

Marcin WADOWIKOWSKI\*

## **WSKAŹNIKOWA OCENA STRUKTURY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W ZLEWNI RZECZNEJ WIDAWY**

Niniejsza praca dotyczy wskaźnikowej oceny struktury opadów atmosferycznych na obszarze zlewni Widawy. Analizie poddano sumy dobowe opadów atmosferycznych rejestrowane na dwóch stacjach pomiarowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego we Wrocławiu (Namysłów i Chełstów) oraz w Obserwatorium Agro- Hydrometeorologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (Wrocław – Swojec). Materiał źródłowy stanowiły archiwalne dane pomiarowe, z trzech stacji, obejmujące lata 1961-2010. W oparciu o przyjęte wskaźniki, wykazano zróżnicowanie czasowe i przestrzenne opadów w zlewni Widawy. W przebiegach wieloletnich widoczna jest malejąca tendencja zmian, jednak nieistotna statystycznie. Najwyższe sumy opadów przypadają na lipiec i sierpień, natomiast najczęściej występują zdarzenia opadowe do 10 mm. Ciągi opadów ze stacji opadowych są porównywalne, przy czym Wrocław-Swojec i Namysłów rejestrowały zbliżone wartości, a stacja w Chełstowie notowała opady wyższe nawet do 30%. Odchylenia od normy wieloletniej na wszystkich stacjach nie przekraczały 50%.

### **1. WPROWADZENIE**

Opady atmosferyczne, pomimo niskiego udziału procentowego w obiegu wody na Ziemi, są jednym z integralnych elementów, które prowadzą do powstania odpływu powierzchniowego z kontynentu do oceanu i mają decydujące znaczenie w procesach kształtowania środowiska naturalnego [1, 2, 10]. Informacja o opadach atmosferycznych w ujęciu lokalnym jakim są poszczególne państwa, regiony geograficzne czy wododziały i zlewnie rzeczne, są istotne z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i ich mienia (możliwość wystąpienia powodzi czy susz), jak również w celu maksymalnego wykorzystania danego obszaru na potrzeby przemysłu, rolnictwa i eksploatacji infrastruktury związanej z życiem i aktywnością człowieka. Poja-

---

\* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB Oddział we Wrocławiu

wienie się ekstremów opadowych, z matematycznego punktu widzenia, rozumianych jako wystąpienie wartości minimalnych i maksymalnych, jest szczególnie ważne w badaniach nad strukturą czasową i przestrzenną na danym obszarze. W Polsce wspomnianych analiz dokonuje się w oparciu o rozległą sieć pomiarową ale również w pomiarowych stacjach reprezentatywnych dla danego obszaru, np. zlewni rzeki, na podstawie danych punktowych [5, 14, 31, 32, 38]. Badania nad opadami atmosferycznymi z wykorzystaniem różnorodnych wskaźników, tj. wartości średnie i maksymalne sum dekadowych, miesięcznych i sezonowych, liczba dni z opadem, częstość występowania opadów poszczególnych przedziałach wysokości opadu oraz wskaźnik zmienności względnej odnoszący się do normy wieloletniej, podejmowane były w pracach bardzo zróżnicowanej grupy specjalistów dziedzin takich jak: meteorologia i klimatologia [5, 8, 10, 14, 16, 18, 19, 23], hydrologia [2, 20, 26, 27, 28, 33, 37], agrometeorologia [6, 25, 30], a nawet inżynieria środowiska [11, 12, 13, 15, 17] czy statystyka matematyczna, bez której zapewne wykonanie podstawowych analiz nie byłoby możliwe [7, 9, 22, 35].

Ocena wieloletnich ciągów pomiarowych, szczególnie w przypadku struktury przestrzennej elementów meteorologicznych, wymaga przeprowadzenia weryfikacji jednorodności i kompletności ciągów danych. Metody wykonania takiej oceny są opisywane niezmiennie również z specjalistycznej literaturze problemowej [16, 22, 35, 36]. Dotychczasowe badania nad charakterystyką warunków opadowych w zlewni Widawy dotyczą kilkunastu ostatnich lat i można je znaleźć w pracach szczegółowych, zawierających analizy wykonane dla obszaru Widawy [4, 24, 38] oraz tych o ujęciu ogólnym, prezentujących wyniki dla całego kraju [3, 14, 21, 29, 34].

W niniejszej pracy została przedstawiona wskaźnikowa ocena struktury opadów atmosferycznych oraz tendencji zmian ekstremów na obszarze zlewni rzecznej Widawy, w oparciu o dostępną wiedzę i metody analityczne.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano wartości sum dobowych opadów atmosferycznych uzyskanych podczas punktowego pomiaru łącznie na trzech stacjach opadowych: Namysłów i Chelstów należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB Oddziału we Wrocławiu oraz Wrocław-Swojec - Obserwatorium Agro-Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Jednorodną zbiorowość statystyczną stanowiło wielolecie za okres 1961-2010. Do oceny homogeniczności ciągów pomiarowych wykorzystano metody: różnic sum rocznych, ilorazów sum rocznych opisaną przez Pruchnickiego i Miętusa [16, 22] oraz metodę korelacji podwójnej krzywej sumowej sum rocznych opisaną przez Węglarczyka [35]. Ocenę struktury oparto na wyznaczeniu podstawowych wskaźników służących do opracowa-

nia klimatologicznego, takich jak: średnie, minimalne i maksymalne wartości dekadowe, miesięczne, roczne w okresach letnich i zimowych; liczba dni opadowych oraz udział w ciągu roku i wielolecia; udział wartości wskazanych sum półrocznych w sumie rocznej wielolecia; częstość i udział występowania opadów atmosferycznych o zadanej wysokości; oraz wskaźnik względnego opadu – RPI od normy wieloletniej dla lat 1961-2010, wg Kaczorowskiej [8]. Dodatkowo wykonano analizę przebiegu niektórych wskaźników w okresie 30-leci klimatologicznych 1961-1990, 1971-2000 oraz 1981-2010, które ilustrują kształtowanie się trendu zmian.

