

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 17.01.2012 r.
Zaakceptowano 17.02.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OCENA ZMIAN WARUNKÓW OPADOWYCH NA STACJI NAUKOWO-BADAWCZEJ IGiPZ PAN W SZYMBARKU W OKRESIE 40 LAT OBSERWACJI (1971–2010) I ICH WPŁYW NA ZMIENNOŚĆ ODPLYWU WODY ZE ZLEWNI BYSTRZANKI

Witold BOCHENEK^{ABCDEF}

Stacja Naukowo-Badawcza IGiPZ PAN w Szymbarku

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono analizę zmian sum opadów atmosferycznych, ich struktury i czasu trwania oraz ich wpływu na dynamikę odpływu wody ze zlewni beskidzkiego cieką Bystrzanka. Przeprowadzono ją na podstawie 40-letnich (1971–2010) obserwacji opadów oraz 16-letnich pomiarów odpływu ze zlewni cieką. Zaobserwowano niepokojące zmiany, ujawnione po analizie trendów. W okresie wegetacji roślin występowały niedobory wody, spowodowane zmniejszaniem się liczby dni z opadami przeciętnymi, kształtującymi średnie przepływy w korycie cieką i równocześnie zapewniającymi zapas wody w zlewni, niezbędny dla procesów życiowych organizmów. W ciepłym okresie roku zwiększa się udział opadów o dobowych sumach przekraczających 20 mm i dużym natężeniu, które powierzchniowo spływają do cieków. Następstwem tego są coraz częstsze susze atmosferyczne i przepływy niżówkowe w korycie, obserwowane głównie w drugiej połowie lata i jesienią. Dalszą konsekwencją są niedobory wody na potrzeby gospodarce w okresie zimy.

Słowa kluczowe: opad atmosferyczny, niżówki, posucha, wezbrania, zlewnia Bystrzanki

WSTĘP

Warunki klimatyczne mają wpływ na funkcjonowanie życia na Ziemi, zarówno w skali globalnej, jak i na poziomie poszczególnych ekosystemów. Podstawowymi czynnikami meteorologicznymi, kształtującymi warunki bytowania organizmów, są opady atmosferyczne i warunki termiczne (temperatura powietrza). Te dwa parametry meteorologiczne (a w wieloleciu klimatyczne) są tak ważne, ponieważ warunkują obieg wody oraz substancji mineralnych i organicznych w środowisku.

W pracy wykorzystano dane uzyskane w wyniku 40-letnich obserwacji prowadzonych na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku, które są dość skromne w porównaniu z danymi dotyczącymi okresów nawet 200- i więcej letnich, gromadzonymi na podstawie pomiarów w wielu miastach europejskich [TREPİNSKA 2009]. Wartość danych zbieranych w Szymbarku polega jednak na ich pełnej wiarygodności, zarówno co do metodyki, jak i instrumentarium. Wyniki pomiarów prowadzonych przez 40 lat w tym samym miejscu, uzyskane tymi samymi metodami pomiarów i obliczeń, umożliwiają określenie dynamiki warunków klimatycznych: długookresowych trendów i fluktuacji wartości rocznych, sezonowych, miesięcznych i dobowych.

CEL ANALIZY

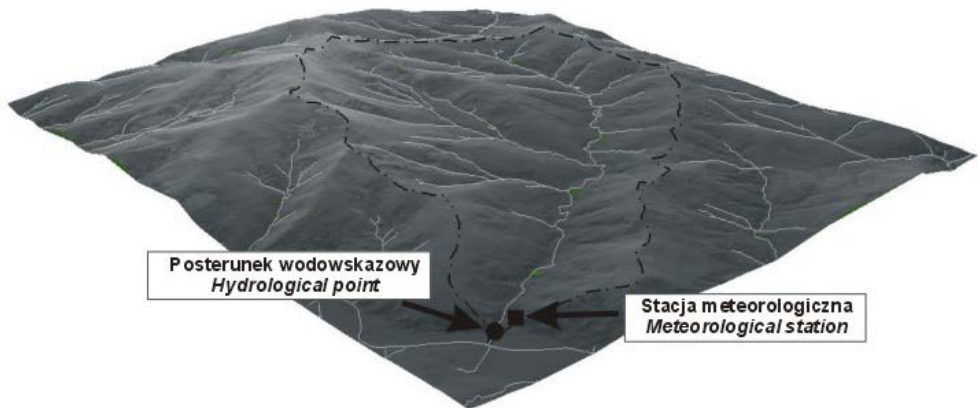
Celem przeprowadzonej analizy jest:

- ocena zmian wartości i struktury opadów w wieloleciu 1971–2010, zróżnicowania sum rocznych oraz tendencji zmian sum miesięcznych i dobowych,
- wyznaczanie okresów nadmiaru i niedoborów opadów oraz ich efektywności hydrologicznej,
- ocena wpływu zmian w strukturze opadów na wartość odpływu rzecznego, jako ostatniego ogniwa krążenia wody w zlewni rzecznej.

OBSZAR I METODY POMIARÓW

Wykorzystane do analizy dane meteorologiczne zebrano w ogródku meteorologicznym Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku, położonym na stoku o ekspozycji południowo-zachodniej, na wysokości 325 m n.p.m., w dolnej części zlewni Bystrzanki. Dane hydrologiczne pozyskano na posterunku wodowskazowym, zamykającym zlewnię Bystrzanki (13 km²) (rys. 1). Ciek Bystrzanka jest ostatnim beskidzkim dopływem Ropy, położonym na granicy Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego. Zlewnia, głównie w beskidzkiej części, jest porośnięta lasem mieszanym, z dominacją buka i jodły, zajmującym ok. 40% jej powierzchni. W części pogórskiej występują użytki rolne, przede wszystkim w postaci łąk, które – szczególnie na obszarach osuwiskowych – przestały być koszone.

Wysokość opadów mierzono za pomocą standardowego deszczomierza Hellmana, zaś analizę przepływu rzecznego przeprowadzono na podstawie zapisu stanu wody przez limnigraf.



Rys. 1. Cyfrowy model terenu zlewni Bystrzanki z lokalizacją stacji meteorologicznej i posterunku wodowskazowego; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Digital model of the Bystrzanka Stream basin and the location of meteorological and gauging stations; source: own elaboration

METODY ANALIZY

Na podstawie wysokości opadów w półroczu ciepłym i chłodnym, metodą SCHMUCKA [1965] obliczono wskaźnik opadowy J :

$$J = (P_r - 500) \frac{P_l}{P_z} \quad (1)$$

gdzie:

P_r – roczna suma opadu, mm;

P_l – suma opadu półrocza ciepłego (miesiące IV–IX), mm;

P_z – suma opadu półrocza chłodnego (miesiące I–III i X–XII), mm.

