

Wpłynęło 06.02.2015 r.  
Zrecenzowano 15.04.2015 r.  
Zaakceptowano 26.08.2015 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA WEZBRAŃ I NIŻÓWEK W MAŁEJ ZLEWNI NIZINY MAZOWIECKIEJ

Ewa KAZNOWSKA<sup>1)</sup> ABCDEF, Agnieszka HEJDUK<sup>2)</sup> ABCDEF,  
Leszek HEJDUK<sup>1)</sup> BDEF

<sup>1)</sup> Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Inżynierii Rzeczej

<sup>2)</sup> Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Laboratorium – Centrum Wodne

## Streszczenie

Celem pracy jest charakterystyka występowania wezbrań i niżówek w użytkowanej rolniczo zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare i Czarna, na podstawie hydrogramu przepływów dobowych. Badana zlewnia monitorowana jest przez Katedrę Inżynierii Wodnej SGGW w zakresie wybranych wielkości hydrometeorologicznych od 1962 r. i należy do nielicznej grupy małych zlewni badawczych w Polsce, posiadających kilkudziesięcioletnie dane pomiarowe. W pracy wezbrania i niżówki zdefiniowano za pomocą przepływów granicznych, odcinających poszukiwane zjawiska na hydrogramach przepływów dobowych. Okres badawczy obejmował 50 lat (1963–2012) dla profilu Płachty Stare i 22 lata (1991–2012) dla profilu Czarna. Dla obu profili określono i porównano częstość i okres występowania zjawisk oraz ich parametry ilościowe. W badanych kilku dziesięcioleciach w zlewni rzeki Zagożdżonki przepływy wezbraniowe i niżówkowe stanowiły do 10% wszystkich zaobserwowanych dobowych przepływów. W zlewni stwierdzono dominację wezbrań w półroczu zimowym, a niżówek w półroczu letnim. Wraz z przyrostem powierzchni zlewni zauważono wzrost częstości występowania niżówek, wydłużenie czasu ich trwania i zwiększenie objętości deficytu, natomiast w przypadku wezbrań spadek ich liczby, mimo wzrostu czasu ich trwania i objętości.

**Słowa kluczowe:** niżówki, wezbrania, zlewnia nizinna

## WSTĘP

Wezbrania i niżówki stanowią jeden z najważniejszych wyróżników ustroju hydrologicznego rzeki i są przejawem sezonowości przepływu [BARTNIK, JOKIEL

---

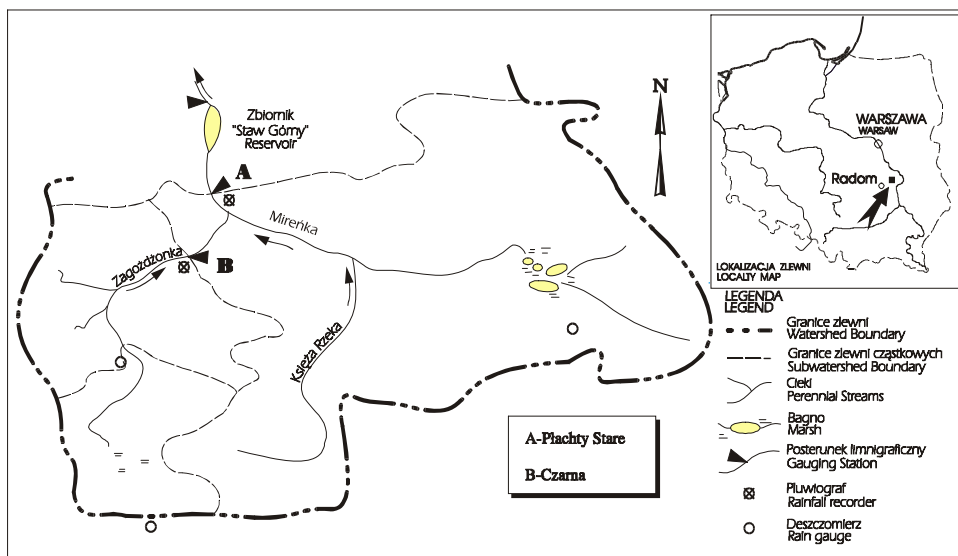
**Do cytowania For citation:** Kaznowska E., Hejduk A., Hejduk L. 2015. Charakterystyka występowania wezbrań i niżówek w małej zlewni niziny mazowieckiej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 45–59.

