

Wpłynęło 4.10.2017 r.
Zrecenzowano 8.12.2017 r.
Zaakceptowano 19.02.2018 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

REŻIM OPADÓW I PRZEPIŁYWÓW W ZLEWNI RZEKI ZAGOŹDŹONKI PO PROFILE PŁACHTY STARE I CZARNA

Agnieszka HEJDUK^{1) ABCDEF}, Ewa KAZNOWSKA^{2) ABCDEF},
Leszek HEJDUK^{2) DEF}, Jacek GŁADECKI^{2) EF}

¹⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Laboratorium – Centrum Wodne

²⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Inżynierii Rzecznej

Streszczenie

Celem pracy jest ocena reżimu opadów i przepływów w okresie 2011–2015 na tle lat 1963–2015 (opady) i 1991–2015 (przepływy) w zlewni rzeki Zagożdżonki po profile Płachty Stare i Czarna. Okres badawczy obejmuje realizację w wyżej wymienionej zlewni dwóch projektów badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki dotyczących wezbrań zimowych i niżówek. Charakterystyki opadów dokonano na podstawie analizy sum dobowych, miesięcznych, półrocznych i rocznych. Do oceny zmienności sum opadów miesięcznych i rocznych zastosowano kryterium KACZOROWSKIEJ [1962]. Wartości przepływów dobowych z wielolecia, odnotowanych w profilach pomiarowych Płachty Stare (1963–2015) i Czarna (1991–2015) stanowiły podstawę charakterystyki hydrologicznej. Stosując kryterium hydrologiczne zaproponowane przez OZGĘ-ZIELIŃSKĄ [1990], na hydrogramach przepływów wyodrębniono niżówki i wezbrania. Za dolną granicę wezbrania przyjęto przepływ NWQ (najniższy z maksymalnych przepływów rocznych), zaś za granicę niżówek przyjęto przepływ SNQ (średni z najniższych przepływów rocznych). Charakterystyki hydrologiczne lat 2011–2015 odniesiono do wielolecia 1963–2015.

Słowa kluczowe: niżówki, opady, przepływy, rzeka Zagożdżonka, wezbrania, zlewnia nizinna

Do cytowania For citation: Hejduk A., Kaznowska E., Hejduk L., Gładecki J. 2018. Reżim opadów i przepływów w zlewni rzeki Zagożdżonki po profile Płachty Stare i Czarna. Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie. T. 18. Z. 1 (61) s. 37–55.

WSTĘP

Zmiany klimatu na obszarze Polski przyczyniają się do zwiększenia częstotliwości występowania susz i powodzi, będących skutkiem intensywnych opadów [KUNDZEWICZ, MATCZAK 2012]. Zdaniem SZWED i in. [2017] reżim odpływu jest ściśle powiązany z sezonowymi zmianami klimatu, notowanymi zarówno w skali globalnej, jak i lokalnej. W Polsce opady i ewaporacja to czynniki, które w okresie letnim mają zasadniczy wpływ na kształtowanie się odpływu. Zimą zaś, to ilość opadu zarówno w postaci ciekłej, jak i stałej, oraz temperatura powietrza decydują o zasilaniu zlewni i wielkości odpływu. Równocześnie ze względu na wzrost temperatury i coraz krócej zalegającą pokrywą śnieżną, jak również zmniejszenie ilości opadów w postaci stałej, spodziewana jest tendencja malejąca występowania wezbrań wiosennych [PIĘTKA 2009]. Ze względu na wieloletnią zmienność warunków klimatycznych i antropogeniczną działalność człowieka, mającą wpływ na stosunki wodne w zlewni, poznanie wieloletniej dynamiki odpływu staje się ważnym zagadnieniem [WRZESIŃSKI 2016]. Znaczenia nabiera zarówno ocena reakcji rzek Polski na globalne ocieplenie, jak również stwierdzenie, czy tempo zmian jest jednakowe [LENARTOWICZ, GUTRY-KORYCKA 2009].

Obserwacje ciągu wieloletnich danych meteorologicznych i hydrologicznych umożliwiają wiarygodną charakterystykę reżimu kształtowania się odpływu, ocenę zasobów wodnych, jak również ocenę dynamiki przepływu wód w wybranych okresach roku. Z tego względu badania zmienności warunków opadowych i hydrologicznych na podstawie badań terenowych mają znaczenie szczególnie w przypadku małych zlewni, gdzie zastosowanie scenariuszy zmian klimatu nie zawsze daje właściwy efekt. Wezbrania i niżówki, będące przejawem sezonowości przepływu [BARTNIK, JOKIEL 2005], jako zjawiska ekstremalne, są również przedmiotem badań w aspekcie zmian klimatu [KUNDZEWICZ 2008]. W 2001 r. w zlewni rzeki Zagożdżonki, będącej przykładem małej zlewni rolniczej na obszarze Niziny Mazowieckiej, wykonano pierwszą analizę zmienności opadów i odpływu [BYCZKOWSKI i in. 2001]. Analizy prowadzone na podstawie 37-letniego ciągu danych pozwoliły na stwierdzenie jedynie istnienia cykliczności zmienności badanych charakterystyk. Wykazały również, że zmniejszenie się przepływu wynika głównie z ograniczenia zasilania w analizowanym okresie. Kolejna analiza, wykonana w 2013 r. [BANASIK i in. 2013] dla tej samej zlewni na podstawie 48-letniego ciągu pomiarowego, wykazała statystycznie istotny trend malejący w odniesieniu do rocznego odpływu rzeczno, rocznego współczynnika odpływu, współczynnika odpływu dla półrocza letniego, przepływu zwyczajnego rocznego, przepływu zwyczajnego półrocza letniego i przepływu średniego niskiego 30-dniowego. Uzyskane wyniki zdecydowały o rozszerzeniu badań o zagadnienia związane z niżówkami i wezbrzeniami, przy czym skupiono się na częstotliwości ich występowania. Wykazano, że w badanym wieloleciu przepływy wezbraniowe i niżówkowe stanowiły do 10% wszystkich zaobserwowanych dobowych przepływów, z czego w okresie

1963–2012 więcej było przepływów wezbraniowych niż niżówkowych, a w okresie 1991–2012 odwrotnie [KAZNOWSKA i in. 2015]. Wyraźnie również widoczne były okresy, w których przepływy wezbraniowe i niżówkowe pojawiały się z większą częstotliwością.