Do klasyfikacji dobowych sum opadów na poziomie analizy pełnych lat zastosowano kryteria OLECHNOWICZ-BOBROWSKIEJ [1970], a uwzględniając ich sezonową zmienność i wpływ na dynamikę obiegu wody – kryteria LEONOVA i in. [1967] (tab. 1).

W oparciu o podstawowe roczne charakterystyki opadów dokonano grupowania (aglomeracji) poszczególnych lat, wyróżniając skupienia lat bardziej i mniej podobnych do siebie pod względem wybranych cech opadu. Cechami, które

Tabela 1. Kryteria klasyfikacji dobowych sum opadu**Table 1.** Classification criteria of daily sums of precipitation

Nazwa klasy opadu Name of precipitation class	Zakres w: Range in:		
	roku ¹⁾ year ¹⁾	półroczu zimnym ²⁾ cold half-year ²⁾	półroczu ciepłym ²⁾ warm half-year ²⁾
Bardzo słaby Very low	0,1–1,0	0,1–1,0	0,1–2,0
Słaby Low	1,1–5,0	1,1–2,0	2,1–5,0
Umiarkowanie silny Moderately high	5,1–10,0	–	–
Umiarkowany Moderate	–	2,1–5,0	5,1–10,0
Silny High	10,0–20,0	5,1–10,0	10,1–20,0
Bardzo silny Very high	≥20,1	≥10,1	≥20,1

Źródło: ¹⁾ OLECHNOWICZ-BOBROWSKA [1970], ²⁾ LEONOV i in. [1967].

Source: acc. ¹⁾ OLECHNOWICZ-BOBROWSKA [1970], ²⁾ LEONOV *et al.* [1967].

uwzględniono w analizie były: roczna suma opadów, udział opadów półroczu ciepłego w sumie rocznej, miesięczne sumy opadów lutego i czerwca (miesiące o najniższej i najwyższej średniej wysokości opadów), liczba dni z opadem w roku, liczba dni z opadem o dobowej sumie <1,0 mm, liczba dni z opadem o dobowej sumie >20,0 mm i suma odchyłeń miesięcznych wskaźników opadów w danym roku względem średniej sumy wieloletniej. Zastosowano metodę Warda, uwzględniającą najmniejszą wariancję. Analizę skupień przeprowadzono na standaryzowanych wartościach zmiennych.

Do klasyfikacji miesięcznych sum opadu zastosowano kryteria KACZOROWSKIEJ [1962], uwzględniające udział sumy opadu danego miesiąca w sumie średniej z wielolecia (tab. 2).

Na podstawie miesięcznych sum opadów oraz temperatury powietrza obliczono wskaźnik hydrotermiczny *K* Sielianinowa dla miesięcy, w których przez ponad 15

Tabela 2. Kryteria klasyfikacji miesięcznych sum opadów atmosferycznych**Table 2.** Classification criteria of monthly sums of precipitation

Miesiąc Month	Udział w opadzie średnim z wielolecia, % Percent of long-term monthly mean, %
Skrajnie suchy Extremely dry	poniżej less 25
Bardzo suchy Very dry	26–50
Suchy Dry	51–75
Przeciętny Average	76–124
Wilgotny Humid	125–149
Bardzo wilgotny Very humid	150–200
Skrajnie wilgotny Wet	powyżej more 200

Źródło: wg KACZOROWSKIEJ [1962]. Source: acc. KACZOROWSKA [1962].

dni średnia dobowa temperatura powietrza przekraczała 10°C (z zastosowaniem średniej ruchomej 5-dobowej):

$$K = \frac{P_m}{0,1\Sigma t_m} \quad (2)$$

gdzie:

P_m – miesięczna suma opadu,

Σt_m – suma dobowych wartości temperatury, w okresie kiedy przekraczała ona 10°C.

W okresie analizy wyróżniono okresy suszy atmosferycznej (posuchy), przyjmując założenia SCHMUCKA [1962].

Na podstawie średnich dobowych wartości przepływu w korycie Bystrzanki w latach 1995–2010, w okresach bezśnieżnych (marzec–listopad) wyróżniono progowe wartości wezbrań i niżówek, przyjmując w przypadku niżówek kryteria klasyfikacji ZIELIŃSKIEJ [1964], zaś w przypadku wezbrań – kryteria OZGI-ZIELIŃSKIEJ i BRZEZIŃSKIEGO [1994]. Określono długość okresów przepływów wezbrań i niżówkowych w korycie ciek.

WYNIKI I DISKUSJA WYNIKÓW

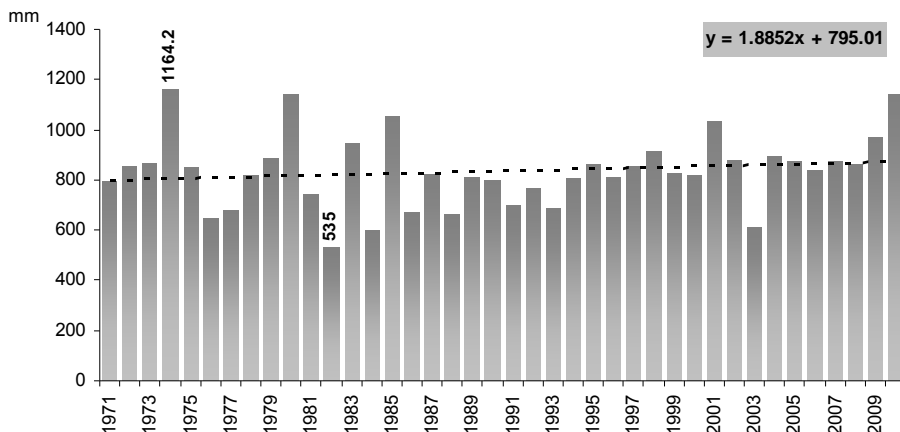
Roczne sumy opadów w badanym 40-leciu wynosiły od 535 mm (1982) do 1164 mm (1973), średnio 833,7 mm. Wrysowana linia trendu świadczy o zwiększaniu się rocznych sum opadów (rys. 2), co jest ogólną prawidłowością obserwowaną w południowej części Polski.