2005], a ich ocena zarówno w ujęciu rocznym, jak i wieloletnim dostarcza informacji o charakterze odpływu wody ze zlewni i jest użyteczna do oceny tendencji zmian w jego przebiegu. Jednocześnie, jako zjawiska ekstremalne, są przedmiotem badań w aspekcie zmian klimatu [KUNDZEWICZ 2008], a analiza ich występowania jest możliwa, jeśli dostępne są dostatecznie długie ciągi danych pomiarowych. Jest to szczególnie utrudnione w przypadku małych zlewni, w których nie są prowadzone regularne pomiary hydrometeorologiczne. Dodatkowym utrudnieniem jest niejednoznaczna definicja wezbrań i niżówek. Oba zjawiska można definiować w sposób umowny, stosując kryteria hydrologiczne [BYCZKOWSKI 1999; OZGA-ZIELIŃSKA 1990] jak również inne, np. gospodarcze czy ekonomiczne [NOWICKA 2009], pozwalające wyznaczyć je na hydrogramach przepływów dobowych za pomocą przyjętych przepływów granicznych.

Celem pracy była charakterystyka występowania przepływów wezbraniowych i niżówkowych w małej użytkowanej rolniczo zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare i Czarna, na podstawie dobowych hydrogramów przepływów w okresach: 1963–2012 (50 lat) i 1991–2012 (22 lata).

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badania przeprowadzono na obszarze Równiny Radomskiej, w nizinnej zlewni rzeki Zagożdżonki (rys. 1). Od lat 60. XX w., górna część zlewni monitorowana



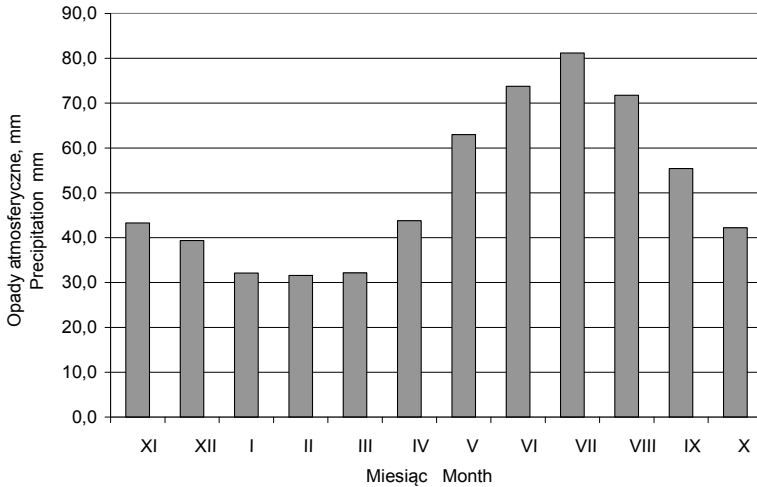
Rys. 1. Lokalizacja zlewni rzeki Zagożdżonki; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Locality map of the watershed; source: own elaboration

jest przez Katedrę Inżynierii Wodnej SGGW [BANASIK i in. 2012], w zakresie wybranych wielkości hydrometeorologicznych i należy do nielicznej grupy małych zlewni badawczych w Polsce [SCHUMANN i in. 2010], posiadających kilkadziesiąt-ścieletnie dane pomiarowe. Do analizy występowania wezbrań i niżówek wykorzystano dane hydrometeorologiczne gromadzone od lipca 1962 r. w profilu Płachty Stare oraz od 1991 r. w profilu Czarna. Powierzchnia zlewni po profil Płachty Stare (A) wynosi 82,4 km<sup>2</sup>, zaś po profil w Czarnej (B) 23,4 km<sup>2</sup>. W zlewni przeważają gleby piaszczyste, których szczegółowy opis można znaleźć w pracach BANASIKA [1983] oraz HEJDUKA i IGRASA (red.) [2011]. W strukturze zagospodarowania terenu dominują grunty orne, a lasy po profil Płachty Stare stanowią 40% zlewni [BANASIK i in. 2013].