Niniejsza praca dotyczy lat 2011–2015, kiedy w ramach dwóch projektów badawczych (NN 305 1445 40 oraz NN 305 3168 40) finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki prowadzono w zlewni szczegółowe badania dotyczące suszy, niżówek i wezbrań zimowych. Analiza danych z tego okresu miała na celu szczegółową ocenę charakterystyk przepływu oraz ilości opadów, względnie ich braku. Skupiono się także na ich zmienności w ujęciu miesięcznym, półrocznym i rocznym, porównano je z charakterystykami opadów i przepływów w wieloletciu.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Rzeka Zagożdżonka jest lewym dopływem Wisły Środkowej uchodzącym do niej w km 424,8 powyżej dopływu Radomki. Zlewnia położona na Równinie Radomskiej, na skraju Puszczy Kozienickiej, ma charakter nizinny. Według CIEPIELOWSKIEGO [1995] cechuje ją reżim umiarkowany z wezbraniem wiosennym i zimowym oraz zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym. Badania hydrologiczne w górnej części rzeki Zagożdżonki są prowadzone przez Katedrę Inżynierii Wodnej SGGW od lat 60. XX wieku. Zostały zapoczątkowane w celu określenia potrzeb wodnych Zakładów Chemicznych „Pronit” w Pionkach. Z czasem poszerzono zakres prowadzonych badań [BANASIK i in. 1999; 2006; BYCZKOWSKI i in. 2001; HEJDUK, BANASIK 2010; 2011; HEJDUK, HEJDUK 2016; 2014; KAZNOWSKA, BANASIK 2009; 2011]. Obecnie na terenie zlewni funkcjonują dwa posterunki pomiarowe w profilach Płachty Stare (od 1962 r.) oraz Czarna (od 1991 r.), gdzie pomiary podstawowych elementów meteorologicznych i hydrologicznych są prowadzone w sposób ciągły, za pomocą elektronicznego systemu gromadzenia danych. Powierzchnia zlewni po profil Płachty Stare wynosi 82,4 km², zaś po profil w Czarnej – 23,4 km². Hydrologicznie aktywna część zlewni, tj. biorąca udział w tworzeniu odpływu bezpośredniego oraz transporcie rumowiska, wynosi odpowiednio 62,8 km² i 19,5 km² [HEJDUK i in. 2010]. W strukturze użytkowania terenu dominują grunty orne, około 40% powierzchni zajmują lasy. Klimat panujący w obrębie zlewni jest dość łagodny i jednolity. Charakteryzuje się on stosunkowo niewielkimi opadami, których miesięczne sumy są znacznie większe w półroczu letnim niż zimowym. Średnie roczne sumy opadów i odpływu wynoszą odpowiednio 612 mm i 107 mm [BANASIK i in. 2013]. Podstawowe parametry fizycznogeograficzne zlewni zestawiono w tabeli 1. Szczegółową charakterystykę zlewni rzeki Zagożdżonki i systemu monitoringu zainstalowanego na posterunkach pomiarowych można znaleźć w następujących pracach: BANASIK [1983]; BANASIK i in. [2013]; HEJDUK i in. [2010] oraz HEJDUK i IGRAS [2011].

Tabela 1. Charakterystyki fizycznogeograficzne zlewni Zagożdżonki po profil Płachty Stare i Czarna**Table 1.** Physical characteristics of the Zagożdżonka catchment, Płachty Stare and Czarna gauging station

Rodzaj charakterystyki Type of characteristic	Jednostka Unit	Płachty Stare	Czarna
Powierzchnia zlewni Catchment area	km ²	82,4	23,4
Długość rzeki River length	km	8,5	6,3
Najwyższa wysokość zlewni Maximum height	m n.p.m.	191,10	187,87
Maksymalna deniwelacja terenu Absolute relief	m n.p.m.	43,0	32,1
Spadek rzeki The mean slope of the stream	‰	3,1	3,1
Gleby piaszczyste Sandy soils	%	90	90
Zalesienie Forest	%	40	20

Źródło: opracowanie własne na podstawie ŚREDNICKI i in. [2011] i BANASIK [1994].

Source: own elaboration acc. to ŚREDNICKI *et al.* [2011] and BANASIK [1994].

CHARAKTERYSTYKA DANYCH I METODY BADAŃ

Dane o opadach pochodzą z ogródka meteorologicznego Katedry Inżynierii Wodnej – stacji pomiarowej w Czarnej (1982–2015) i z posterunku opadowego IMGW w Zwoleniu (1963–1982). Dane te są wspólne dla obu analizowanych profili. Klasyfikację miesięcy i lat w rozpatrywanym okresie 2011–2015 i całym wieloletniu 1963–2015 wykonano na podstawie procentowego udziału miesięcznych i rocznych sum opadów w stosunku do norm wieloletnich wg KACZOROWSKIEJ [1962]. W poszczególnych miesiącach roku hydrologicznego określono także liczbę dni z opadem (w mm) o różnej wysokości: $\geq 0,1$; (0,1, 1); (1, 10); $\langle 10, 20$; ≥ 20 , poszukując zmian w ich występowaniu. Przedziały wysokości opadu przyjęto za BOCHENEK [2012], wzbogacając o własną modyfikację. Charakterystyka opadów dotyczyła również okresów posusznych (O_p), za które uznano ciągi dni bezopadowych trwające dłużej niż 9 dni. Długość ciągów bezopadowych jest jednym z kryteriów określania posuch atmosferycznych. Według ŁABĘDZKIEGO [2006] w literaturze spotkać można wiele kryteriów definiujących typy posuch, które różnią się zarówno długością okresu bezopadowego i wielkością opadu, który kończy okres posuszny lub nie wpływa na jego zakończenie. Metoda okresów bezopadowych umożliwia ustalenie początku, końca i czasu trwania posuchy. W pracy wydzielono okresy posuszne, korzystając z podziału według ŁABĘDZKIEGO [2006] za: BAC i in. [1993], tj.: posucha (9–17 dni bez opadu), umiarkowana posucha (18–28 dni), długotrwała posucha (ponad 28 dni), jak również okres bezopadowy trwający w okresie wegetacyjnym krócej niż 9 dni, niepowodujący szkód, posiłkując się założeniem SCHMUCKA [1969]. Wyznaczone posuchy dla całego okresu wieloletniego 1963–2015 opisano częstością występowania, zakresem trwania (dni) i okresem, w którym wystąpiła najdłuższa posucha w danym roku hydrologicznym.

Przepływy dobowe pochodzące z profilu Płachty Stare (1963–2015) i profilu Czarna (1991–2015) posłużyły do wyznaczenia przepływów charakterystycznych (SQ , NQ , WQ) w okresie 2011–2015 i dla okresu wieloletniego, a także do uzyskania liczby dni z przepływami niżówkowymi i wezbraniowymi oraz do wyznaczenia objętości wezbrań i niżówek. Szczegółowy opis przyjętej w pracy metody wyznaczania charakterystyk niżówek i wezbrań znajduje się w pracy KAZNOWSKIEJ i in. [2015].