W półroczu meteorologicznym chłodnym (I–III i X–XII) średnia suma opadu wyniosła 267,8 mm, tj. 32,4% sumy rocznej. Udział opadów z tego okresu w ich rocznej sumie stanowił od 16,7 do 45,2%. W półroczu meteorologicznym ciepłym (IV–XI) średnia suma opadów wyniosła 565,9 mm i stanowiła 67,6% rocznej sumy, przy zakresie zmienności udziału w rocznych sumach od 54,8% do 83,3%.

Wartość wskaźnika opadowego J w okresie 40 lat wynosiła od 70 (1982 r.) do 1934 (2001 r.) średnio –782,0.

Liczba dni z opadem w poszczególnych latach wynosiła od 166 (1986 r.) do 245 dni (2004 r.), średnio – 205 dni·rok⁻¹.

Rozkład występowania dni z opadem w półroczach ciepłym i chłodnym był dosyć równomierny – odpowiednio: 105 i 100 dni. Największy udział w ogólnej liczbie dni z opadem miały dni z opadem bardzo słabym – średnio 92 dni w roku, co stanowiło ok. 45% ogólnej liczby dni z opadem. Liczba dni z opadem w tej klasie wynosiła średnio 53 w porze cieplej i 49 w porze chłodnej, co stanowiło odpowiednio 51 i 49% ogólnej liczby dni z opadem w tych porach roku (tab. 3). Nie



Rys. 2. Roczne sumy opadów atmosferycznych i tendencje ich zmian w wieloleciu 1971–2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Annual sums of precipitation and the trends of their changes in the period 1971–2010; source: own study

Tabela 3. Liczba dni z opadem: średnia (min.–max.) w wieloleciu 1971–2010

Table 3. The number of days with precipitation: mean (min.–max.) in the period 1971–2010

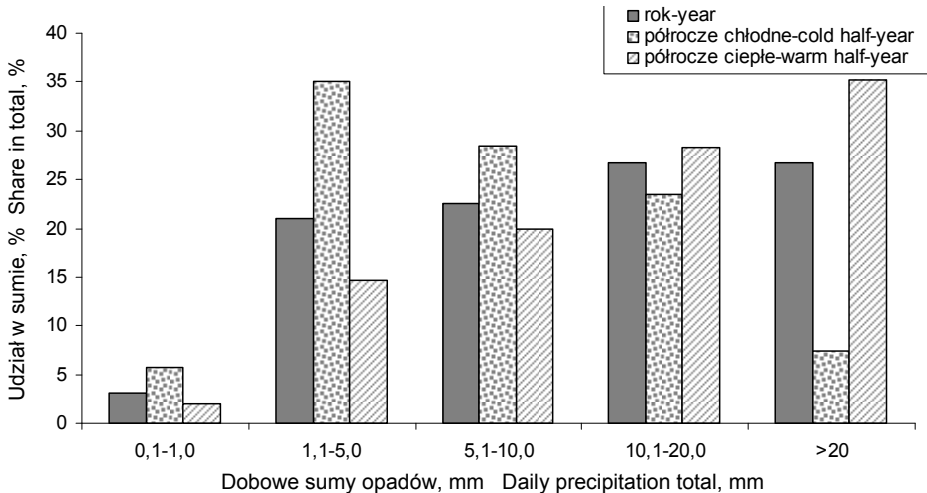
Nazwa klasy opadu Name of precipitation class	Liczba dni Number of days		
	rok year	półrocze chłodne cold half-year	półrocze ciepłe warm half-year
Bardzo słaby Very low	92 (70–115)	53 (37–66)	49 (39–66)
Słaby Low	64 (46–79)	14 (6–23)	19 (10–33)
Umiarkowanie silny Moderately high	26 (17–36)	–	–
Umiarkowany Moderate	–	21 (6–31)	15 (9–22)
Silny High	16 (3–27)	11 (6–22)	11 (2–18)
Bardzo silny Very high	7 (1–13)	6 (1–12)	6 (1–11)

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

zanotowano znaczących trendów zmian liczebności dni z opadem, zarówno w całym roku, jak i w półroczach.

Analizując udział opadów w poszczególnych zakresach sum dobowych w kształtowaniu sumy rocznej stwierdzono, że opady w przedziałach 10,1–20,0 mm·dobę⁻¹ i powyżej 20 mm·dobę⁻¹ mają największe znaczenie (ok. 27% sumy rocznej). W obydwu półroczach występowało dosyć wyraźne zróżnicowanie ilości

wody, która dociera do podłoża podczas opadów o różnej sumie dobowej. W porze chłodnej decydujące znaczenie miały opady o sumach z zakresu 1,1–5,0 mm·dobę⁻¹, w porze cieplej zaś – o sumach przekraczających 20 mm·dobę⁻¹ (rys. 3).



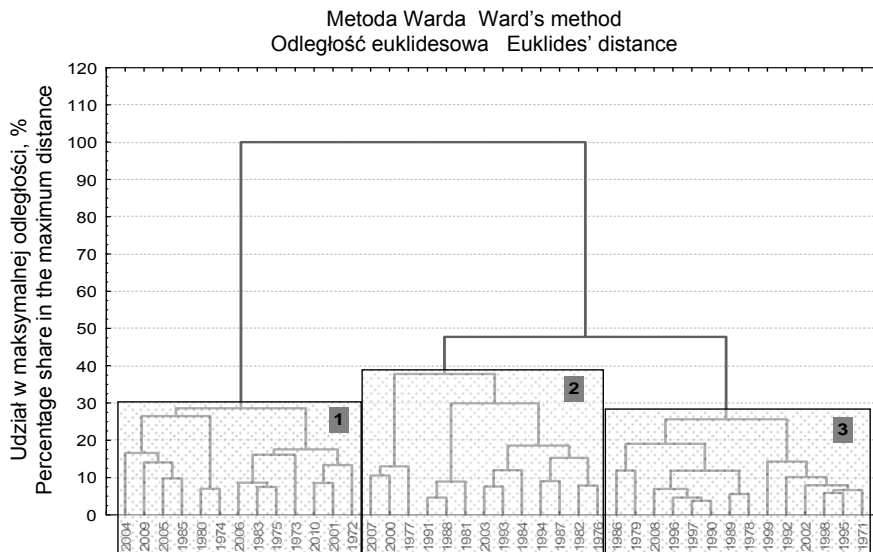
Rys. 3. Udział opadów z poszczególnych zakresów sum dobowych w sumie rocznej i półroczy klimatycznych; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. The share of precipitation from particular ranges of daily sums in the annual and climatic half-year sums; source: own study

Analizie poddano trendy udziału liczby dni z opadem bardzo słabym (0,1–1,0 mm) i bardzo silnym (>20,0 mm) w ogólnej liczbie dni z opadem. W okresie chłodnym zaobserwowano tendencję wzrostową udziału dni z opadem o dobowych sumach 0,1–1,0 mm w ogólnej liczbie dni z opadem, zaś w okresie półrocza ciepłego takiego trendu nie stwierdzono. W przypadku opadów dobowych przekraczających 20 mm obserwowano odwrotną prawidłowość – wystąpił trend rosnący w półroczu ciepłym i malejący w półroczu chłodnym.