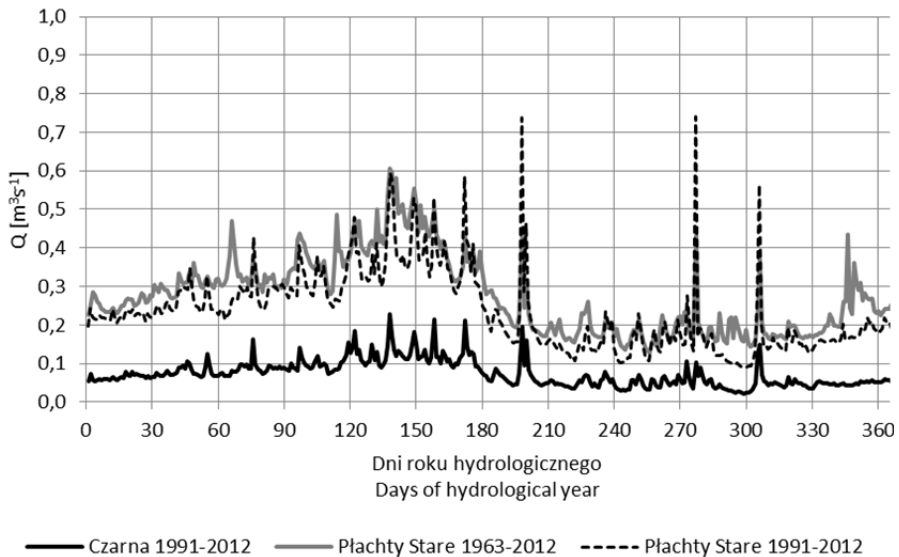
Ustrój rzeki Zagożdżonki, według DYNOWSKIEJ [1971], jest umiarkowany, z wiosennymi i zimowymi wezbraniem, o zasilaniu gruntowo-deszczowo-śnieżnym. Pokrywa śnieżna w zlewni pojawia się zazwyczaj w trzeciej dekadzie listopada, zalega średnio ok. 70 dni i zanika między 20 a 25 marca [CHRZANOWSKI 1988; HEJDUK, BANASIK 2010]. Badania pokrywy śnieżnej w profilu Czarna, prowadzone od 2003 r., wykazują, że okres roztopowy trwa zwykle krótko (1–4 dni), a wezbrania w tym okresie mają charakter opadowy lub mieszany roztopowo-opadowy [HEJDUK, HEJDUK 2014]. W zlewni rzeki Zagożdżonki opady rozkładają się nierównomiernie w ciągu roku hydrologicznego. Średnie miesięczne sumy opadów (rys. 2) w półroczu letnim znacznie przewyższają ilość opadów w półroczu zimowym. Miesiącem o najwyższych opadach jest lipiec, natomiast najmniejsze miesięczne sumy opadów dotyczą stycznia, lutego i marca. Zarówno roczna suma opadów (612 mm), jak i z półrocza letniego (389 mm) nie wykazują istotnej statystycznej tendencji do zmian w okresie wieloletnim [BANASIK i in. 2013].

Obserwowana wyraźna różnica między półroczami w zlewni rzeki Zagożdżonki dotyczy także wielkości przepływów. Większe wartości przepływów utrzymują się w półroczu zimowym roku hydrologicznego, szczególnie od przełomu lutego i marca do końca kwietnia, zaś mniejsze wartości przepływów dominują w półroczu letnim, od przełomu kwietnia i maja do końca roku hydrologicznego (rys. 3). Średni roczny przepływ  $SQ$  w profilu Czarna w okresie 1991–2012 wynosi 0,074 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, a w profilu Płachty Stare – 0,237 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Dla okresu 50 lat (1963–2012) wartość  $SQ$  w profilu Płachty Stare przyjmuje nieco większą wartość – 0,227 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Natomiast dla półrocza zimowego  $SQ$  wynosi 0,096 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, a dla półrocza letniego 0,052 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> w przypadku profilu Czarna. Dla Płacht Starych dla okresu 1963–2012 wielkości te wynoszą odpowiednio: 0,352 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> dla półrocza zimowego i 0,203 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> dla półrocza letniego (tab. 1). Wartości średniego rocznego odpływu dla wspólnego okresu 1991–2012 stanowią: 91 mm dla badanego obszaru po profil Płachty Stare i 100 mm po profil Czarna.



Rys. 2. Rozkład średnich sum opadów w miesiącach roku hydrologicznego w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w latach 1963–2012; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Distribution of mean annual precipitation in the Zagożdżonka catchment, Płachty Stare 1963–2012; source: own elaboration



Rys. 3. Uśredniony dla wielolecia roczny rozkład przepływów dobowych dla Zagożdżonki; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Distribution of daily flows averaged over the long term period in the Zagożdżonka River; source: own study

**Tabela 1.** Przepływy charakterystyczne ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) w profilach Czarna i Płachty Stare w zlewni rzeki Zagożdżonki**Table 1.** Characteristic flows of the Zagożdżonka River ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

Profil, wielolecie Profile, period of time	Rok hydrologiczny (XI–X) Hydrological year (XI–X)						
	$SQ$	$WQ$	$NQ$	$SWQ$	$NWQ$	$SNQ$	$WNQ$
Czarna, 1991–2012	0,074	2,53	0,004	1,013	0,159	0,012	0,025
Płachty Stare, 1991–2012	0,237	13,7	0,024	3,32	0,509	0,057	0,101
Płachty Stare, 1963–2012	0,277	13,7	0,024	3,14	0,509	0,075	0,210

Objaśnienia:  $SQ$  = przepływ średni,  $WQ$  = przepływ maksymalny,  $NQ$  = przepływ niski,  $SWQ$  = przepływ średni z maksymalnych,  $NWQ$  = przepływ najniższy z maksymalnych,  $SNQ$  = przepływ średni z najniższych,  $WNQ$  = przepływ najwyższy z najniższych.