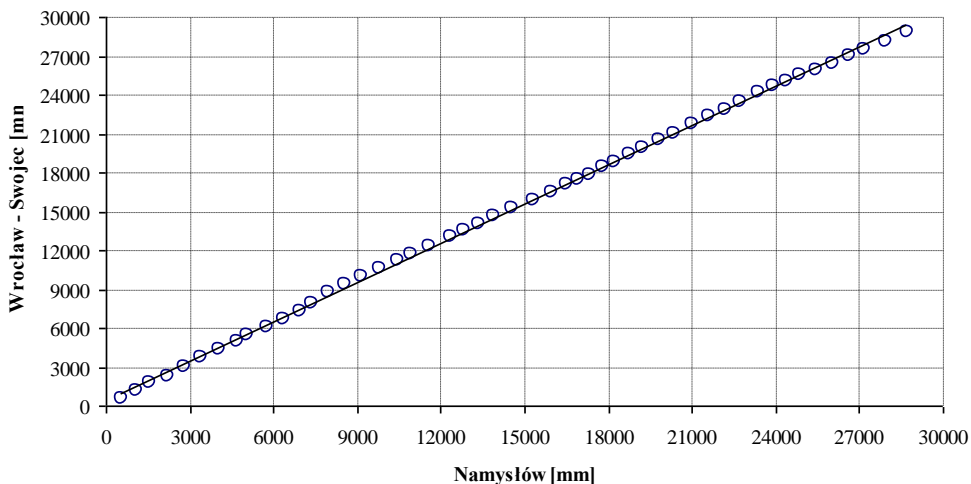
Na podstawie obliczonych wskaźników przedstawiono strukturę czasową i przestrzenną opadów atmosferycznych oraz wyznaczono trendy liniowe badanych szeregów czasowych, ilustrując tendencje zmian zarówno na przestrzeni wielolecia, jak również półroczy letnich i zimowych. Analiza parametrów regresji liniowej pozwoliła dokonać oceny istotności statystycznej obserwowanych zmian. W pracy podano również terminy, w których wystąpiły ekstremalne wartości wysokości opadów atmosferycznych, zaznaczając okresy i dni rekordowo wilgotne oraz wyjątkowo suche.

### 3. WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

#### 3.1. HOMOGENICZNOŚĆ CIĄGÓW POMIAROWYCH

W oparciu o przyjętą metodykę wykonano weryfikację ciągów danych pomiarowych pod względem jednorodności. Brak homogeniczności ciągu założono dla różnic pomiędzy badanymi wartościami na poziomie 50% - w metodzie różnic sum oraz 50% odchylenia od średniej iloczynów sum rocznych pomiędzy badanymi stacjami dla metody iloczynów. W metodzie podwójnej krzywej sumowej oceniano wartość współczynnika korelacji liniowej  $r$ , określającej poziom współzależności sum rocznych analizowanych punktów pomiarowych. Dla metody różnic sum, najmniejsza różnica suma rocznych wyniosła 0,3 mm i przypadła na rok 1971, natomiast największa wartość wyniosła 234,2 mm w roku 1974. W badanym pięćdziesięcioleciu największą grupę 74% różnic sum stanowią wartości z przedziału 10-100 mm, świadcząc tym samym o dużym zróżnicowaniu wartości sum rocznych w zlewni Widawy. Analiza zbioru, z wykorzystaniem metody iloczynów, wykazała zdecydowaną przewagę wartości bliskich lub równych jedności, co wskazuje o wyrównanym wystąpieniu lat ze zbliżoną wartością rocznej sumy opadów. Zanotowano również kilka przypadków iloczynów oscylujących wokół 30% odchylenia, co świadczy o lokalnym zróżnicowaniu sum w obrębie zlewni rzecznej. W metodzie podwójnej krzywej sumowej współczynniki korelacji liniowej dla zestawień Wrocław-Swojec - Namysłów; Wrocław-Swojec - Chelstów, wyniosły odpowiednio  $r_{WS-N} = 0,99967$  oraz  $r_{WS-C} = 0,99975$ , co określa korelację jako prawie pełną. Uzyskane wyniki jednoznacznie wykazują, że

mimo lokalnego zróżnicowania rocznych sum opadów w obrębie zlewni Widawy, dane wieloletnie są jednorodne, a wyniki pomiarów stacji IMGW-PIB i UP we Wrocławiu, ze względu na przyjęcie jednorodnej metodyki pomiarowej są porównywalne.



Rys. 1. Korelacja zagregowanych sum rocznych ze stacji pomiarowych Wrocław-Swojec oraz Namysłów

### 3.2. WSKAŹNIKOWA STRUKTURA OPADÓW ATMOSERYCZNYCH

**Sumy opadów atmosferycznych.** W badanym 50-leciu wartości sum opadów atmosferycznych wykazały znaczne zróżnicowanie czasowe oraz nieznaczne zróżnicowane przestrzenne. Średnia roczna suma opadów dla poszczególnych stacji wynosiła: Wrocław-Swojec 573,5 mm, Namysłów 578 mm oraz znacznie odstający Chełstów 676,3 mm. Lata o największych wartościach sum rocznych to rok 2010 dla stacji Wrocław-Swojec (772,6 mm), rok 1974 dla stacji Namysłów (826,1 mm) oraz rok 1967 dla stacji Chełstów (896,6 mm). Najmniejsze sumy roczne przypadły na lata: 1969 dla Wrocławia-Swojca (390,2 mm) oraz 1989 dla Namysłowa (372,9 mm) i Chełstowa (408,1 mm). Wartości sum rocznych większych i mniejszych od średnich wieloletnich dla badanych stacji występowały niemal z taką samą częstością natomiast odchylenia standardowe dla sum rocznych wyniosły odpowiednio: 94,3 mm (Wrocław-Swojec), 97,4 mm (Namysłów) oraz 112,8 mm (Chełstów). W wieloleciu 1961-2010 najczęściej wystąpiły sumy roczne w zakresie 500-600 mm na stacji Wrocław-Swojec (42%), 500-600 mm i 600-700 mm dla stacji Namysłów (34% i 36%) oraz 700-800 mm dla stacji Chełstów (40%). Miesiące o największych sumach opadów atmosferycznych to: lipiec z sumą o wysokości 249,7 mm dla stacji Wrocław-Swojec (w roku 1997), 246,1 mm dla stacji Namysłów (rok 1997) oraz 257,3 mm dla

