010, version 6. StatSoft, Inc. www.statsoft.com.
- Stedinger J.R., Vogel R.M., Foufoula-Georgiou E., 1993, *Frequency Analysis of Extreme Events*, [w:] D.R. Maidment (red.), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1810–1823.
- Trepińska J., 2000, *Anomalie, cykle i trendy termiczne w klimatologii na przykładzie fluktuacji termicznych w Europie Środkowej w XIX i XX wieku*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geographia*, 31, 106, 307–326.
- Trömel S., Schönwiese C.D., 2007, *Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany*, *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 29–39.
- Twardosz R., 2000, *Opady normalne i anomalne w Krakowie w latach 1850–1998*, *Przegląd Geofizyczny*, 2, 171–182.
- Twardosz R., 2005, *Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002)*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- Ustrnul Z., Kowanetz L., Matuszko D., Twardosz R., Piotrowicz K., Wypych A., 2009, *Klimatyczne uwarunkowania rozwoju rolnictwa w dorzeczu górnej Wisły na przełomie XX i XXI wieku*, [w:] Z. Górka, A. Zborowski (red.), *Człowiek i rolnictwo*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 135–147.
- Warakomski W., 1989/1990, *W poszukiwaniu koncepcji anomalii klimatycznych*, *Annales UMCS, sec. B*, 44/45, 211–224.
- Warakomski W., 1997, *Problemy z klasyfikacją i przewidywaniem pogodowych zjawisk ekstremalnych*, *Symposium Jubileuszowe Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*, PTGeof. 12–14 listopada 1997, Warszawa, 169–174.
- Woźniak A., 2012, *Opady w 2010 roku w Krakowie na tle wielolecia 1863–2010*, *Przegląd Geofizyczny*, 3–4, 406–419.
- Woźniak A., 2013, *Opady w 2010 roku w Karpatach Polskich na tle wielolecia 1881–2010*, *Prace Geograficzne*, 133, 35–48.

Robert Twardosz  
Uniwersytet Jagielloński  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków  
e-mail: r.twardosz@uj.edu.pl

Marta Cebulka  
Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Środowiska  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków  
e-mail: marta.cebulka@iigw.pl