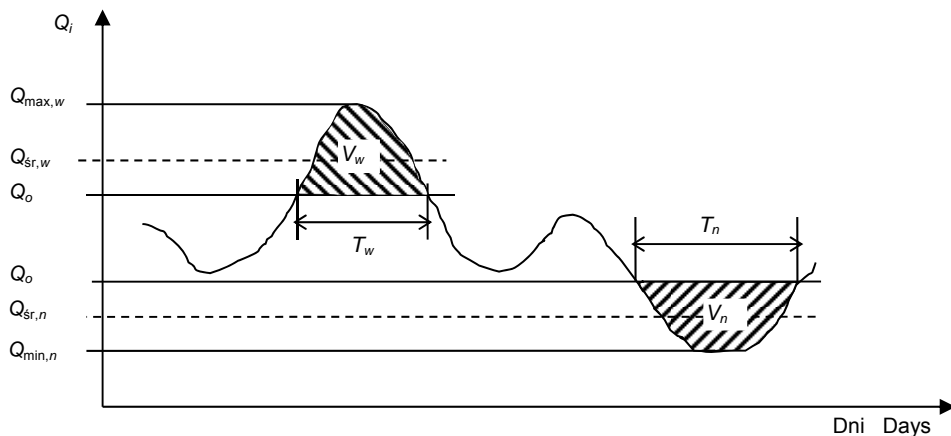
Explanations:  $SQ$  = mean flow,  $WQ$  = the highest flow,  $NQ$  = low flow,  $SWQ$  = mean of the maximum flows,  $NWQ$  = the lowest of the maximum flows,  $SNQ$  = mean of the lowest flows,  $WNQ$  = the highest of the lowest flows.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

## METODY BADAŃ

Materiał badawczy służący statystycznej analizie wezbrań i niżówek obejmował okres 50 lat (1963–2012) dla profilu Płachty Stare i okres 22 lat (1991–2012) dla profilu Czarna. Wezbrania i niżówki wyodrębniono poprzez przyjęcie granicznych wartości przepływów odcinających poszukiwane zjawiska na hydrogramach przepływów dobowych. Stosując kryterium hydrologiczne proponowane przez OZGĘ-ZIELIŃSKĄ [1990], za dolną granicę wezbrania przyjęto przepływ  $NWQ$  (najniższy z maksymalnych przepływów rocznych), natomiast za granicę niżówek  $SNQ$  (średni z najniższych przepływów rocznych). Wybrane przepływy graniczne są często w literaturze stosowane do analizy zjawiska wezbrania i niżówki [KAZNOWSKA, BANASIK 2009]. Dla profilu Czarna wartość przepływu  $NWQ$  wyniosła  $0,159 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a  $SNQ$  –  $0,012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . W przypadku profilu Płachty Stare wartości te wyniosły odpowiednio:  $0,509 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i  $0,075 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Wyznaczone zjawiska opisano wybranymi parametrami ilościowymi, tj. czasem trwania, przepływem maksymalnym, minimalnym i średnim, a także objętością deficytu lub nadmiarem wody w stosunku do przepływu granicznego (rys. 4). W przypadku analizy zjawiska niżówki w badaniach prowadzonych w Polsce za minimalny czas trwania zdarzenia przyjmuje się od 1, 5, 10 do 20 dni [KAZNOWSKA 2011]. W niniejszej pracy za niżówkę uznano każdy dzień z przepływem niższym od wartości granicznej, a za wezbranie każdy dzień z przepływem powyżej przepływu granicznego, przyjmując jeden dzień za minimalny czas trwania obu zjawisk. Pozwoliło to na zaobserwowanie wszystkich przepływów niższych i wyższych od poziomu odcięcia, traktując je odpowiednio jako przepływy niżówkowe i wezbrańiowe, a także umożliwiło porównanie występowania niżówek z wezbrańiami, które często trwają nie dłużej niż tylko kilka dni.