Ocenę tendencji zmian charakterystyk opadu i przepływu oparto na analizie istotności statystycznej trendu za pomocą nieparametrycznego testu Manna–Kendalla [ZHANG i in. 2016] na dwóch poziomach istotności $\alpha = 0,1$ i $\alpha = 0,05$, wykorzystując program Trend [CHIEW, SIRIWARDENA 2005]. Badany szereg czasowy ($X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$) jest poddawany uszeregowaniu od wartości najmniejszej do największej ($R_1, R_2, R_3, R_4, \dots, R_n$). Statystyka testowa S zdefiniowana jest jako:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_j - R_i) \right] \quad (1)$$

Podstawiając x za $R_j - R_i$, uzyskuje się:

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ dla } x > 0$$

$$\text{sgn}(x) = 0 \text{ dla } x = 0$$

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ dla } x < 0$$

Jeśli badany szereg czasowy ma trend (tzn. hipoteza zerowa H_0 jest prawdziwa), to S jest aproksymowana rozkładem normalnym o:

$$\text{– średniej: } \mu = 0$$

$$\text{– odchyleniu standardowym: } \sigma = n(n-1)(2n+5)/18$$

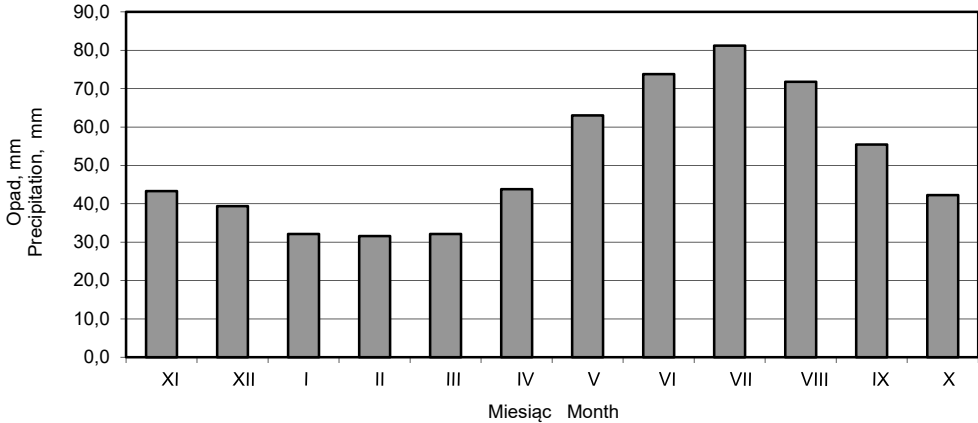
Wartość statystyki testowej z wynosi:

$$z = \frac{|S|}{\sigma^{0,5}} \quad (2)$$

Krytyczna wartość statystyki testowej dla wybranych poziomów istotności pochodzi z tablic prawdopodobieństwa rozkładu normalnego [CHIEW, SIRIWARDENA 2005; ZHANG i in. 2016].

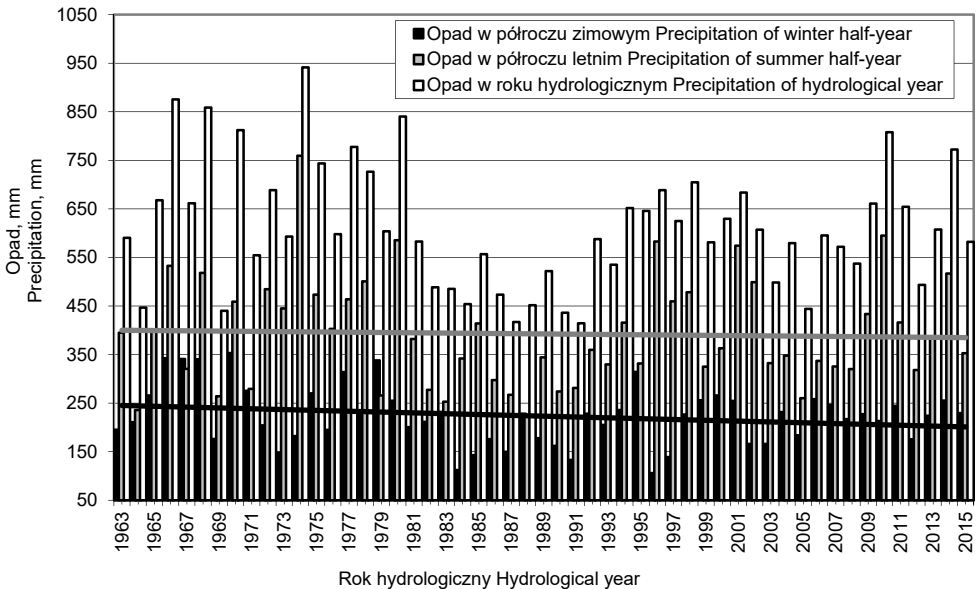
WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Dotychczasowe wyniki badań dotyczące charakterystyk miesięcznych, półrocznych i rocznych opadów w zlewni Zagożdżonki [BANASIK i in. 2013; KAZNOWSKA i in. 2015; 2016] wskazują, że opady rozkładają się nierównomiernie w ciągu roku hydrologicznego, z przewagą opadów w półroczu letnim (rys. 1, 2), bez istotnych statystycznie zmian w wieloletnim przebiegu rocznych i półrocznych sum opadów (tab. 7). Wnioski te są zgodne z badaniami CZARNECKIEJ i NIDZGOR-



Rys. 1. Rozkład średnich sum opadów w miesiącach roku hydrologicznego w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w latach 1963–2015; źródło: badania Zakładu Inżynierii Rzeczej SGGW

Fig. 1. Mean annual distribution of precipitation in Zagożdżonka catchment, Płachty Stare 1963–2015; source: research carried out in the Department of Hydraulic Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW



Rys. 2. Rozkład rocznych i półrocznych sum opadów w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w latach 1963–2015 z trendami sum opadów dla półroczy; źródło: badania Zakładu Inżynierii Rzeczej SGGW

Fig. 2. Annual and half-year distribution of precipitation in Zagożdżonka catchment, Płachty Stare 1963–2015, with trends of sum half-year precipitation; source: research carried out in the Department of Hydraulic Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

SKIEJ-LENCEWICZ [2012], które obejmowały miesięczne sumy opadów atmosferycznych z 38 stacji meteorologicznych IMGW z okresu 1951–2010 i z których wynika, że żadne z badanych charakterystyk opadów, tj. sumy opadów kalendarycznych pór roku – ich wielkość, procentowy udział w sumie rocznej, ilorazy sum opadów: półrocza ciepłego (IV–IX) i chłodnego (X–III), lata (VI–VIII) i zimy (XII–II), jesieni (IX–XI) i wiosny (III–V), nie wykazują statystycznie istotnego trendu liniowego, nawet na poziomie $\alpha = 0,10$.