W wyniku przeprowadzonej analizy skupień, przyjmując kryterium podobieństwa na poziomie 40% maksymalnej odległości między elementami analizy, wyróżniono 3 grupy lat (rys. 4).

W pierwszej grupie znalazły się lata o najwyższych sumach opadu: rocznych i miesięcznych czerwca oraz z największymi dodatnimi odchyleniami miesięcznych sum opadu od sum średnich z wielolecia. Do drugiej grupy zaliczono lata o niskich rocznych sumach opadów i małym udziale opadów półrocza ciepłego w sumie rocznej, lecz stosunkowo wysokiej sumie opadów w lutym (głównie lata 1977, 2000, 2007). Do trzeciej grupy zaliczono lata o przeciętnych wartościach analizowanych zmiennych, zaś niektóre z nich (1978, 1989, 1990) charakteryzował duży udział opadów półrocza ciepłego w rocznej sumie opadów.



Rys. 4. Grupowanie lat pod względem podobieństwa wybranych parametrów opadowych;
źródło: opracowanie własne

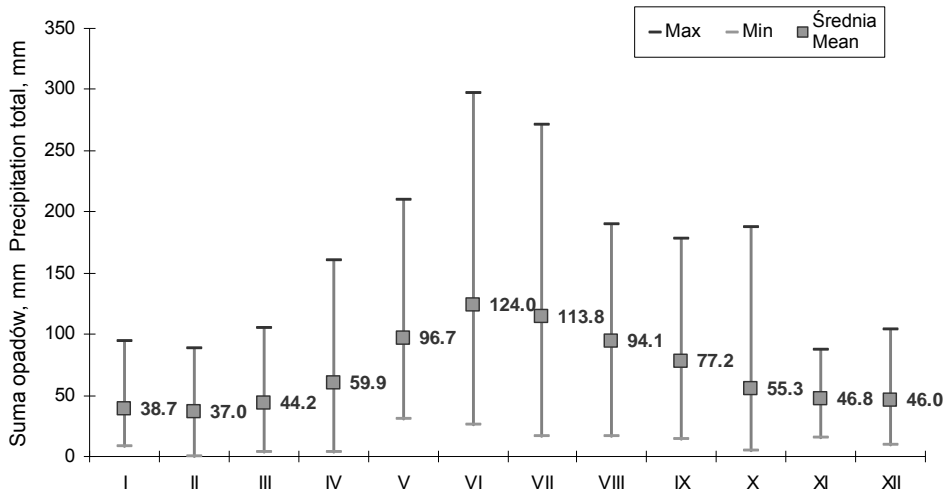
Fig. 4. Grouping of years in view of similarity of selected precipitation parameters;
source: own study

Z analizy miesięcznych sum opadów wynika, że najwyższe średnie sumy występują w czerwcu (124,0 mm), a najniższe – w lutym (37,0 mm) (rys. 5). Absolutne sumy miesięczne wynosiły od 0,5 mm (luty 1976) do 296,7 mm (czerwiec 1973). Współczynnik zmienności sum miesięcznych miał najmniejszą wartość w maju (39,2%), a największą w październiku (73,6%).

Przeprowadzono też analizę wieloletnich zmian rozkładu opadów w ciągu roku, przez określenie trendów zmian sum miesięcznych (tab. 4). Linie trendu nie wykazywały znaczących zmian w wieloleciu, jednak ich kierunek był różny w kolejnych miesiącach. Dodatni kierunek linii trendu występował w styczniu, lutym, marcu, maju i wrześniu. Tendencję spadkową obserwowano w sierpniu, w pozostałych miesiącach natomiast trend był zbliżony do stałego.

Na podstawie kryteriów KACZOROWSKIEJ [1962] przeprowadzono klasyfikację miesięcznych sum opadów (tab. 5). Pogrupowano klasy przez sumowanie liczby miesięcy „suchych” (klasy: suchy, bardzo suchy, skrajnie suchy) i „wilgotnych” (klasy: wilgotny, bardzo wilgotny i skrajnie wilgotny) w poszczególnych latach. Po wyznaczeniu linii trendu zaobserwowano tendencję zmniejszania się liczby miesięcy „suchych” i zwiększania się liczby miesięcy „wilgotnych” (rys. 6).

Na efektywność opadów, zapewniających zaspokojenie zapotrzebowania roślin na wodę, zasilenie gleb oraz wód podziemnych i w rezultacie – cieków, wpływa temperatura powietrza, od której zależy parowanie z wolnej powierzchni wody lub



Rys. 5. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w latach 1971–2010: średnie, maksymalne i minimalne; źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Monthly sums of precipitation for the period 1971–2010: mean, maximum and minimum; source: own study

Tabela 4. Tendencje zmian miesięcznych sum opadów atmosferycznych w wieloleciu 1971–2010

Table 4. Trends of monthly sums of precipitation for the period 1971–2010

Miesiąc Month	Równanie trendu Trend equation
Styczeń January	$P = 0,0127 T - 0,284$
Luty February	$P = 0,0215 T - 0,503$
Marzec March	$P = 0,0276 T - 0,637$
Kwiecień April	$P = -0,0019 T + 0,043$
Maj May	$P = 0,0147 T - 0,400$
Czerwiec June	$P = -0,0057 T + 0,138$
Lipiec July	$P = 0,0059 T - 0,102$
Sierpień August	$P = -0,0143 T + 0,412$
Wrzesień September	$P = 0,0132 T - 0,354$
Październik October	$P = -0,0021 T + 0,038$
Listopad November	$P = -0,0010 T + 0,017$
Grudzień December	$P = -0,005 T + 0,097$

Objaśnienia: P – miesięczna suma opadu, T – roczny odstęp czasu.

Explanations: P – monthly sum of precipitation, T – yearly time span.

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

ewapotranspiracja gleby albo roślinności. Jedną z miar warunków wilgotnościowych jest wskaźnik K Sielianinowa, łączący wysokość opadów i temperaturę powietrza w okresie, kiedy przekraczała ona 10°C (tab. 6).