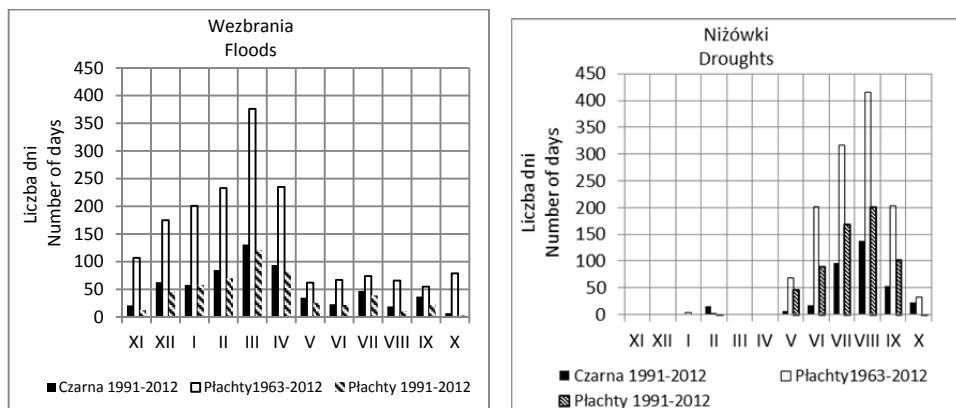
Rys. 4. Schemat wyznaczania wezbrań i niżówek i ich parametry;  $T_n$ ,  $T_w$  = czas trwania niżówki, wezbrania, dni;  $Q_o$  = poziom odcięcia niżówki, wezbrania,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{min},n}$  = przepływ minimalny niżówki,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{sr},n}$  = przepływ średni niżówki,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{max},w}$  = przepływ maksymalny wezbrania,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{sr},w}$  = przepływ średni wezbrania,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $V_w$  = objętość wezbrania, tys.  $\text{m}^3$ ;  $V_n$  = objętość deficytu niżówki, tys.  $\text{m}^3$ ; źródło: opracowanie własne na podstawie: OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI [1994]

Fig. 4. The procedure of determining floods and droughts and their parameters;  $T_n$ ,  $T_w$  = duration of drought, flood, days;  $Q_o$  = threshold level of drought, flood,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{min},n}$  = minimum discharge of drought,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{sr},n}$  = mean discharge of drought,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{max},w}$  = maximum discharge of flood,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{\text{sr},w}$  = mean discharge of flood,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $V_w$  = volume of flood, thous.  $\text{m}^3$ ;  $V_n$  = volume of drought deficit, thous.  $\text{m}^3$ ; source: own study based on OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI [1994]

## WYNIKI I DYSKUSJA

### WEZBRANIA

W badanym wieloleciu wezbrania na rzece Zagożdżonce rejestrowano w obu profilach w każdym roku hydrologicznym, z wyjątkiem 2008 r. w profilu Płachty Stare. Wyznaczone wezbrania różnił zarówno okres występowania, jak i parametry ilościowe: czas trwania, przepływ maksymalny czy objętość. W obu rozpatrywanych profilach wezbrania odcięte przepływem granicznym *NWQ* dominowały w półroczu zimowym (ponad 70% wszystkich zdarzeń), w okresie od grudnia do kwietnia (rys. 5), kiedy zlewnia zasilana jest nie tylko opadami deszczu, ale też wodami roztopowymi. Roztopowo-opadowy lub opadowy charakter wezbrań wynikał z rodzaju zasilania zlewni w danym momencie. W ujęciu całego roku hydrologicznego najwięcej dni z przepływami wezbraniowymi odnotowano w obu profilach w marcu, a najmniej w październiku (dla okresu 1991–2012) i wrześniu (w okresie 1963–2012 w Płachtach Starych). Analizując poszczególne miesiące półroczia zimowego, najwięcej dni z przepływami wezbraniowymi odnotowano w marcu, kwietniu i lutym. W wyżej wymienionych miesiącach przepływy wez-



Rys. 5. Liczba dni z przepływami wezbraniowymi i niżówkowymi w roku hydrologicznym, w wieloletciu; źródło: wyniki własne

Fig. 5. The number of days with floods and droughts in hydrological year, in multiannual period; source: own study

braniowe w Czarnej stanowiły odpowiednio: 21, 15 i 14% wszystkich zdarzeń wezbraniowych. W Płachtach Starych natomiast odpowiednio: 22, 14 i 13% zdarzeń odnotowanych w badanym pięćdziesięcioleciu.