Lata 2011–2015, to okres zróżnicowany pod względem rocznej sumy opadów w stosunku do średniej wieloletniej traktowanej jako norma. Według kryterium KACZOROWSKIEJ [1962] lata 2011, 2013 i 2015 miały charakter przeciętny, natomiast rok 2014 był bardzo wilgotny, a 2012 – suchy (tab. 2). Na uwagę zasługuje nie tyle roczna suma opadów, co sumy opadów w poszczególnych miesiącach. Biorąc pod uwagę miesięczne sumy opadów w odniesieniu do normy wieloletniej, można zauważyć, że miesiące skrajnie suche i bardzo suche sąsiadują z miesiącami skrajnie wilgotnymi i bardzo wilgotnymi. Zjawisko to w zlewni Zagożdżonki obserwowane jest coraz częściej od 2006 r. (tab. 2). W okresie 2011–2015 jedynie styczeń i kwiecień były miesiącami o stosunkowo stałej sumie opadów i jednolitym charakterze. Kwiecień przez wszystkie ostatnie analizowane 5 lat był przeciętny, a styczeń czterokrotnie bardzo wilgotny. Z kolei miesiące: listopad, marzec, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień w okresie 2011–2015, w zależności od roku, miały charakter zarówno skrajnie i bardzo wilgotny, jak i skrajnie i bardzo suchy, a także typy pośrednie (przeciętny, wilgotny, suchy). Już w 2006 r. KASZEWSKI [2006] uważał, że współcześnie większym problemem jest duża zmienność poszczególnych elementów klimatu, nie tylko z roku na rok, ale i z miesiąca na miesiąc. Autor ten podkreślił również, że zbadania wymaga także dość powszechnie przyjmowana obecnie teza o zwiększonej częstości występowania w ostatnich latach ekstremalnych wartości elementów meteorologicznych i klimatycznych.

Obserwując w zlewni Zagożdżonki częstość występowania miesięcy o danym typie, można stwierdzić, że miesiące skrajnie suche w okresie 2011–2015 stanowiły 8% wszystkich miesięcy, natomiast w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 ich udział był mniejszy i wynosił 5%. W analizie częstości występowania miesięcy bardzo suchych sytuacja była odwrotna – w okresie 2011–2015 stanowiły one 10% wszystkich miesięcy, a w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 było ich więcej i stanowiły 13%. Miesiące o typie skrajnie wilgotnym, w latach 2011–2015 stanowiły jedynie 3%, a w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 było ich więcej – 6% wszystkich miesięcy. Natomiast częstość występowania miesięcy bardzo wilgotnych była większa i w okresie 2011–2015 wynosiła 18%, a w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 mniej – 12% (tab. 2).

Według badań ŁABĘDZKIEGO [2006] obszar, na którym znajduje się zlewnia rzeki Zagożdżonki, charakteryzuje się najczęściej występującymi suszami i skrajnie długimi ciągami dni bez opadów. Analiza okresów posusznych (ciągi dni bezopadowych dłuższe niż 9 dni) na rozpatrywanym obszarze (tab. 3) wykazała, że

Tabela 2. Klasyfikacja miesięcy i lat w zlewni rzeki Zagożdżonki na podstawie procentowego udziału miesięcznych i rocznych sum opadów w stosunku do norm wieloletnich

Table 2. Classification of months and years in the Zagożdżonka River basin based on a percentage of monthly and annual precipitation in relation to long-term norms

Rok Year	Miesiąc Month												XI-X
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1963													
1964													
1965													
1966													
1967													
1968													
1969													
1970													
1971													
1972													
1973													
1974													
1975													
1976													
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996													
1997													
1998													

Rok Year	Miesiąc Month											XI-X	
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		X
1999													
2000													
2001													
2002													
2003													
2004													
2005													
2006													
2007													
2008													
2009													
2010													
2011													
2012													
2013													
2014													
2015													

skrajnie wilgotny wet	bardzo wilgotny very humid	wilgotny humid	przeciętny average	suchy dry	bardzo suchy very dry	skrajnie suchy ekstremalnie dry
-----------------------	----------------------------	----------------	--------------------	-----------	-----------------------	---------------------------------

Źródło: opracowanie własne na podstawie kryteriów wg KACZOROWSKIEJ [1962].

Source: own elaboration based on criteria presented by KACZOROWSKA [1962].

średnia liczba posuch w ciągu roku w wieloleciu 1962–2015 wynosiła 5, a w okresie ostatnich lat (2011–2015) o jedną posuchę więcej. Jednakże analiza chronologicznego ciągu najdłuższych posuch (maksymalna długość ciągu bez opadu), w której rozpatrywano po jednej posusze z każdego roku z wielolecia 1963–2015, nie wykazała istotnych statystycznie zmian (tab. 7). Zakres trwania posuch w wieloleciu wynosił od 10 do 37 dni i stwierdzono ich występowanie zarówno w miesiącach letnich, jak i zimowych. Najdłuższa posucha wystąpiła w 1976 r. w okresie stycznia i lutego (tab. 3).

Analizując średnią liczbę dni z opadem (P) o określonej wysokości, można zauważyć, że w zlewni rzeki Zagożdżonki dominują dni z opadem (w mm) w przedziale (1, 10) z przewagą w półroczu zimowym (tab. 4). Najrzadziej zaś występują dni z opadem >20 mm, w odniesieniu do których obserwuje się istotny statystycznie spadek na poziomie istotności $\alpha = 0,1$. W okresie 2011–2015 średnia liczba dni z najwyższymi opadami (≥ 20 mm) była mniejsza niż w wieloleciu 1963–2015 i wynosiła 0 (w miesiącach czerwiec, sierpień, wrzesień) w stosunku do 1 dnia w wieloleciu 1963–2015 (tab. 4). Dla pozostałych chronologicznych ciągów liczby

Tabela 3. Okresy posuszne (O_p) w latach hydrologicznych 1963–2015 w zlewni rzeki Zagożdżonki**Table 3.** Drought spell periods (O_p) in the hydrological years 1963–2015 in the Zagożdżonka catchment

Rok Year	Liczba O_p Number of O_p	Zakres trwania (dni) Duration range (days)	Wystąpienie naj- dłużej trwającego O_p Occurrence of the longest O_p	Rok Year	Liczba O_p Number of O_p	Zakres trwania (dni) Duration range (days)	Wystąpienie okresu najdłużej trwającego O_p Occurrence of the longest O_p
1963	7	10–27	III–IV	1990	9	10–27	X
1964	8	10–23	II–III	1991	6	10–22	I
1965	3	11–12	IV	1992	4	12–20	IX–X
1966	6	10–17	IV	1993	7	10–17	II–III
1967	3	10–13	VIII–IX	1994	3	15–26	VII–VIII
1968	3	10–12	IV	1995	3	10–27	VII–VIII
1969	7	10–25	IX–X	1996	4	10–20	XI–XII, V–VI
1970	2	14	VII–VIII, X	1997	6	11–27	I
1971	5	11–30	VII–VIII	1998	2	11–12	IX
1972	3	10–17	I	1999	8	11–20	IX
1973	3	10–17	XII	2000	4	12–21	IV–V, X
1974	3	12–32	III–IV	2001	5	10–15	I
1975	2	12–29	II–III	2002	8	10–17	VIII–IX
1976	6	10–37	I–II	2003	8	10–27	XII
1977	3	13–27	X	2004	0		
1978	2	10–12	X	2005	8	10–21	III–IV
1979	6	10–22	IX–X	2006	9	10–16	IV, VI–VII
1980	3	14–19	I	2007	3	10–16	VII–IX
1981	5	11–16	IV, VI–VII	2008	4	10–19	V–VI
1982	7	11–24	VIII–IX	2009	5	10–34	IV–V
1983	4	12–28	VIII–IX	2010	5	11–18	XI–XII, X
1984	5	14–27	II–III	2011	6	11–27	IX–X
1985	8	10–19	I	2012	5	11–28	XI–XII
1986	5	11–24	IX–X	2013	5	11–27	VII–VIII
1987	7	10–17	II	2014	7	10–14	II–IV, X
1988	4	10–24	X	2015	6	11–18	XI–XII
1989	4	12–23	V				

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

dni z opadem (w mm) $\geq 0,1$; (0,1, 1); (1, 10); $< 10, 20$) nie zanotowano istotnych statystycznie trendów (tab. 7).