Tabela 5. Klasyfikacja miesięcznych sum opadów wg kryteriów KACZOROWSKIEJ [1962]**Table 5.** Classification of monthly sums of precipitation according to KACZOROWSKA [1962] criteria

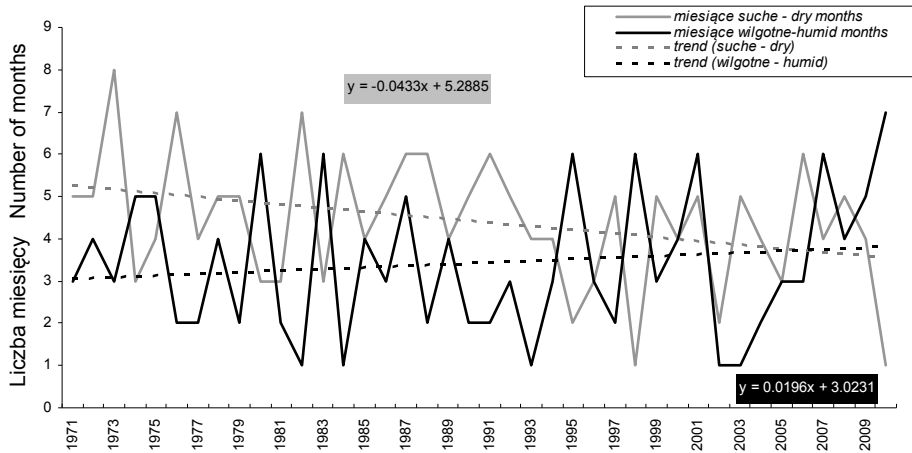
Rok/Year	Miesięczne sumy opadów / Monthly precipitation totals (mm)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1971	7.9	56.9	24.1	45.3	144	127.5	84.6	112.8	41.6	24.4	52.8	69.8
1972	18.3	21.7	12.9	100.2	97.6	162.7	81	189.2	83.2	32.5	48.5	9.3
1973	26.4	69.5	21.4	39.3	62	296.7	154.5	43.3	57.4	27.2	48.1	19.6
1974	63.6	20.6	3.7	46.3	136.3	225	144.4	99.1	101	187.3	64.9	72.3
1975	26.7	17.4	42.2	103.3	118.7	155.5	121.2	70.4	28.9	98.2	15.1	55.3
1976	94.7	0.5	33.1	33.6	117.2	34.1	37.7	54.9	113.9	30.3	51	47.2
1977	34.1	84	84.7	59.1	30.8	26.1	122.7	55.9	77	12.4	60.5	30.7
1978	18.1	31.4	25.1	91.4	115.8	89	45.6	167	98.8	54.6	30.6	50.4
1979	60.6	12.2	56.5	42.9	61.5	141.7	85.1	159.4	67.7	68	87.5	43.8
1980	13.9	13.8	35.5	96.4	35.5	225.9	241.2	81.5	100	173.1	70	53.1
1981	26.7	40	53.7	27.7	72.1	103	103.7	76.8	58.9	50.4	73.8	53.6
1982	34.8	23	9.5	48.6	44.6	55.2	94.1	25.4	42.6	25.1	37.9	94.2
1983	57.2	24.5	95.8	46.7	92.3	173.1	188.7	66.1	133.5	37.4	15.4	17.7
1984	22.1	13.2	31.3	22.3	103	95.8	86.9	26.3	107.3	45.9	17.6	31.5
1985	21.4	63	34	60.9	137.6	187.5	114.3	188.8	44.9	51.1	71.4	77.3
1986	62.7	13.6	17.4	24.1	116.6	106.4	106	92.4	14.2	32.9	20.7	59.9
1987	67.1	14.3	60.7	31.1	148.2	63.1	56.5	79.1	103.2	28.8	66.1	103.6
1988	20.3	26.2	41.4	22.9	47.8	89.2	117.4	76.9	75.7	23.5	58.5	62.2
1989	17.5	25.2	25.5	87	153.8	139.4	88.8	133.7	34.5	46.9	45.1	14.9
1990	31.7	30.5	28.3	160.1	75	89.5	85.3	91.2	105.7	19	41.3	43.6
1991	14.1	36.6	17.7	35.3	112.7	73.6	77.7	131.9	51.8	76.2	26.2	41.3
1992	48.7	51.9	27.8	50.7	90.3	77.5	61.7	44.3	143	87.6	46.5	36.3
1993	35.7	36.4	66.3	38.6	80.1	76.1	127	114.3	45.2	18.8	18.4	27.7
1994	34.8	14.6	90.2	108	77.3	99.7	16.3	107.5	67.6	96.4	39.5	50.6
1995	29.7	51.7	58.1	76.1	83.1	187.2	22.4	119.9	119.9	8.9	60.7	46.6
1996	46.3	21.4	34.5	26.2	141.3	46.4	113.7	110.9	136.1	63.4	39.5	33.6
1997	17.3	31.5	29.7	84.7	103.2	83.1	201.9	71.2	51.9	66.4	41.7	71
1998	63.9	56.5	37.2	104.6	123.7	146	105.1	53.6	69.4	84.2	34.5	33.1
1999	24.6	73.6	31.4	88.1	60.1	130.1	104.8	81	46.5	84.7	57.8	44.2
2000	42.6	72.7	104.4	77.5	90.4	48.8	228.2	46.1	49.1	4.9	22.8	30.5
2001	55.3	19.2	63.3	98.4	46.7	171.7	251.8	114.5	103	23.8	49.8	34.5
2002	24.7	43.1	34.1	47.2	96	127.9	119.5	136	84.2	104	33.4	27.4
2003	46.5	35.5	39.1	49.1	126.1	65.5	57.3	16.5	62	54	22.2	36.6
2004	21.73	88.6	43.3	45.2	90	81.9	270.8	86.1	24.6	51.8	84	9.3
2005	93	46.4	32.3	62.6	99	143.5	72.3	155.4	58.1	15.4	18.3	79.4
2006	19.8	24.5	83.5	69.8	117.9	232	21.9	102.2	25	26.2	81.5	31.6
2007	106.1	149.5	62.1	27.9	44.5	96.8	69.9	74.5	177.8	76.1	85.5	26.1
2008	36.4	20.4	48.3	37.9	59.6	41.6	242.2	100.6	120.8	69.7	24.4	62.4
2009	40.2	51.3	94.7	4.1	104.8	220.2	80.1	108	25.3	110.2	79	49.9
2010	49.1	49.4	31.8	75.1	210.2	222.5	146.7	98.2	137.9	22	28.2	57.1

skrajnie wilgotny/wet
bardzo wilgotny/very humid
wilgotny/humid
normalny/normal
suchy/dry
bardzo suchy/very dry
skrajnie suchy/extremely dry

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Za pomocą wskaźnika *K* Sielianinowa analizie poddano 221 miesiące (46% ogółu okresu analizy). Wyróżniono 46 miesięcy w klasie „nadmiar wilgoci”, 144 – z „dostatecznym zapasem wilgoci”, 22 – „posuszne” i 9 – z „silną suszą”. Występowanie miesięcy z „silną suszą” rozpoczęło się w 1994 r., wcześniej miesiące w tej klasie wskaźnika *K* nie występowały.