Odwilże śródzimowe, spowodowane okresowym wzrostem temperatury powietrza, występują w badanej zlewni w całym okresie zimowym, jednak są szczególnie nasilone właśnie w lutym i marcu, a w połączeniu nawet z niewielkimi opadami deszczu, nierzadko są przyczyną wezbrań. Miesiącem o najmniejszej liczbie dni z wezbraniem w półroczu zimowym roku hydrologicznego, w obu okresach badawczych i w obu profilach pomiarowych, okazał się listopad, choć ilość opadu w tym miesiącu przewyższa ilość opadów w marcu i lutym, ale jest porównywalna z ilością opadu w kwietniu (rys. 2). W tym przypadku widać, jak istotną rolę w formowaniu się wezbrań odgrywa zasilanie zlewni wodami roztopowymi. Znaczenie ma również retencja zlewni. Liczba dni z przepływami wezbraniowymi w półroczu letnim jest średnio o ok. 46 dni krótsza niż w półroczu zimowym. Biorąc pod uwagę okres 1991–2012, najmniej dni z przepływami wezbraniowymi przypadało na październik (ok. 1% wszystkich zdarzeń w obu profilach) i sierpień (odpowiednio 3% w Czarnej i 2% w Płachtach Starych), zaś najwięcej na lipiec. Dla wielolecia 1963–2012 w profilu Płachty Stare najwięcej dni z przepływami wezbraniowymi odnotowano w październiku i lipcu, co w obu miesiącach stanowiło 4% wszystkich zdarzeń. W pozostałych miesiącach okresu letniego liczba dni z przepływami wezbraniowymi utrzymywała się na poziomie ok. 3% wszystkich zjawisk, jednak najmniejsza była we wrześniu. Otrzymane wyniki są zbieżne z badaniami STACHY i in. [1996], uzyskanymi dla tego obszaru Polski, zarówno w aspekcie częstości występowania wezbrań zimowych na poziomie ponad 70%, jak i ich miesięcznego rozkładu.

Bezpośrednią przyczyną przesunięcia wezbrań zimowych na luty oraz fakt ich występowania również w styczniu i grudniu mogą być ciepłe i mało śnieżne zimy. Badania pokrywy śnieżnej prowadzone na terenie zlewni rzeki Zagożdżonki od 2003 r. pozwoliły na dokonanie charakterystyki termicznej i śnieżnej zim w okresie ostatnich 12 lat i wykazały, że na tym terenie dominowały zimy umiarkowanie chłodne i umiarkowanie mało śnieżne, jak również wykazały istotną statystycznie zależność między wskaźnikiem śnieżności zimy, a przepływem maksymalnym w półroczu zimowym [HEJDUK, HEJDUK 2014].

Porównując liczbę dni z wezbraniem w obu profilach pomiarowych we wspólnym okresie 22 lat, można zauważyć, że w Czarnej była ona 1,2 razy większa niż w Płachtach Starych (tab. 2). Pod względem czasu trwania (tab. 3), w obu profilach dominowały wezbrania krótkie, trwające do 5 dni, o stosunkowo niewielkich objętościach, przy czym na stanowisku w Czarnej, we wszystkich klasach czasów trwania (tab. 3) odnotowano więcej wezbrań (łącznie 171 zdarzeń) niż na stanowisku w Płachtach Starych w tym samym okresie (136 zdarzeń, a w okresie 1963–2012 – 358). W profilu Płachty Stare zarówno w latach 1963–2012 jak i 1991–2012 dominowały wezbrania o czasie trwania od 2 do 5 dni (łącznie 165 przypadków). W Czarnej dominowały wezbrania jednodniowe, stanowiące 43% wszystkich zdarzeń wezbraniowych, a ich liczba o blisko 7% przekraczała liczbę zjawisk jednodniowych w Płachtach Starych. Liczba wezbrań o dłuższym czasie trwania

**Tabela 2.** Charakterystyka parametrów wezbrań i niżówek w zlewni rzeki Zagożdżonki

**Table 2.** Characteristic of parameters of floods and droughts in the Zagożdżonka catchment

Wezbrania Floods					
Profil, okres Profile, period	$V_w$ tys. m <sup>3</sup> thous. m <sup>3</sup>	$Q_{\max,w}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	$Q_{sr,w}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	$T_w$ dni	liczba zdarzeń number of events
Czarna, 1991–2012	0,173–601	0,160–2,53	0,160–0,866	1–27	171
Płachty St., 1991–2012	0,778–1360	0,518–13,7	0,074–3,14	1–21	136
Płachty St., 1963–2012	0,086–5288	0,510–13,7	0,074–3,14	1–70	358
Niżówki Droughts					
Profil, okres Profile, period	$V_n$ tys. m <sup>3</sup> thous. m <sup>3</sup>	$Q_{\min,n}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	$Q_{sr,n}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	$T_n$ dni	liczba zdarzeń number of events
Czarna, 1991–2012	0,086–13,4	0,004–0,012	0,007–0,011	1–30	56
Płachty St., 1991–2012	0,086–221	0,02–0,07	0,04–0,07	1–77	91
Płachty St., 1963–2012	0,086–221	0,02–0,07	0,04–0,07	1–77	166

Objaśnienia:  $V_w$ ,  $V_n$  = objętość wezbrania, niżówki;  $Q_{\max,w}$ ,  $Q_{\min,n}$  = przepływ maksymalny wezbrania, minimalny niżówki;  $Q_{sr,w}$ ,  $Q_{sr,n}$  = przepływ średni wezbrania, niżówki;  $T_w$ ,  $T_n$  = czas trwania wezbrania, niżówki.