Chełstowa (w roku 1997). Najmniejsze wartości sum miesięcznych przypadły na: luty – 1,9 mm (Wrocław-Swojec, 1978), październik – 3,3 mm (Namysłów, 1965), kwiecień – 2,7 mm (Chełstów, 2007). Największy udział miesięcznej sumy opadów w roku dla badanego wielolecia przypadł na okresy: maj – sierpień stanowiąc od 10,5% do 14,7% rocznych opadów zarejestrowanych na stacji Wrocław-Swojec, od 11,1% do 14,7% w Namysłowie i od 10,0% do 13,4% w Chełstowie. Najniższy udział miesięcznej sumy opadów w roku w badanym okresie dla wszystkich stacji przypada na luty stanowiąc odpowiednio 4,5%, 4,9 % oraz 5,7%. Pozostałe miesiące kształtują roczną sumę w zakresie od 5 – 9%. Wyznaczone charakterystyki miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w latach 1961-2010 zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe statystyki miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych dla stacji Wrocław-Swojec, Namysłów oraz Chełstów w latach 1961-2010

Wrocław-Swojec													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$P_{\text{sr}}$ [mm]	29.3	25.9	32.3	37.7	60.3	68.9	84.1	72.5	45.9	38.7	43.2	34.7	573.5
$\sigma_i$ [mm]	15.2	13.9	17.4	18.7	33.5	30.2	51.1	42.6	29.5	25.9	17.2	20.0	94.3
$P_{\text{min}}$ [mm]	6.0	1.9	2.9	2.7	5.1	17.6	12.0	4.1	4.2	3.8	14.0	3.2	380.2
$P_{\text{max}}$ [mm]	82.7	59.2	86.0	87.1	140.7	141.7	249.7	194.0	134.1	118.0	100.4	95.2	772.6
$V_i$ [-]	51.9	53.7	53.9	49.6	55.6	43.8	60.8	58.8	64.3	66.9	39.8	57.6	16.4
$N_i$ [-]	7.3	3.2	3.4	3.1	3.6	12.4	4.8	2.1	3.1	3.2	13.9	3.4	49.2
P%	5.1	4.5	5.6	6.6	10.5	12.0	14.7	12.6	8.0	6.7	7.5	6.1	100.0
Namysłów													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$P_{\text{sr}}$ [mm]	31.2	28.4	33.2	34.6	64.1	67.4	85.1	64.3	48.2	39.7	43.1	39.0	578.0
$\sigma_i$ [mm]	18.8	13.6	18.1	16.8	33.2	28.7	45.8	31.3	28.0	29.9	17.7	19.2	97.4
$P_{\text{min}}$ [mm]	7.3	5.4	8.3	6.6	17.1	13.3	10.9	18.0	10.9	3.3	16.1	4.7	372.9
$P_{\text{max}}$ [mm]	116.7	54.8	95.9	85.2	163.8	121.0	246.1	201.7	122.0	143.5	100.3	108.0	826.1
$V_i$ [-]	60.3	47.9	54.5	48.6	51.8	42.6	53.8	48.7	58.1	75.3	41.1	49.2	16.9
$N_i$ [-]	6.3	9.9	8.7	7.7	10.4	11.0	4.4	8.9	8.9	2.3	16.1	4.4	45.1
P%	5.4	4.9	5.7	6.0	11.1	11.7	14.7	11.1	8.3	6.9	7.5	6.7	100.0
Chełstów													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$P_{\text{sr}}$ [mm]	41.5	38.6	42.1	41.2	67.4	74.1	90.5	78.2	51.8	44.9	54.2	51.7	676.3
$\sigma_i$ [mm]	21.3	18.2	22.9	19.5	36.6	31.6	52.4	47.1	32.8	30.4	23.8	26.0	112.8
$P_{\text{min}}$ [mm]	6.7	5.0	5.8	2.7	18.1	18.7	4.8	4.3	3.3	3.5	17.5	5.3	408.1
$P_{\text{max}}$ [mm]	108.5	72.0	134.6	103.9	183.9	148.7	257.3	225.4	129.2	150.4	119.8	122.5	896.6
$V_i$ [-]	51.3	47.2	54.4	47.3	54.3	42.6	57.9	60.2	63.3	67.7	43.9	50.3	16.7
$N_i$ [-]	6.2	6.9	4.3	2.6	9.8	12.6	1.9	1.9	2.6	2.3	14.6	4.3	45.5
P%	6.1	5.7	6.2	6.1	10.0	11.0	13.4	11.6	7.7	6.6	8.0	7.6	100.0

Udział sum opadów półroczy zimowych i letnich w strukturze przebiegów wieloletnich wykazał niewielką przewagę półrocza ciepłego (V-X) na poziomie 64,6% dla stacji Wrocław-Swojec, 63,8% dla stacji Namysłów oraz 60,2% dla stacji Chelstów. Pomimo, iż przebiegi rocznych sum opadów atmosferycznych w analizowanym 50-leciu wykazują zróżnicowanie czasowe a w przypadku stacji Namysłów i Chelstów trend malejący, to zmiany te pozostają nieistotne statystycznie. Obserwowany znaczący przyrost sum opadów w ostatnim dziesięcioleciu (2000-2010) powoduje zmianę wartości wieloletniego trendu. W tabeli 2, oprócz zestawienia charakterystyk trendów liniowych przebiegów sum rocznych analizowanego okresu 50 lat, przedstawiono, dla porównania, charakterystyki trendów dla wielolecia 1961-2008 ilustrujące udział sum z lat 2009 i 2010 w kształtowaniu wieloletniej tendencji ciągu.