Przeprowadzono analizę zmienności opadu w ciągu roku, obliczając częstość występowania opadu w danym dniu roku w ciągu 40 lat. Najczęściej opad występował 30 maja (31 razy). W analogiczny sposób obliczono częstość występowania



Rys. 6. Liczebność miesięcy „suchych” i „wilgotnych” oraz tendencje jej zmian w wieloleciu 1971–2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. The number of „dry” and „humid” months and trends of their changes in period 1971–2010; source: own study

w danym dniu roku posuchy wg założeń SCHMUCKA [1962] i stwierdzono, że najczęściej zjawisko to występowało 26 września (12 razy) (rys. 7).

Efektywność hydrologiczna opadów wpłynęła na wielkość przepływu w korycie Bystrzanki. Mimo że odpływ korytowy jest determinowany przez wiele parametrów fizjograficznych, glebowych i pokrycia zlewni, skutek hydrologiczny opadów o dużym natężeniu jest prawie natychmiastowy, co jest związane z krótką drogą, jaką pokonuje woda między wierzchołkami a siecią drenażu.

Roczny wskaźnik odpływu ze zlewni Bystrzanki w okresie 1995–2010 wynosił od 267,5 mm (2007) do 896,7 mm (2010), średnio – 441,7 mm.

Dla części roku między marcem a listopadem, w której występują wezbrania opadowe, przeprowadzono analizę przepływu w korycie ciek. Analizie poddano okres 16 lat (1995–2010 r.). Stosując kryteria klasyfikacji KACZOROWSKIEJ [1962], wyróżniono w tym okresie lata hydrologiczne od klasy „bardzo suchy” (2003) do klasy „bardzo wilgotny” (2010). Podobnie wyglądała klasyfikacja 7-miesięcznych okresów, poddanych analizie.

Na podstawie dobowych przepływów w korycie ciek obliczono przepływy graniczne wezbrania małego ($0,882 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i wezbrania zwykłego ($1,320 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz niżówki płytkiej ($0,0908 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i niżówki głębokiej ($0,0076 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), stosując kryteria podane w literaturze [OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI 1994; ZIELIŃSKA 1964]. Analogicznie jak w przypadku sum opadu, określono występowanie dni z przepływem wezbraniowym i niżówkowym w ciepłym okresie roku (rys. 8). Wezbrania w danym dniu roku były notowane maksymalnie 3-krotnie w ciągu 16 lat analizy. Występowanie niżówki było szczególnie częste w trzeciej dekadzie

Tabela 6. Klasyfikacja miesięcy wielolecia 1971–2010 za pomocą wskaźnika pluwiotermicznego *K* Sielianinowa

Table 6. Classification of months for the period 1971–2010 with the Sielianinow's pluviothermal index *K*

Rok/Year	Miesiąc/ Month						
	Kwiecień/ April	Maj/May	Czerwiec/ June	Lipiec/July	Sierpień/ August	Wrzesień/ September	Październik/ October
1971		3.1	3.2	1.8	2.2	1.5	
1972		2.8	3.6	1.6	4.1	1.6	
1973		1.8	7.0	3.4	1.0	1.7	
1974		4.0	6.0	3.3	2.0	2.8	
1975		2.4	3.6	2.4	1.5	0.7	4.6
1976		4.3	0.9	0.9	1.5	3.4	1.2
1977		1.1	0.7	2.7	1.4	2.9	
1978		3.0	2.2	1.2	3.9	3.4	
1979		1.7	3.0	2.2	3.5	1.9	
1980		1.3	5.5	5.2	1.9	3.1	2.2
1981		2.5	2.3	2.2	1.8	1.6	1.4
1982		1.3	1.4	1.9	0.6	1.0	1.2
1983		0.8	4.0	3.5	1.5	3.5	2.5
1984		2.6	2.6	2.1	0.6	3.0	1.6
1985		5.4	5.2	2.4	3.8	1.5	2.6
1986		3.7	2.5	2.3	1.9	0.5	
1987		5.2	1.5	1.1	1.9	2.8	0.7
1988		1.5	2.2	2.2	1.6	2.2	
1989		1.0	3.5	1.9	2.8	1.0	2.9
1990		4.0	2.1	1.9	2.0	3.7	
1991		3.8	1.8	1.5	2.8	1.5	3.4
1992		3.0	1.7	1.2	0.8	4.3	
1993		2.0	2.0	2.8	2.5	1.5	0.8
1994		2.0	2.3	0.3	2.2	1.6	
1995		2.7	4.2	0.4	2.5	3.4	0.3
1996		3.4	1.1	2.6	2.4	5.3	
1997		2.8	2.6	3.9	1.2	2.1	
1998		3.4	3.0	2.2	1.2	2.0	
1999		1.8	2.8	2.0	1.8	1.2	4.6
2000	0.4	2.0	1.0	4.4	0.8	1.5	0.1
2001		1.2	4.3	4.6	2.2	3.2	0.3
2002		2.1	2.7	2.2	2.5	2.9	
2003		2.8	1.4	1.2	0.4	1.8	
2004		3.0	2.0	5.4	1.8	0.8	1.8
2005		2.7	3.3	1.4	3.2	1.5	0.7
2006		3.3	5.0	0.4	2.1	0.7	0.3
2007	0.7	1.1	2.0	1.3	1.5	5.4	
2008		1.7	0.8	4.6	1.9	3.5	
2009		2.9	5.1	1.5	2.2	0.7	
2010		5.6	4.7	2.6	1.9	4.3	