Explanations:  $V_w$ ,  $V_n$  = volume of flood, drought;  $Q_{\max,w}$ ,  $Q_{\min,n}$  = maximum discharge of flood, minimum discharge of drought;  $Q_{sr,w}$ ,  $Q_{sr,n}$  = average discharge of flood, drought;  $T_w$ ,  $T_n$  = duration of flood, drought in days.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.



w obu profilach we wspólnym okresie badawczym była porównywalna. Okresy wezbraniowe trwające >20 dni w Czarnej stanowiły 2%, a w Płachtach Starych 3% wszystkich odnotowanych zdarzeń. Najdłużej trwający okres z przepływami wezbraniowymi (70 dni) w Płachtach Starych zarejestrowano w półroczu zimowym roku hydrologicznego 1971. Okres ten rozpoczął się 4 listopada 1970 r. a zakończył 12 stycznia 1971 r. Po krótkiej przerwie, 20 stycznia 1971 r., ponownie odnotowano przepływy wezbraniowe, które utrzymały się do pierwszych dni kwietnia. W profilu Czarna, najdłuższe dwa okresy z przepływami wezbraniowymi (26 i 22 dni), następujące również jeden po drugim, zarejestrowano w półroczu zimowym roku hydrologicznego 2011.

Nasilenie występowania wezbrań w przebiegu wieloletnim było zróżnicowane (rys. 6). W obu profilach średnia liczba wezbrań w badanym wieloleciu była podobna i wynosiła odpowiednio 7 dla Płacht Starych (zakres: 0–16) i 8 dla Czarnej (zakres: 1–18). Można jednak wyróżnić okresy, kiedy wezbrania występowały częściej. Najwięcej wezbrań w Płachtach Starych odnotowano w 1967 r., w którym odpływ we zlewni był jednym z największych w badanym okresie (208 mm). W latach 1966–1980 liczba wezbrań w roku wyniosła od 6 do 16. Równocześnie w tym czasie notowano wezbrania długie, o czasie trwania powyżej 20 dni, które w późniejszym okresie (oprócz 2011 r.) nie występowały. Po 1980 r. liczba wezbrań w Płachtach Starych była zdecydowanie mniejsza, na poziomie kilku zdarzeń w roku. Lata 1984 oraz 1989–1992 były okresem suchym, o najniższym rocznym odpływie z wielolecia (1992–52 mm) [BANASIK i in. 2013]. W Płachtach Starych odnotowano wówczas po jednym wezbraniu o czasie trwania jeden dzień. Tylko w 2008 r. w profilu tym nie odnotowano żadnego wezbrania, a w profilu Czarna wystąpiło jedno zdarzenie jednodniowe, zarejestrowane w styczniu. Zima w tym roku była łagodna i ekstremalnie mało śnieżna [HEJDUK, HEJDUK 2014]. Rok 2008 również był suchy, a roczny odpływ z wielolecia jeden z najniższych. W profilu Czarna po kilkanaście wezbrań odnotowano w latach 1995, 1998–2000, oraz 2010–2011. Najwięcej zdarzeń wezbraniowych przypadło na 1998 r.

Wezbrania w zlewni rzeki Zagożdżonki wykazywały różnorodność pod względem przepływów kulminacyjnych i objętości (tab. 2). Objętości odnotowanych wezbrań w Czarnej stanowiły do 16% odpływu rocznego, a w Płachtach Starych do 13% w latach 1991–2012 i do 33% odpływu rocznego w odniesieniu do pięćdziesięciolecia. W profilu Czarna wystąpiło 13 wezbrań zakwalifikowanych jako duże ( $Q_{\max} \geq SWQ$ ), z czego 9 przypadało na okres zimowy. W Płachtach Starych było ich 22, z czego 13 zimowych. Pomimo że w obu profilach wezbrania, nawet duże, dominowały w półroczu zimowym, największe z nich pod względem przepływu maksymalnego zanotowano w półroczu letnim: w Czarnej w sierpniu 2010 r., a w Płachtach Starych w sierpniu 1998 r. Pod względem objętości w profilu Płachty Stare największe było wezbranie z marca 1979 r. (32% odpływu rocznego), zaś w Czarnej z marca 2006 r. (16% odpływu rocznego).