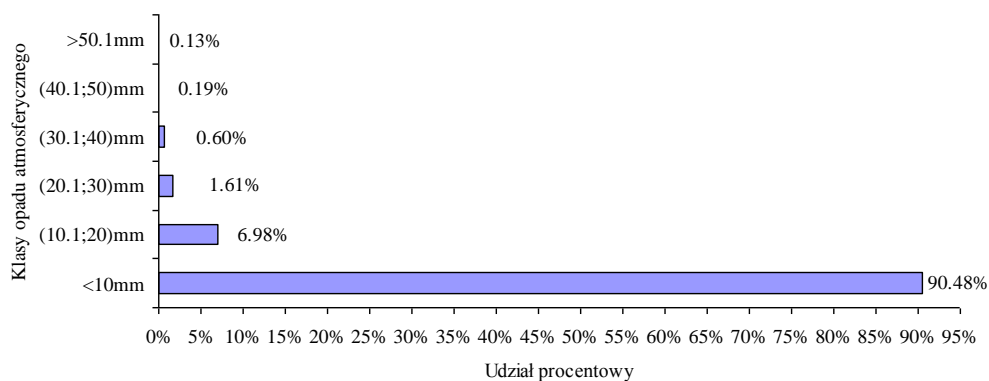
Tabela 2. Parametry trendów liniowych wieloletnich przebiegów rocznych sum opadów atmosferycznych dla stacji Wrocław-Swojec, Namysłów oraz Chelstów w wieloleciu 1961-2010

Stacja pomiarowa	Równanie trendu liniowego	R <sup>2</sup>
<b>1961-2010</b>		
Wrocław-Swojec	$y = 0.2438x + 567.29$	0.0014
Namysłów	$y = -2.1118x + 631.87$	0.0998
Chelstów	$y = -2.2491x + 733.70$	0.0845
<b>1961-2008</b>		
Wrocław-Swojec	$y = -0.6917x + 583.05$	0.0120
Namysłów	$y = -3.0052x + 646.92$	0.1901
Chelstów	$y = -3.2859x + 751.20$	0.1733

**Liczba dni z opadem.** W zlewni Widawy w latach 1961-2010 przeciętna liczba dni z opadem, dla stacji we Wrocławiu-Swojcu wynosiła 152 dni, dla Namysłowa 164 dni natomiast dla Chelstowa 177. Lata, w których wystąpiła największa liczba dni to odpowiednio 2009 dla stacji Wrocław-Swojec (192 dni), 1988 dla Namysłowa (196 dni) oraz 1962 dla stacji Chelstów (242 dni). Najmniejszą liczbę dni z opadem zarejestrowano w roku 1982 (Wrocław-Swojec 115 dni, Namysłów 113 dni) i w roku 1989 (Chelstów 129 dni). Doby z opadem atmosferycznym stanowią w badanym wieloleciu dla Wrocławia-Swojca 41%, dla Namysłowa 45% oraz dla Chelstowa 48% roku, co oznacza, że średnio niemal na połowę roku przypadają dni deszczowe o wysokości opadu powyżej 0,1 mm. Wskaźnik liczby dni opadowych był w przeważającej części przypadków największy na stacji w Chelstowie. Największa różnica wynosi 110 dni w roku 1962. Duża liczba dni z opadem dla Chelstowa w przebiegu wieloletnim utrzymuje się do roku 1954. W latach 1985-1988 w zlewni dominują dni opadowe ze stacji w Namysłowie z różnicą 40 dni, natomiast od roku 1999 wartość wskaźnika jest w miarę wyrównana w obrębie badanych stacji.

**Klasy opadu.** Dla przyjętych klas opadów atmosferycznych, zdecydowanie najczęściej w badanym wieloleciu w dolinie rzecznej Widawy wystąpiły opady o wyso-

kości do 10 mm. Częstości w tej klasie wynoszą odpowiednio 90,48% (rys. 2) dla Wrocławia-Swojca, 91,24% dla Namysłowa oraz 90,47% dla Chelstowa. Pod kątem występowania opadów ekstremalnie wysokich rozpatrywano opady o wysokości od 20 do 50 mm. Wszystkie stacje pomiarowe stanowiące przedmiot badań wykazują w tym obszarze zbliżoną strukturę. Dla przedziału od 20-30 mm częstości występowania opadów kształtują się na poziomie 6,3-7,0% natomiast przedział 30-40 mm stanowi od 1,5 do 1,6% wszystkich zarejestrowanych w wieloleciu opadów. Najmniej liczny pozostaje zakres powyżej 50 mm na dobę i takie zdarzenia kształtują się na poziomie najwyżej 0,5% w skali 50 lat prowadzonych pomiarów i obserwacji. Dla stacji Wrocław-Swojec opady o wysokości powyżej 50 mm miały miejsce: 10.VIII.1964 r. (71,5 mm), 17.VII.1965 r. (81,4 mm), 16.VI.1975 r., 23.VII.1976 r. (58,6 mm), 22.VII.1977 r., (51,2 mm) 09.VII.1980 r. (53,6 mm), 12.VIII.1986 r. (57,0 mm), 22.VII.1995 r. (50,9 mm) oraz 18.VII.1997 r. (56,4 mm). Podane terminy obejmują miesiące półrocza letniego i są to głównie lipiec oraz sierpień. Stacja meteorologiczna w Namysłowie rejestrowała maksymalne sumy dobowe powyżej 50 mm w dniach: 15.VII.1973 r. (50,8 mm), 08.VIII.1985 r. (67,0 mm) oraz 16.VII.2000 r. (56,4 mm), natomiast w Chelstowie w terminach: 10.VIII.1964 r. (52,4 mm), 07.VI.1979 r. (60,2 mm), 03.VII.1980 r. (51,0 mm), 02.V.1983 r. (57,1 mm), 07.VIII.1984 r. (53,8 mm), 08.VIII.1985 r. (51,4 mm), 02.IX.1988 r. (65,0 mm), 05.VII.1993 r. (53,0 mm), 19.VII.1997 r. (60,7 mm), 29.VIII.1997 r. i 08.VIII.2006 r. (po 52,1 mm) oraz 23.VII.2010 r. (91,8 mm).