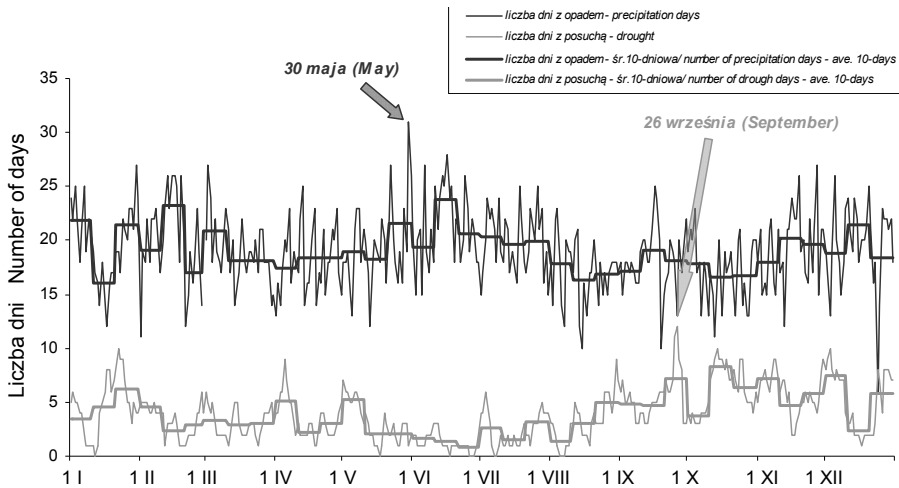
nadmiar wilgoci/excess humidity	>3
zapas wilgoci dostateczny/ sufficient reserve of humidity	1 do 3
okres posuszny/ drought	0.5-1
okres silnej suszy/ strong drought	<0.5

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

sierpnia i pierwszej połowie września. W tym okresie prawie co roku występował przepływ niżówkowy (13–15 przypadków w ciągu 15 lat analizy) (rys. 8).

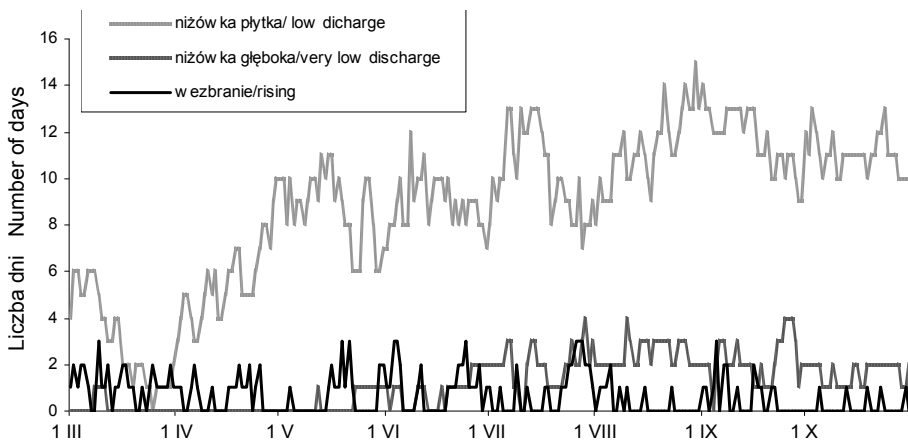
Liczba dni, zarówno z przepływem wezbraniowym, jak i niżówkowym, wykazuje tendencję wzrostową. W okresie 16 lat analizy zmniejszył się zatem czas trwania przepływów średnich (rys. 9).

W ciągu 16 lat analizy przepływów dobowych zaobserwowano 159 dni (4,1%) z przepływem wezbraniowym, w tym przez 91 dni (2,3%) był przekroczony próg wezbrania zwykłego (powyżej *NWQ*). Przepływ graniczny niżówki był przekroczony przez 2159 dni (55,1%), w tym niżówki głębokiej (poniżej *SNQ*) – przez 289 dni (7,4%).



Rys. 7. Rozkład dni z opadem i posuchą w ciągu roku; źródło: opracowanie własne

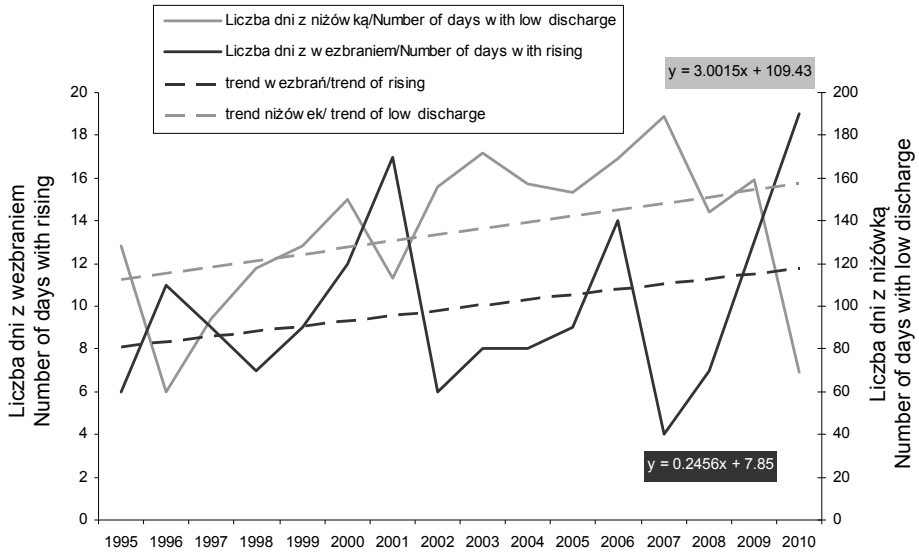
Fig. 7. Distribution of dry and rainy days in a year; source: own study



Rys. 8. Rozkład dni z wezbraniem i niżówką w korycie Bystrzanki, w okresie występowania opadów deszczowych (marzec–listopad); źródło: opracowanie własne