Pod względem warunków hydrologicznych okres 2011–2015 był zróżnicowany (tab. 5, 6). Przepływy średnie roczne (SQ) różniły się znacząco od siebie, szczególnie w latach 2011 i 2012. Przepływ średni roczny z okresu 2011–2015 ($0,263 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Tabela 4. Liczba dni z opadem (P) o określonej wysokości w wieloleciu 1963–2015 w ujęciu miesięcznym**Table 4.** The number of days with precipitation (P) at a specified height in 1963–2015 period of time in monthly terms

Parametr Parameter	Liczba dni w miesiącu Number of days in month											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Liczba dni z opadem $P < 1$ mm Number of days with $P < 1$ mm												
1963–2015												
Suma Sum	177	179	179	167	167	137	139	126	136	114	109	118
Średnia Average	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2
Maximum	13	8	9	10	8	7	8	10	7	8	7	6
2011–2015												
Średnia Average	5	4	6	3	2	3	2	2	2	3	2	2
Liczba dni z opadem $1 \text{ mm} < P < 10 \text{ mm}$ Number of days with $1 \text{ mm} < P < 10 \text{ mm}$												
1963–2015												
Suma Sum	448	482	454	402	403	369	381	377	380	336	357	343
Średnia Average	8	9	9	8	8	7	7	7	7	6	7	6
Maximum	15	17	18	16	15	13	15	14	15	12	14	18
2011–2015												
Średnia Average	6	11	13	6	5	8	6	9	6	6	6	7
Liczba dni z opadem $10 \text{ mm} < P < 20 \text{ mm}$ Number of days with $10 \text{ mm} < P < 20 \text{ mm}$												
1963–2015												
Suma Sum	36	25	15	19	20	42	80	100	92	73	50	49
Średnia Average	1	0	0	0	0	1	2	2	2	1	1	1
Maximum	3	2	2	2	3	3	4	7	6	4	4	5
2011–2015												
Średnia Average	1	0	0	0	1	1	3	2	3	1	1	0
Liczba dni z opadem $P > 20 \text{ mm}$ Number of days with $P > 20 \text{ mm}$												
1963–2015												
Suma Sum	6	1	3	0	3	11	25	32	56	44	28	10
Średnia Average	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Maximum	1	1	1	0	2	1	2	3	5	5	2	4
2011–2015												
Średnia Average	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

w profilu Płachty Stare był mniejszy od przepływu średniego z wielolecia 1963–2015 ($0,276 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Trend malejący przepływów średnich rocznych i przepływów średnich z półroczy zimowych jest widoczny w Płachtach Starych i istotny statystycznie już na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Tendencji tej nie zauważono w przypadku przepływów średnich z półroczy letnich (tab. 7).

Tabela 5. Przepływy charakterystyczne w profilu Płachty Stare w zlewni rzeki Zagożdżonki oraz charakterystyki wezbrań i niszówek
Table 5. Characteristic discharges in Płachty Stare gauging station in Zagożdżonka catchment and characteristic of floods and droughts

Rok/Okres Year/Period	XI-X			XI-IV			V-X						
	$\sum Q$	NQ	WQ	$\sum Q_n$	$\sum Q_w$	$\sum V_w$	$\sum Q_n$	$\sum Q_w$	$\sum V_w$				
	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	dni days	tys. m^3 thous. m^3	tys. m^3 thous. m^3	dni days	tys. m^3 thous. m^3	tys. m^3 thous. m^3				
2011	0,379	0,058	2,73	27	79	0,489	0	52	1 676	0,271	27	16,9	1 023
2012	0,160	0,043	0,69	96	3	0,225	1	3	34,2	0,094	96	0	108
2013	0,269	0,025	9,23	59	32	0,314	0	18	909	0,224	59	14	155
2014	0,258	0,093	2,83	0	18	0,212	0	4	49,1	0,303	0	14	0
2015	0,249	0,022	1,12	66	32	0,350	0	28	440	0,149	66	4	144
1991–2015	0,239	0,022	13,7	30 ¹⁾	24 ¹⁾	0,302 ¹⁾	0,04 ¹⁾	17 ¹⁾	583 ¹⁾	0,177 ¹⁾	30 ¹⁾	6 ¹⁾	360 ¹⁾
1963–2015	0,276	0,022	13,7	26 ¹⁾	34 ¹⁾	0,349 ¹⁾	0,08 ¹⁾	25 ¹⁾	960 ¹⁾	0,204 ¹⁾	26 ¹⁾	9 ¹⁾	40 ¹⁾
2011–2015	0,263	0,022	9,23	50 ¹⁾	33 ¹⁾	0,318 ¹⁾	0,20 ¹⁾	21 ¹⁾	621 ¹⁾	0,208 ¹⁾	50 ¹⁾	12 ¹⁾	85 ¹⁾

Objaśnienia: $\sum Q$ = przepływ średni; WQ = przepływ maksymalny; NQ = przepływ niski; $\sum Q_n$, $\sum Q_w$ = suma dni odpowiednio z przepływem niżówkowym i wezbrańiowym; $\sum V_w$, $\sum V_n$ = suma odpowiednio deficytów objętości niszówek i objętości wezbrań; ¹⁾ = wartość średnia roczna.

Explanations: $\sum Q$ = mean flow; WQ = the highest flow; NQ = the lowest flow; $\sum Q_n$, $\sum Q_w$ = sum of days with droughts, floods; $\sum V_n$, $\sum V_w$ = volume deficit of droughts, volume of floods; ¹⁾ = average annual value.

Źródło: badania własne. Source: own study.