Rys. 2. Struktura opadów atmosferycznych w danych klasach opadu dla stacji Wrocław-Swojec w latach 1961-2010

Maksymalne dobowe wysokości opadu w zlewni Widawy za wielolecie 1961-2010, pomimo znacznego zróżnicowania czasowego i przestrzennego, wykazują pewne analogie - np. 10.VIII.1964 roku ekstremalny opad atmosferyczny został zarejestrowany zarówno na stacji Wrocław-Swojec jak i Chelstów, 08.VIII.1985 dla stacji

Namysłów i Chełstów oraz 18-19.VII.1997r. dla stacji Wrocław-Swojec i Chełstów. Różnice w wysokości opadu dobowego nie były znaczne, średnio ok. 10 mm, jednak fakt występowania opadu nawet w tym samym dniu świadczy o zasięgu zjawiska jakie miało miejsce w danym terminie.

### 3.3. OPADY NORMALNE I ANOMALNE

Klasyfikacja oparta na siedmiu klasach stanu atmosfery pozwoliła zidentyfikować okresy występowania ekstremalnych, zarówno najmniejszych jak i największych w badanym wieloleciu, dobowych sum opadów. W wyniku podjętych prac określono, że w latach 1961-2010 norma opadów wyniosła odpowiednio dla stacji Wrocław-Swojec 573,5 mm, Namysłów 578,0 mm oraz Chełstów 676,3 mm. Skrajne wartości czyli rok skrajnie suchy (ss wyniosło 46% normy – 1992r.) dla półrocza letniego oraz skrajnie wilgotny (sw na poziomie 154% normy – 1966r.) dla półrocza zimowego, odnotowano jedynie na stacji pomiarowej w Chełstowie. W obrębie badanych miesięcy, półroczy i okresów obejmujących cały rok, dominowała klasa przeciętna (p – 90-110% normy), dla Wrocławia-Swojca 14 lat dla półroczy zimowych, 18 lat dla półroczy letnich oraz 24 dla poszczególnych lat wielolecia. Dla stacji Namysłów 21 lat dla półroczy zimowych, 18 dla półroczy letnich oraz 24 dla lat pełnych. Bardzo podobnie wygląda rozkład częstości dla stacji w Chełstowie, 18 przeciętnych półroczy zimowych, 14 przeciętnych półroczy letnich oraz połowa (25 lat) przeciętnego wielolecia. Okresy suche i wilgotne, które stoją w kolejnych rzędach przyjętej klasyfikacji, lecz po przeciwnych stronach, występują z niemal taką samą częstością: jeżeli dla stacji w Namysłowie w półroczu letnim wystąpiło siedem lat wilgotnych to w badanym wieloleciu lata suche wystąpiły osiem lat. Znaczne zróżnicowanie w poszczególnych miesiącach w odniesieniu do wartości rocznej, wykazują również klasy bardzo suche (bs) oraz bardzo wilgotne (bw). Dla stacji Wrocław-Swojec zarejestrowano 8 lat bardzo suchych zarówno w półroczu letnim jak i zimowych, natomiast cały rok został sklasyfikowany przeciętnie z zaledwie trzema latami bardzo suchymi. Podobnie oceniono stację w Chełstowie, 5 lat bardzo suchych dla półrocza zimowego, 8 lat w klasie bs dla półrocza letniego i 4 lata dla całego roku. Stacja w Namysłowie wykazała 75% odchylenie od wieloletniej normy opadów na poziomie 6 lat dla obu półroczy oraz całego roku. W obszarze klas bardzo wilgotnych dla stacji Wrocław-Swojec pojawiło się 7 lat dla półrocza zimowego, 9 lat dla półrocza letniego oraz 4 w obrębie całych lat. Dla Namysłowa otrzymano 8 lat bardzo wilgotnych w półroczu zimowych, 5 lat w półroczu letnim i zaledwie jeden rok wielolecia. Podobne wartości odnotowano dla stacji w Chełstowie: 4 lata półroczy zimowych, 6 lat półroczy letnich oraz 4 lata bardzo wilgotne w wieloleciu. Biorąc pod uwagę uwilgotnienie poszczególnych miesięcy w obrębie wielolecia dominowały okresy grupy suchej tj. skrajnie suche, bardzo suche i suche. W stosunku do grupy wilgotnej liczba miesięcy dla poszczególnych grup na trzech stacjach wynosiła: 296 do 222 miesiące przy 82 przeciętnych dla