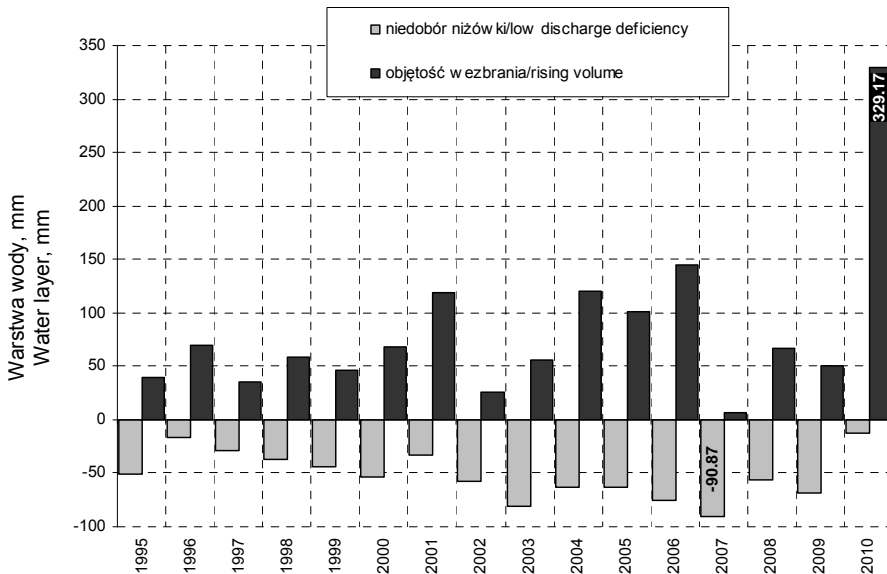
Fig. 8. Distribution of days with water risings and low discharge in the Bystrzanka Stream channel in the period of rainfalls (March–November); source: own study

Największą liczbę dni z przepływem wezbraniowym w okresie między marcem a listopadem zaobserwowano w 2010 r. (19), a największą liczbę dni z niżówką w 2007 r. (189). Obliczono również nadmiar przepływu i niedobór niżówki (rys. 10). Największy nadmiar przepływu wystąpił w 2010 r. i wyniósł 329,2 mm, zaś największy niedobór niżówki, wynoszący 90,9 mm, wystąpił w 2007 r. (rys. 10).



Rys. 9. Liczba dni z wzebraniem i niżówką i ich tendencje w wieloleciu 1996–2010;
źródło: opracowanie własne

Fig. 9. The number of days with water rising and low discharge and their trends in the period 1971–2010; source: own study



Rys. 10. Roczne wskaźniki nadmiaru przepływu i niedoboru niżówek w wieloleciu 1995–2010;
źródło: opracowanie własne

Fig. 10. Annual indices of flow excess and low-flow deficits in the period 1995–2010;
source: own study

PODSUMOWANIE

Analiza wyników 40-letniej serii obserwacyjnej opadów atmosferycznych wskazuje na występowanie zmian w ilości wody dostarczonej do zlewni rzecznej i w rozkładzie tej dostawy w czasie. Przeprowadzono analizę etapu wejścia (opad) i wyjścia (odpływ) wody ze zlewni. Nie uwzględniono zatem całej złożoności systemu krążenia wody, jej rozdziału i czasu zatrzymania w zlewni.

Na podstawie przedstawionych wyników analizy pokazano niepokojące tendencje zmian w strukturze dobowych sum opadów – zwiększenie liczby dni z opadami przekraczającymi $20 \text{ mm} \cdot \text{dobę}^{-1}$, często o dużej intensywności, które bezpośrednio spływają siecią drenażu do koryta głównego ciek. Równocześnie w okresie wegetacji brakowało opadów o umiarkowanych sumach dobowych, co było dla roślin szczególnie dotkliwie. Spowodowało to wydłużenie czasu trwania posuch oraz niżówek w korycie ciek. Z drugiej strony coraz częściej pojawiające się opady o dużej wydajności wywoływały wezbrania i szybki odpływ wody poza zlewnię. Przyczyniło się to do zmniejszania ilości wody dostępnej dla roślin, co może prowadzić do trwałych zmian w strukturze gatunkowej roślin i strat materialnych w gospodarce rolnej. Coraz częściej późną jesienią i zimą obserwowano deficyt wody, pobieranej przez okolicznych mieszkańców do picia. To kolejny i chyba najbardziej dotkliwy skutek tendencji zmian struktury opadów, obserwowanych na tym obszarze.

LITERATURA

- KACZOROWSKA Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geograficzne IG PAN. Z. 33. ISSN 0373-6547 ss. 107.
- KOSSOWSKA-CEZAK U., BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. 2009. Podstawy hydrometeorologii. Wyd. Nauk. PWN. ISBN 978-83-01-15315-1 ss. 253.
- LEONOV M., KUREJKO J.A., ŠOŠIN V.M. 1967. Povtorjaemost' osadkov na eksperimental'nom meteorologičeskom poligone po ich količestvu i vidam. U.N-I.G.M.I Trudy Vypusk. T. 67.
- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B. 1970. Częstość dni z opadem w Polsce. Prace Geograficzne IG PAN. Z. 86 ISSN 0373-6547 ss. 75.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. 1994. Hydrologia stosowana. Warszawa. Wyd. Nauk. PWN. ss. 324. ISBN 83-01-11140-2
- SCHMUCK A., 1962. Posuchy i wysokie opady atmosferyczne w województwie wrocławskim w latach 1950–1959. Czasopismo Geograficzne. T. 33 z. 4 s. 411–440.
- SCHMUCK A. 1965. Regiony pluwiotermiczne w Polsce. Czasopismo Geograficzne. T. 36. Z. 3 s. 239–244.
- TREPIŃSKA J.B. 2009. Znaczenie obserwacji pogody i stacji meteorologicznych w XIX wieku w Galicji. W: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce. Pr. zbior. Red. W. Bochenek, M. Kijowska. Szymbark. Biblioteka Monitoringu Środowiska s. 95–104.
- ZIELIŃSKA M. 1964. Metody obliczania i prognozowania niżówek w ujęciu probabilistycznym. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej. Z. 58.

Witold BOCHENEK

**EVALUATION OF PRECIPITATION AT THE IG&SO
PAS RESEARCH STATION IN SZYMBARK DURING 40-YEAR PERIOD (1971–2010)
AND ITS IMPACT ON THE VARIABILITY OF WATER RUNOFF
FROM THE BYSTRZANKA STREAM BASIN**

Key words: *drought, low discharge, precipitation, the Bystrzanka Stream basin, water rising*

S u m m a r y

The article presents an analysis of changes of precipitation sums, their structure, duration and impact on the dynamics of water outflow from the Bystrzanka Stream basin. The analysis was done for 40-year period (1971–2010) of precipitation measurements and for 16-year period of outflow records from the basin. Trend analyses revealed some worrying changes. Water deficits were observed in the vegetation periods caused by the decreasing number of days with average precipitation which generated average discharge and ensured water supply in the basin essential for life processes. The share of rainfalls above 20 mm a day and those of high intensity which directly flow down the slopes to streams increased in the warmer season. Consequently, frequent atmospheric droughts and low flows in the channel were observed mainly in late summer and autumn. Another result of such situation is the deficit of water for economic purposes in winter.