Tabela 6. Przepływy charakterystyczne w profilu Czarna w zlewni rzeki Zagożdżonki oraz charakterystyki wezbrań i niszówek

Table 6. Characteristic of discharges in Czarna gauging station in Zagożdżonka catchment and characteristic of floods and droughts

Rok/Okres Year/Period	XI-X			XI-IV			V-X						
	$\sum Q$	NQ	WQ	$\sum Q_n$	$\sum Q_w$	$\sum V_w$	$\sum Q_n$	$\sum Q_w$	$\sum V_w$				
	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	dni days	tys. m^3 thous. m^3	tys. m^3 thous. m^3	dni days	tys. m^3 thous. m^3	tys. m^3 thous. m^3				
2011	0,145	0,016	1,26	0	99	0,197	0	72	1 059	0,094	0	27	0
2012	0,049	0,007	0,23	10	6	0,066	9	5	20,4	0,033	0	1	0
2013	0,102	0,010	3,11	6	39	0,116	0	24	440	0,089	6	15	0,35
2014	0,093	0,021	1,53	0	37	0,078	0	10	40	0,107	0	27	0
2015	0,069	0,025	0,92	47	34	0,100	0	29	128	0,038	47	5	16,9
1991–2015	0,076	0,003	3,11	16 ¹⁾	29 ¹⁾	0,096 ¹⁾	0,72 ¹⁾	21 ¹⁾	257 ¹⁾	0,055 ¹⁾	16 ¹⁾	9 ¹⁾	3,06 ¹⁾
2011–2015	0,092	0,007	3,11	13 ¹⁾	43 ¹⁾	0,111 ¹⁾	2 ¹⁾	28 ¹⁾	338 ¹⁾	0,072 ¹⁾	11 ¹⁾	15 ¹⁾	3,45 ¹⁾

Objaśnienia jak w tabeli 5. Explanations as in Table 5.

Źródło: badania własne. Source: own study.

Tabela 7. Analiza istotności statystycznej trendów opadu, przepływu średniego rocznego i z półroczy oraz charakterystyk wezbrań i niżówek w zlewni rzeki Zagożdżonki w okresie 1963–2015 na podstawie testu Manna–Kendalla

Table 7. Analysis of the statistical significance of trends of precipitation, annual average discharge, characteristics of floods and streamflow droughts in the Zagożdżonka River basin in period 1963–2015 based on Mann–Kendall test

Parametr Parameter	Poziom istotności Signifi- cance level $\alpha = 0,10$	Wartość krytyczna Critical value Statistic table	Poziom istotności Signifi- cance level $\alpha = 0,05$	Wartość krytyczna Critical value Statistic table	Z testowe Z statistic
1	2	3	4	5	6
Opad półrocza letniego, mm Precipitation of summer half-year, mm	0		0		0,069
Opad półrocza zimowego, mm Precipitation of winter half-year, mm	0		0		-0,859
Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm Number of days with precipitation $\geq 0,1$ mm	0		0		0,468
Liczba dni z opadem (0,1; 1) mm Number of days with precipitation (0,1; 1) mm	0		0		0,798
Liczba dni z opadem (1; 10) mm Number of days with precipitation (1; 10) mm	0		0		-0,468
Liczba dni z opadem (10; 20) mm Number of days with precipitation (10; 20) mm	0		0		-0,107
Liczba dni z opadem ≥ 20 mm Number of days with precipitation ≥ 20 mm	-		0		-1,856
Maksymalna długość ciągu bez opadu, dni Maximum length of days without precipitation during	0		0		-0,107
Średni roczny przepływ SQ , $m^3 \cdot s^{-1}$ Annual average discharge SQ , $m^3 \cdot s^{-1}$		1,645		1,96	
- Czarna, 1991–2015	0		0		0,631
- Płachty, 1991–2015	0		0		0,304
- Płachty, 1963–2015	-		-		-2,201
Średni przepływ SQ z XI–IV, $m^3 \cdot s^{-1}$ Average discharge SQ of XI–IV, $m^3 \cdot s^{-1}$					
- Czarna, 1991–2015	0		0		0,537
- Płachty, 1991–2015	0		0		0,070
- Płachty, 1963–2015	-		-		-2,171
Średni przepływ SQ z V–X, $m^3 \cdot s^{-1}$ Average discharge SQ of V–X, $m^3 \cdot s^{-1}$					
- Czarna, 1991–2015	0		0		1,565
- Płachty, 1991–2015	0		0		0,911
- Płachty, 1963–2015	0		0		-1,097
Liczba dni z wezbraniem w roku Number of days with floods in a year					
- Czarna, 1991–2015	0		0		0,374
- Płachty, 1991–2015	0		0		0,327
- Płachty, 1963–2015	-		-		-2,125

cd. tab. 7

1	2	3	4	5	6
Liczba dni z niżówką w V–X					
Number of days with streamflow drought in V–X					
– Czarna, 1991–2015	0		0		–1,098
– Płachty, 1991–2015	0		0		0,561
– Płachty, 1963–2015	+		+		2,493
Liczba dni z wezbraniem w XI–IV					
Number of days with floods in XI–IV					
– Czarna, 1991–2015	0		0		0,397
– Płachty, 1991–2015	0		0		0,561
– Płachty, 1963–2015	–		0		–1,78
Liczba dni z wezbraniem w V–X					
Number of days with floods in V–X					
– Czarna, 1991–2015	0		0		0,374
– Płachty, 1991–2015	0		0		0,514
– Płachty, 1963–2015	0		0		–0,652
Suma objętości niżówek w V–X					
Sum of streamflow droughts volume in V–X					
– Czarna, 1991–2015	0		0		–0,677
– Płachty, 1991–2015	0		0		0,724
– Płachty, 1963–2015	+		+		2,508
Suma objętości wezbrań w XI–IV					
Sum of floods volume in XI–IV					
– Czarna, 1991–2015	0		0		0,304
– Płachty, 1991–2015	0		0		0,234
– Płachty, 1963–2015	–		–		–1,994

Objaśnienia: +/- statystycznie istotny trend dodatni/ujemny, 0 = brak trendu.

Explanations: +/- statistical significance of positive/negative trend, 0 = no trend.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rozpatrywany okres badawczy 2011–2015 to czas występowania dwóch katastrofalnych susz (2012 i 2015), które swoim zasięgiem objęły znaczne obszary kraju [IMGW 2012; 2015]. W profilu Płachty Stare w badanym pięcioleciu, z wyjątkiem roku 2014, wystąpiło zjawisko niżówki wód powierzchniowych (tab. 5). W profilu Czarna, który jest położony w górnym biegu rzeki, niżówki – oprócz roku 2014 – nie zanotowano także w 2011 (tab. 6). Do najbardziej intensywnych i długotrwałych niżówek należała ta w 2012 i 2015 r. W 2012 r. zarówno w profilu Płachty Stare, jak i Czarna już w półroczu zimowym w lutym wystąpiły przepływy niżówkowe (1 dzień w Płachtach Starych, 9 dni w Czarnej), a w półroczu letnim niżówka w Płachtach Starych rozpoczęła się pod koniec maja i zakończyła na początku października; zarówno czas jej trwania, jak i objętość oraz deficyt były 3 razy większe od wartości średnich wieloletnich (tab. 5). Niżówka w 2015 r. również była długotrwała, a jej deficyt był ponad 3-krotnie większy od średniej wieloletniej. W roku 2015 przepływ minimalny roczny (NQ) w Płachtach Starych osią-

gnął najniższą dotychczas notowaną wartość w wieloleciu 1963–2015, wyniosła ona $0,022 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 5). Analiza trendów liczby dni z niżówką i sumy objętości niżówek w półroczu letnim wskazuje na istotny statystyczny wzrost obu charakterystyk niżówek w wieloleciu 1963–2015 na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (tab. 7). W tym okresie widoczny jest również trend zmniejszania się przepływów średnich w półroczu zimowym, co ma wpływ na charakterystyki wezbrań.