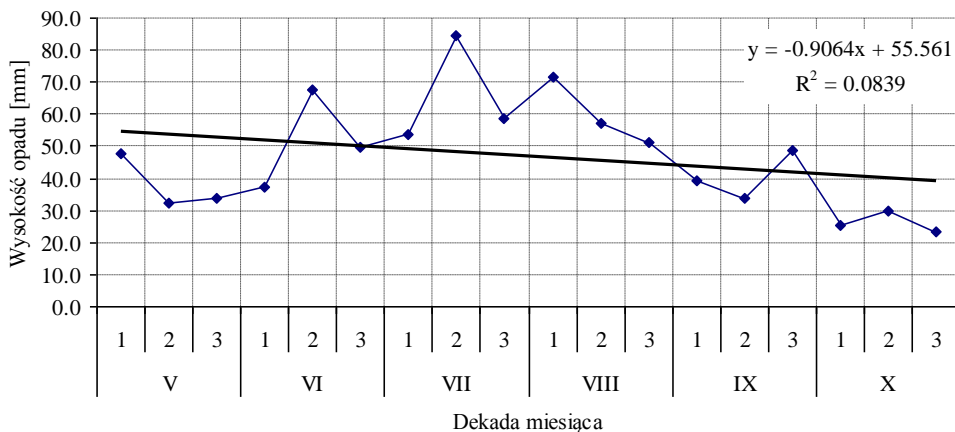
stacji Wrocław-Swojec, 284 do 232 przy 84 przeciętnych dla Namysłowa oraz 288 do 216 przy 96 przeciętnych w Chelstowie. Co warto zauważyć w sezonowej ocenie wielolecia, to że pomimo największej częstości występowania maksymalnych sum dobowych w okresie od VI-VIII, jak również największej liczby dni z opadami, w miesiącach czerwiec, lipiec i sierpień przyporządkowano klasy suche, bardzo suche a nawet skrajnie suche. Dla stacji Wrocław-Swojec 6 lat skrajnie suchych w czerwcu, 7 w lipcu oraz 12 w sierpniu. Dla stacji w Namysłowie 8 lat w czerwcu i lipcu oraz 4 lata w sierpniu, natomiast dla Chelstowa 7 lat w czerwcu i lipcu oraz 8 lat w sierpniu.

### 3.4. ZMIENNOŚĆ OPADÓW MAKSYMALNYCH

Maksymalne wartości sumy opadu atmosferycznego w poszczególnych dekadach wieloletniego przebiegu, charakteryzującego półrocze letnie, wykazują wyraźnie malejący trend liniowy na wszystkich badanych stacjach pomiarowych. Zmienność, choć nieistotna statystycznie, zachowuje cechy naturalnego przebiegu właściwego dla półrocza letniego w Polsce, gdzie występowanie maksymalnych wartości opadów przypada na okres od drugiej dekady czerwca do drugiej dekady sierpnia. Zgodnie z przebiegiem przedstawionym na rysunku 3, dla stacji meteorologicznej Wrocław-Swojec wieloletnie maksimum przypada na drugą dekadę lipca (8 dekada półrocza) ze średnią wartością 84,4 mm, natomiast minima tego zakresu lokują się w okresie przełomu maja (3-4 dekada półrocza) oraz października (16-18 dekada półrocza) z wysokością opadu 30 mm. Trend liniowy pozostaje malejący z wartością współczynnika determinacji na poziomie 0,0839, klasyfikującą regresję jako nieistotną statystycznie w badanym okresie, natomiast średni ujemny przyrost dekadowy wartości maksymalnych wynosi 9,1 mm na każdą dekadę. W Chelstowie trend choć nieistotny statystycznie (współczynnik determinacji  $R^2$  na poziomie 0,0638) opisuje ujemny przyrost wartości maksymalnych w okolicach 8 mm za dekadę oraz jako miesiąc, w którym mamy do czynienia z największymi wartościami, wskazuje lipiec (91,8 mm). Dekady sierpnia, pomimo iż znajdują się w strefie malejącego trendu wieloletniego wykazują występowanie opadów o wysokości w granicach 45–50 mm za dobę. Najmniejsze z największych opadów półrocza letniego w Chelstowie przypadają na ostatnią dekadę maja (3 dekada półrocza) oraz od drugiej dekady września do ostatniej dekady października (14–18 dekada półrocza).

Stacja pomiarowa Namysłów w wieloletnim przebiegu maksymalnych wartości dekadowych przejawia niemal brak tendencji, poprzez równie częste występowanie wartości największych i najmniejszych. Ujemny przyrost wartości dekadowych wynosi 1,3 mm, a występowanie wartości ekstremalnie dużych charakteryzuje się najpóźniejszym terminem, bo dopiero w pierwszej dekadzie sierpnia (10 dekada półrocza) z sumą wynoszącą zaledwie 67 mm. Kolejną największą wartość sumy dobowej zarejestrowano w drugiej dekadzie lipca (8 dekada półrocza) wynoszącą 56,4 mm. Pozo-

stałe wartości nie przekraczają 50 mm i z w miarę jednakową częstością wystąpiły w pozostałych dekadach półrocza.



Rys. 3. Przebieg największych z maksymalnych sum dobowych w dekadach półrocza letniego w latach 1961-2010 na stacji Wrocław-Swojec

Jako uzupełnienie oceny przebiegu występowania największych z maksymalnych sum dobowych w dekadach półrocza letniego wielolecia 1961–2010 w obrębie trzech stacji pomiarowych w zlewni Widawy, analizie poddano zmiany przedmiotowych przebiegów w przestawnych trzydziestoleciach klimatologicznych 1961–1990, 1971–2000 oraz 1981–2010. Do charakterystyki wskazanych okresów, ograniczono się do oceny jedynie zmienności występowania wartości maksymalnych w obrębie dekad półrocza letniego, bez wskazywania wartości.