W zlewni rzeki Zagożdżonki wezbrania dominują w półroczu zimowym, pojawiają się głównie w lutym, marcu i kwietniu, przeważają wezbrania krótkie [KAZNOWSKA i in. 2015]. Maleje zarówno liczba dni z wezbraniem, jak i objętość wezbrań w półroczu zimowym. Obserwowane zmiany są istotne statystycznie (tab. 7). W okresie 2011–2015 łączny czas trwania wezbrań w poszczególnych latach półroczy zimowych był krótszy od średniej wieloletniej w latach 2012, 2013 i 2014, podobnie w przypadku zsumowanych objętości wezbrań. Zmniejszenie średnich przepływów w półroczach zimowych (tab. 7) można powiązać z obserwowanym w zlewni zarówno zmniejszeniem całkowitej liczby dni z pokrywą śnieżną w półroczu zimowym, jak i liczby dni z pokrywą grubą ($>20 \text{ cm}$), przedstawionym w pracy KAZNOWSKIEJ i in. [2016].

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy opadów i przepływów w zlewni rzeki Zagożdżonki, stanowiącej kontynuację wieloletnich badań, stwierdzono że:

- w okresie 2011–2015 miesiące bardzo suche stanowiły 10% wszystkich miesięcy, natomiast w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 było ich więcej i stanowiły 13%;
- w okresie 2011–2015 miesiące skrajnie wilgotne stanowiły jedynie 3% wszystkich miesięcy, natomiast w wieloleciu 1963–2010 i 1963–2015 było ich więcej i stanowiły 6% wszystkich miesięcy;
- średnia liczba posuch w ciągu roku w wieloleciu 1962–2015 wyniosła 5, a w okresie badawczym 2011–2015 o jedną posuchę więcej; analiza chronologicznego ciągu najdłuższych posuch (po jednej z każdego roku wielolecia 1963–2015) nie wykazała istotnych statystycznie zmian;
- w okresie 2011–2015 średnia liczba dni z najwyższym opadem ($>20 \text{ mm}$) była mniejsza niż w wieloleciu 1963–2015, w którym to charakterystyka ta w miesiącach od czerwca do września wynosiła 1 dzień;
- analiza trendów ciągów liczby dni z opadem o różnej wysokości w wieloleciu 1963–2015 wykazała jedynie istotną statystycznie malejącą tendencję dla opadów $>20 \text{ mm}$; w odniesieniu do pozostałych chronologicznych ciągów liczby dni z opadem nie zanotowano istotnych statystycznie trendów;
- zaobserwowano trend malejący (istotny statystycznie, gdy $\alpha = 0,05$) przepływów średnich rocznych i przepływów średnich z półroczy zimowych w przekroju

Płachty Stare; nie zaobserwowano takich tendencji w przypadku przepływów średnich półroczy letnich;

- analiza trendów liczby dni z niżówką i sumy objętości niżówek w półroczu letnim wskazuje na istotny statystyczny wzrost obu charakterystyk niżówek w wieloletniu 1963–2015 na poziomie istotności $\alpha = 0,05$; widoczny jest również trend zmniejszania się przepływów średnich w półroczu zimowym;
- w okresie 2011–2015 łączny czas trwania wezbrań w poszczególnych latach półroczy zimowych był niższy od średniej wieloletniej w latach 2012, 2013 i 2014.

Podziękowania

Badania są częścią projektów NN 305 1445 40 oraz NN 305 3168 40 finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki.

LITERATURA

- BAC S., KOZMIŃSKI C., ROJEK M. 1993. Agrometeorologia [Agrometeorology]. Warszawa. PWN. ISBN 8301111143 ss. 250.
- BANASIK K. 1983. Rozmieszczenie użytków w zlewni jako czynnik minimalizujący natężenie transportu rumowiska w korycie rzeczonym [Land use redistribution as factor minimalizing the sediment transport in river channel]. Maszynopis. Warszawa. SGGW, Katedra Inżynierii Wodnej ss. 163.
- BANASIK K. 1994. Model sedimentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej [Sedimentgraph model of rainfall event in a small agricultural watershed]. Rozprawy naukowe i monografie. T. 191. Warszawa. Wydaw. SGGW ss. 120.
- BANASIK K., BARSZCZ M., HEJDUK L. 2006. Importance of watershed lag times in IUSG development. W: Sediment dynamics and the hydromorphology of fluvial systems. Red. J.S. Rowan, R.W. Duck, A. Werritty. Proceedings of IAHS-ICCE Symposium. 2–7.07.2006 Dundee. IAHS Publications. No. 306 s. 574–581.
- BANASIK K., HEJDUK L., HEJDUK A., KAZNOWSKA E., BANASIK J., BYCZKOWSKI A. 2013. Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej [Long-term variability of runoff from a small catchment in the region of the Kozienice Forest]. Sylwan. Nr 157 (8) s. 578–586.
- BANASIK K., MITCHELL J.K., WALKER S.E., RUDZKA E. 1999. Comparison of nutrient outputs from two lowland watersheds with different agricultural practices. W: Impact of landuse change on nutrient loads from diffuse sources. Red. L. Heathwaite. Proceedings of IUGG 99. Symposium HS3. 18–30.07.1999 Birmingham. IAHS Publications. No. 257 s. 13–16.
- BARTNIK A., JOKIEL P. 2005. Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzecznej na podstawie Pilicy w Przedborzu [Some problems of changes and variability of annual hydrograph of river flow- Pilica at Przedbórz]. Wiadomości IMGW. T. 28. Z. 2 s. 5–31.
- BOCHENEK W. 2012. Ocena zmian warunków opadowych na stacji naukowo-badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku w okresie 40 lat obserwacji (1971–2010) i ich wpływ na zmienność odpływu wody ze zlewni Bystrzanki [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]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 29–44.
- BYCZKOWSKI A., BANASIK K., HEJDUK L., MANDES B. 2001. Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki). W: Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych [Long-term tendencies of changes of precipitation

- and outflow processes in small lowland catchments (on the example of the Zagożdżonka River. In: The dynamics of water circulation in river basins]. Red. J. Jaworski, J. Szkutnicki. Warszawa. PTGeof., IMGW s. 43–52.
- CHIEW F., SIRIWARDENA L. 2005. Trend/Change detection software. User guide. CRC for Catchment Hydrology, Australia [online]. [Dostęp 15.07.2015]. Dostępny w Internecie: www.toolkit.net.au/trend
- CIEPIEŁOWSKI A. (red.) 1995. Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych [Methodology of managing water resources in small river basins]. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN 8300029427 ss. 152.
- CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. 2012. Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce [Multiannual variability of seasonal precipitation in Poland]. Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 45–60.
- HEJDUK A., BANASIK K. 2010. Suspended sediment concentration and yield in snowmelt flood events in a small lowland River. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation. No 42 (1) s. 61–68.
- HEJDUK A., BANASIK K. 2011. Recorded lag times of snowmelt events in a small catchment. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation. No 43 (1) s. 37–46. DOI 10.2478/v10060-008-0091-5.
- HEJDUK L., BANASIK K., HEJDUK A. 2010. Monitoring ilości i jakości wody w małej zlewni W: Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. [Monitoring of water quantity and quality for small catchment]. Red. B. Więzik. T. 1. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk. Vol. 68 Krajowy Kongres Hydrologiczny s. 401–409.
- HEJDUK A., HEJDUK L. 2014. Thermal and snow conditions of winters and winter floods on example of Zagożdżonka River. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation. No 46 (1) s. 3–15.
- HEJDUK A., HEJDUK L. 2016. Variability of suspended sediment grain size distribution in winter floods. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation. No 48 (2) s. 141–151.
- HEJDUK L., IGRAS J. (red.) 2011. Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej [Best management practices in river catchment protection in scope of Nitrate Directive and other UE standards]. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN 8375832626 ss. 123.
- IMGW 2012. Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Rok 2012 [Bulletin of Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute (IMGW-PIB)]. Warszawa. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB. Nr 13(124) ss. 60.
- IMGW 2015. Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Rok 2015 [Bulletin of Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute (IMGW-PIB)]. Warszawa. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB. Nr 13(163) ss. 66.
- KACZOROWSKA Z. 1962. Najsuchsze i najwilgotniejsze pory roku w Polsce w okresie 1900–1959. Przegląd Geofizyczny. R. 7 (15). Z. 3 s.175–183.
- KASZEWSKI B. 2006. Próba oceny zmian klimatu na Lubelszczyźnie w drugiej połowie XX wieku. W: Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego [The attempt of climate changes assessment in the Lublin region in the second half of the 20th century]. Red. J. Trepiańska, Z. Olecki. Kraków. Wydaw. IGiGP UJ s. 127–138.
- KAZNOWSKA E., BANASIK K. 2009. Ocena intensywności niżówek rzecznych w małej zlewni rolniczej Niziny Mazowieckiej w ostatnich 45 latach [Intensity of streamflow droughts in small agricultural catchment of Mazowiecka Lowland in last 45 years]. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus. Vol. 8 (3–4) s. 5–16.

- KAZNOWSKA E., BANASIK K. 2011. Streamflow droughts and probability of their occurrence in a small agricultural catchment. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW, Land Reclamation*. No 43(1) s. 57–69.
- KAZNOWSKA E., BANASIK K., HEJDUK A., HEJDUK L. 2016. Zasoby wodne małej zlewni Niziny Mazowieckiej. W: *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wodnymi w rolnictwie [Water resources in a small catchment of Mazovian Lowlands. In: Innovative methods of water resources management in agriculture]*. Red. W. Dembek, J. Kuś, M. Wiatkowski, G. Żurek. Brwinów. CDR s. 91–103.
- KAZNOWSKA E., HEJDUK A., HEJDUK L. 2015. Charakterystyka występowania wezbrań i niżówek w małej zlewni Niziny Mazowieckiej [Characteristic of occurrence of floods and streamflow droughts in a small Mazovian Lowland catchment]. *Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie*. T. 15. Z. 3 (51) s. 45–59.
- KUNDZEWICZ Z.W. 2008. Hydrological extremes in the changing world. *Folia Geographica. Ser. Geographica Physica*. Vol. 39 s. 37–52.
- KUNDZEWICZ Z.W., MATCZAK P. 2012. Climate change regional review: Poland. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Vol. 3. Iss. 4 s. 297–311. DOI 10.1002/wcc.175.
- LENARTOWICZ M., GUTRY-KORYCKA M. 2009. Regionalne uwarunkowania reakcji rzek na deszcze nawalne w warunkach rzeczywistych i w perspektywie globalnego ocieplenia klimatu [Regional conditioning of the rivers response to heavy rainfall in actual conditions and in the perspective of global warming]. *Prace i Studia Geograficzne*. T. 43 s. 49–79.
- ŁABĘDZKI L. 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji [Agricultural droughts. An outline of problems and methods of monitoring and classification]. *Rozprawy naukowe i monografie*. Nr 17. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-88763-58-X ss. 107.
- OZGA-ZIELIŃSKA M. 1990. Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie [Droughts and floods – their defining and modeling]. *Przegląd Geofizyczny*. Nr 33 s. 1–2.
- PIĘTKA I. 2009. Wieloletnia zmienność wiosennego odpływu rzek polskich [Long-term variations of spring runoff of Polish rivers]. *Prace i Studia Geograficzne*. Nr 43 s. 88–95.
- SCHMUCK A. 1969. *Meteorologia i klimatologia dla WSR [Meteorology and climatology for WSR]*. Warszawa. PWN ss. 316.
- SZWED M., PIŃSKWAR I., KUNDZEWICZ Z., GRACZYK D., MEZGHANI A. 2017. Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophysica*. Vol. 65 s. 65–76.
- ŚREDNICKI M., LESZCZYŃSKA I., KŁYKOCIŃSKA A. 2011. Baza danych GIS dla zlewni rzeki Zagożdżonki, Zwoleńki i Gzówki [GIS database for Zagożdżonka, Zwoleńka and Gzówka catchment]. Warszawa. Firma 24 GIS.
- WRZEŚIŃSKI D. 2016. Zmiany reżimu odpływu rzecznego w Polsce [Changes in the flows regime in rivers in Poland]. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*. Z. 39 s. 63–75.
- ZHANG X., AMIRTHANATHAN G., BARI M., LAUGESSEN R., SHIN D., KENT D., MACDONALD A., TURNER M., TUTEJA N. 2016. How streamflow has changed across Australia since the 1950s: evidence from the network of hydrologic reference stations. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 20 s. 3947–3965.

Agnieszka HEJDUK, Ewa KAZNOWSKA, Leszek HEJDUK, Jacek GŁADECKI

PRECIPITATION AND DISCHARGE REGIME IN ZAGOŹDŻONKA CATCHMENT AT PŁACHTY STARE AND CZARNA GAUGE STATIONS

Key words: discharge, flood, lowland catchment, precipitations, streamflow drought, Zagożdżonka River

S u m m a r y

The aim of the study was to evaluate precipitation and hydrological conditions in the period 2011–2015 against the background of long term data collected in the Zagożdżonka River catchment. Precipitation characteristics are based on the analysis of daily, monthly, semi-annual and annual totals. The criterion presented by KACZOROWSKA [1962] was used to evaluate the variability of monthly and yearly precipitation totals. Hydrological characteristic was based on daily flows data recorded in Płachty Stare (1963–2015) and Czarna (1992–2015) gauging station. Two extreme phenomena as flood and drought were identified using daily hydrograph. The threshold of SNQ (mean of the lowest annual flows) was used for flood identification, as well as the threshold of NWQ flow (the lowest of the highest annual flows) was used to identify droughts.

Adres do korespondencji: dr inż. Agnieszka Hejduk, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Laboratorium – Centrum Wodne, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; e-mail: agnieszka_hejduk@sggw.pl