Na stacji meteorologicznej Wrocław-Swojec we wszystkich zbadanych trzydziestoleciach nie zaobserwowano istotnego statystycznie trendu. W latach 1961–1990 tendencja zmian była niedostrzegalna, natomiast maksymalne wartości sum dobowych przypadły w zdecydowanej większości (77% wszystkich lat) na okres od 5-tej do 12-stej dekady półrocza letniego. Kolejne lata 1971–2000 wykazały spadkowe przesunięcie w kierunku 8-mej dekady i zagęszczenie występowania opadów o maksymalnej sumie dobowej w latach 1989–2000. Wielolecie 1981–2010, obfite w zjawiska ekstremalne, przedstawia trend rosnący – nieistotny w punktu widzenia statystyki. Przeważają zdarzenia w okolicach 8-mej dekady, z powtarzalnością zdarzeń opadowych o różnych stopniach uwilgotnienia również w latach 1989–2000 i 2001–2010, z pominięciem ekstremalnego okresu 2003 – 2005, i zachowują tendencję wieloletnią, wskazując na 9-tą dekadę, jako obarczoną największą częstością występowania opadów maksymalnych. Wieloletnie trendy dla Namysłowa we wszystkich trzech okresach wykazują trend malejący. Pomimo ukierunkowanego zróżnicowania, zmienności nie wykazują istotności statystycznej przyjmując wartości współczynnika determina-

cji od 0,0095 do 0,0817. Jedyłą, powtarzalną we wszystkich 30-leciach, regułą jest przesuwanie terminu występowania ekstremów dobowych w kierunku pierwszej połowy okresu letniego, nie wychodząc przy tym poza wspomniany wcześniej zakres czasowy pomiędzy 5-tą a 12-stą dekadą.

Stacja w Chełstowie, podobnie jak przy analizie poprzednich wskaźników, wykazuje znaczne analogie ze stacją Wrocław-Swojec. Również w tym przypadku, trzydziestolecia 1961–1990 oraz 1971–2000, zachowują malejący trend liniowy, natomiast lata 1981–2010 wskazują na rosnącą tendencję zmian, ukierunkowanych na 9-tą dekadę, jako tą, w której występują i mogą występować największe sumy dobowe.

#### 4. WNIOSKI

Wieloparametrowe opracowanie danych pomiarowych sum dobowych opadów atmosferycznych, pochodzących ze stacji meteorologicznej Obserwatorium Agro-Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Swojcu oraz dwóch stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego: Namysłów i Chełstów, umożliwiło sformułowanie następujących wniosków:

1. Wieloletnie ciągi pomiarowe pochodzące z badanych stacji wykazują kompletność i homogeniczność oraz są porównywalne i reprezentatywne dla doliny rzecznej Widawy.
2. Pięćdziesięcioletni ciąg pomiarów wysokości opadu atmosferycznego w zlewni rzecznej Widawy wykazuje zróżnicowanie czasowo-przestrzenne.
3. Charakterystyki czasowe badanych elementów, pomimo niskich wartości współczynników determinacji dla trendów liniowych, wskazują wyraźne tendencje dla różnych okresów, we wszystkich badanych stacjach. Prawdopodobnie regresja liniowa drugiego stopnia jest niewystarczająca do opisu modelu wieloletniej zmienności opadów atmosferycznych w zlewni rzecznej.
4. Okresy występowania zjawisk ekstremalnych, obejmujące miesiące, półrocza letnie i zimowe oraz poszczególne lata, wpływają na ocenę całego wielolecia opadowego poprzez nieregularne występowanie w ciągu pomiarowym, często przyczyniając się do osłabienia istotności tendencji wieloletniej.
5. W półroczu letnim wielolecia, w obrębie wykorzystanych stacji pomiarowych, okresy intensywnego występowania wartości ekstremalnych opadu atmosferycznego przypadają na ostatnie dekady czerwca, lipiec oraz pierwszą dekadę sierpnia.
6. Badania należy kontynuować na pozostałych zlewniach kontrolowanych.

## LITERATURA

- [1] ALLEN P.A., *Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi.*, pod red. A. Magnuszewski, PWN, Warszawa 2000, 13-17.
- [2] BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MIKULSKI Z., *Hydrologia ogólna*, PWN, Warszawa 2007, 135-144.
- [3] BINIAK-PIERÓG M., KOSTRZEWA S., PĘCZKOWSKI G., ŻYROMSKI A., *Ocena zmienności opadów atmosferycznych półroczna letniego we Wrocławiu – Swojcu*. Inżynieria ekologiczna nr 18. Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska, PTIE, Warszawa 2007, 25-27.
- [4] BINIAK-PIERÓG M., KOSTRZEWA S., ŻYROMSKI A., *Tendencje sum opadów dziennych i nocnych półroczna letniego jako wskaźnik zmian klimatycznych*, Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus 7(4), Lublin 2008, 31-40.
- [5] BOKWA A., SKOWERA B., *Wpływ rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów atmosferycznych w okolicach Krakowa (1971 – 2005)*, PAN Oddział w Krakowie, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr 5/2008, Kraków 2008, 51-61.
- [6] DZIEŻYC H., CHMURA K., DMOWSKI Z., *Określenie wpływu warunków opadowych na plonowanie ziemniaka bardzo wczesnego i wczesnego w Południowej Polsce*. Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie, t. 12 z. 2 (38), ITP, Falenty 2012, 133-141.
- [7] GAŚIOREK E., MUSIAŁ E., *Porównanie i klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu i wskaźnika względnego opadu*. Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie, t. 11 z. 4 (36), ITP, Falenty 2011, 107-119.
- [8] KACZOROWSKA Z., *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Prace Geograficzne IG PAN, nr 33, Warszawa 1962, 1-102.
- [9] KACZMAREK Z., *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Instrukcje i podręczniki nr 78, PIHM, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1970, 181-203.
- [10] KOSSOWSKA – CEZAK U., BAJKIEWICZ – GRABOWSKA E., *Podstawy hydrometeorologii*. PWN, Warszawa 2008, 135-144.
- [11] KOTOWSKI A., KAŻMIERCZAK B., DANCEWICZ A., *Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji*. Monografia: Studia z zakresu inżynierii nr 68. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Wydawnictwo PAN, Warszawa 2010, 35-71.
- [12] KOTOWSKI A., KAŻMIERCZAK B., DANCEWICZ A., *Bezpieczne wymiarowanie kanalizacji na podstawie lokalnych modeli opadowych*. Czasopismo techniczne; środowisko. Zeszyt 1, Rok 108, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011, 87-99.
- [13] KRÓLIKOWSKA J., KRÓLIKOWSKI A., *Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2012.
- [14] LIMANÓWKA D., CEBUŁAK E., PYRC R., *Regiony opadowe Polski*. Materiały Badawcze, Seria: Meteorologia, IMGW 2010, 11-48.
- [15] LICZNAK P., ŁOMOTOWSKI J., *Analiza Średnich natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu*. Ochrona Środowiska rok 27 nr 1, PWr, Wrocław 2005, 29-34.
- [16] MIĘTUS M., *Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030*. Materiały Badawcze IMGW, seria Meteorologia nr 26, Warszawa 1996, 16-63.
- [17] MROWIEC M., MALMUR R., *Wpływ przestrzennej zmienności opadów na niezawodność systemów kanalizacyjnych*. Czasopismo techniczne; środowisko. Zeszyt 1, Rok 108, PK, Kraków 2011, 137-146.
- [18] MRUGAŁA S., *Normalne sumy opadów atmosferycznych w wybranych stacjach Lubelszczyzny*. Acta Agrophysica., 6(1), Lublin 2005, 197-203.

- [19] OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B., SKOWERA B., WOJKOWSKI J., ZIERNICKA-WOJTASZEK A., *Warunki opadowe na stacji Agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej*. Acta Agrophysica, 6(2), Lublin 2005, 455-463.
- [20] OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J., *Hydrologia Stosowana*, PWN, Warszawa 1997.
- [21] PINSKWAR I., *Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Zeszyt 32, Warszawa 2010.
- [22] PRUCHNICKI J., *Metody obliczeń klimatologicznych*, PWN, Warszawa 1987, 163-184.
- [23] PYKA J.L., *Opady atmosferyczne we Wrocławiu w okresie 1981-1995*. Acta Universitatis Wratislaviensis no 2022 Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia t. V, Wrocław 1998, 41-54.
- [24] RADCZUK L., *Monografia Widawy*, Wydawnictwo IMGW, Warszawa 2008, 22-42.
- [25] ROZBICKI T., *Zastosowanie wskaźników opadowych jako parametrów w modelowaniu agrometeorologicznym*. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, Annales XIV, Issue 2(32), Warszawa 2005, 106-114.
- [26] SASIM M., CERAN M., *Ekstremalne zdarzenia wynikające z występowania pokrywy śnieżnej o dużej zawartości wody*. Monografia: Zagrożenia środowiska naturalnymi zjawiskami ekstremalnymi, IMGW, Warszawa 2006, 113-129.
- [27] SOCZYŃSKA U. *Hydrologia Dynamiczna*, PWN, Warszawa 1997, 110-121.
- [28] SZALIŃSKA W., URBAN G. OTOP I., *Próba oszacowania wysokości opadów wywołujących wezbrania letnie w dorzeczu środkowej Odry*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Nr 9/2008, Wydawnictwo PAN oddział w Krakowie, Kraków 2008, 227-238.
- [29] SZALIŃSKA W., OTOP I., *Ocena struktury czasowo-przestrzennej opadów z wykorzystaniem wybranych wskaźników do identyfikacji zdarzeń ekstremalnych*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 12 z. 2 (38), ITP, Falenty 2012, 269-282.
- [30] SZAMBORSKI S., *Opady atmosferyczne na Zamojszczyźnie o okresie wegetacji pszenicy ozimej w latach 1976 – 1995*. Acta Agrophysica 10(1), Lublin 2007, s. 187-192.
- [31] SZCZEPANEK R., *Czasoprzestrzenna struktura opadu atmosferycznego w zlewni górskiej*. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2003.
- [32] TWARDOSZ R., *Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886 – 2002)*. IGiGP UJ, Kraków 2005, 49-56.
- [33] TWARDY S., KOPACZ M., *Dynamika relacji opad-odpływ w potokach Biała Woda i Czarna Woda w roku hydrologicznym 2010*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 12 z. 3 (39), ITP, Falenty 2012, 197-210.
- [34] WRONA B., *Występowanie ekstremalnych opadów atmosferycznych >100mm/dobę na obszarze dorzecza górnej i środkowej Odry w 30-leciu (1977-2006)*, Monografia: Meteorologia, Hydrologia, Ochrona Środowiska, Wydawnictwo IMGW, Warszawa 2006, 24-51.
- [35] WĘGLARCZYK S., *Statystyka w Inżynierii Środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, 259-282.
- [36] VICENTE-SERRANO S., BEGUERIA S., LOPEZ-MORENO J.I., GARCIA-VERAC M.A., STEPANEK, P., *A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity*. International Journal of Climatology. 30, Reading UK 2010, 1146-1163.
- [37] ZDRALEWICZ M., *Symulacje przepływów dla górnego Bobru na podstawie wybranych scenariuszy pogodowych*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Wydawnictwo PAN oddział w Krakowie, Kraków 2008, 55-62.
- [38] ZYROMSKI A., *Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiątkiem wód gruntowych w okresie wiosennym*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Wrocław 2001, 82-94.

## INDEX RATIO ASSESSMENT OF WIDAWA CATCHMENT PRECIPITATION STRUCTURE

This paper has been devoted to the evaluation of the precipitation structure in the Widawa catchment, using specific indicators. There were analyzed the total daily rainfall recorded at two measuring stations of the Institute of Meteorology and Water Management - National Research Institute in Wrocław, (Namysłów and Chelstów), and the data comes from Agricultural Observatory in University of Life Sciences in Wrocław, called Wrocław-Swojec. The source materials were archived measurement data from three stations, covering the period 1961-2010. Based on accepted indicators showed the spatial and temporal variation of precipitation in the catchment Widawa. The perennial runs is also evident decreasing trend changes, but remains statistically insignificant. The highest amount of rainfall fall in July and August, while the most frequent precipitation events up to 10mm. Strings of precipitation data from all stations were comparable. Wrocław - Swojec and Namysłów recorded the similar values, and the station in Chelstów recorded a rainfall higher up to 30% difference. Deviations from the perennial norm at all stations did not exceed 50%.