## NIZÓWKI

Przepływy niżówkowe, odcięte przepływem granicznym  $SNQ$ , w zlewni Zagożdżonki występują w półroczu letnim. Jednakże sporadycznie w okresie zimowym natężenie przepływu zmniejsza się poniżej wartości  $SNQ$  w miesiącu styczniu i w lutym. Obserwowany brak niżówek lub jedynie niewielka ich liczba w okresie zimowym dotyczy rzek położonych jak Zagożdżonka, na obszarze Nizin Środkowopolskich [KAZNOWSKA, BANASIK 2009]. W sezonie letnim, zarówno w profilu Czarna, jak i Płachty Stare, przepływy średnie dobowe osiągają najmniejsze wartości, a począwszy od maja do połowy października układają się w długotrwałą fazę przepływów niższych od sezonu zimowego, przerywanych jedynie krótkimi epizodami wezbraniowymi (rys. 3). W tym okresie przepływy niżówkowe występują najczęściej w: sierpniu, lipcu, wrześniu i czerwcu, przy czym to lipiec jest miesiącem najuboższym w wodę, w którym według BANASIKA i in. [2013], średni miesięczny odpływ wynosi 5,8 mm. W rozpatrywanych w pracy okresach (22 i 50 lat), w profilu Płachty Stare przepływy niżówkowe w sierpniu stanowią 33% wszystkich występujących przypadków, a w profilu Czarna – 39%. Pojawiające się przepływy niżówkowe w lipcu stanowią ponad 20% wszystkich zdarzeń. Najrzadziej w półroczu letnim przepływy niżówkowe występują w październiku i w maju (rys. 5). Uzyskane wyniki potwierdzają badania KAZNOWSKIEJ i BANASIKA [2009] nad zjawiskiem niżówki, definiowanego przepływem granicznym  $SNQ$  i 10-dniowym minimalnym czasem trwania, wykonane dla okresu 1963–2007 w profilu Płachty Stare. Podobnie jak w przypadku analizowanych przepływów niżówkowych, najwięcej niżówek, według KAZNOWSKIEJ i BANASIKA [2009], występuje w sierpniu i lipcu, a koniec zjawiska przypada najczęściej na wrzesień, rzadziej na sierpień, a w nielicznych przypadkach okres z niżówkami trwa dłużej – do października.

W okresie 1991–2012 przepływy niżówkowe dotyczyły 4% (351) wszystkich dni w profilu Czarna, natomiast w profilu Płachty Stare przepływy niżówkowe zaobserwowano częściej, w 8% (629) rozpatrywanych dni z analizowanego okresu 22 lat. Jest to zbieżne z badaniami FAL [2007] nad niżówkami górnej i środkowej Wisły, z których wynika, że częstość występowania okresów niżówkowych rośnie ze wzrostem powierzchni zlewni.

Porównując liczbę dni z przepływem niżówkowym w profilu Czarna i Płachty Stare we wspólnym okresie 1991–2012 (22 lat) wynika, że w profilu Płachty Stare – charakteryzującym się przyrostem powierzchni zlewni – badana liczba dni jest prawie dwukrotnie większa (629 dni z przepływem niżówkowym) od liczby dni z przepływem niżówkowym w profilu Czarna (351 dni). Również analizując charakterystyki niżówek w profilu Czarna i Płachty Stare (tab. 2) oraz częstość występowania w poszczególnych klasach czasów trwania zjawiska (tab. 3), można zauważyć podobną tendencję. Liczba zdarzeń zjawiska niżówki w profilu Płachty Stare w okresie 1991–2012 wynosi 92 i jest ponad 1,5 razy częstsza od liczby niżówek w profilu Czarna wynoszącej 56. Podobnie kształtują się charakterystyki ilościowe

**Tabela 3.** Częstość występowania wezbrań i niżówek w zlewni rzeki Zagożdżonki**Table 3.** Frequency of the occurrence of floods and droughts in the Zagożdżonka catchment

Liczba wezbrań o określonym czasie trwania		The number of floods of a definite duration				
Profil, okres Profile, period	1 dzień 1 day	2–5 dni 2–5 days	6–10 dni 6–10 days	11–20 dni 11–20 days	>20 dni >20 days	suma sum
Czarna, 1991–2012	73	63	25	7	3	171
Płachty, 1991–2012	49	57	23	6	1	136
Płachty, 1963–2012	110	165	47	24	12	358
Liczba niżówek o określonym czasie trwania		The number of droughts of a definite duration				
Profil, okres Profile, period	do 10 dni up to 10 days	11–20 dni 11–20 days	21–30 dni 21–30 days	>30 dni >30 days	suma sum	
Czarna, 1991–2012	49	4	3	0	56	
Płachty, 1991–2012	74	12	1	4	91	
Płachty, 1963–2012	132	21	6	7	166	

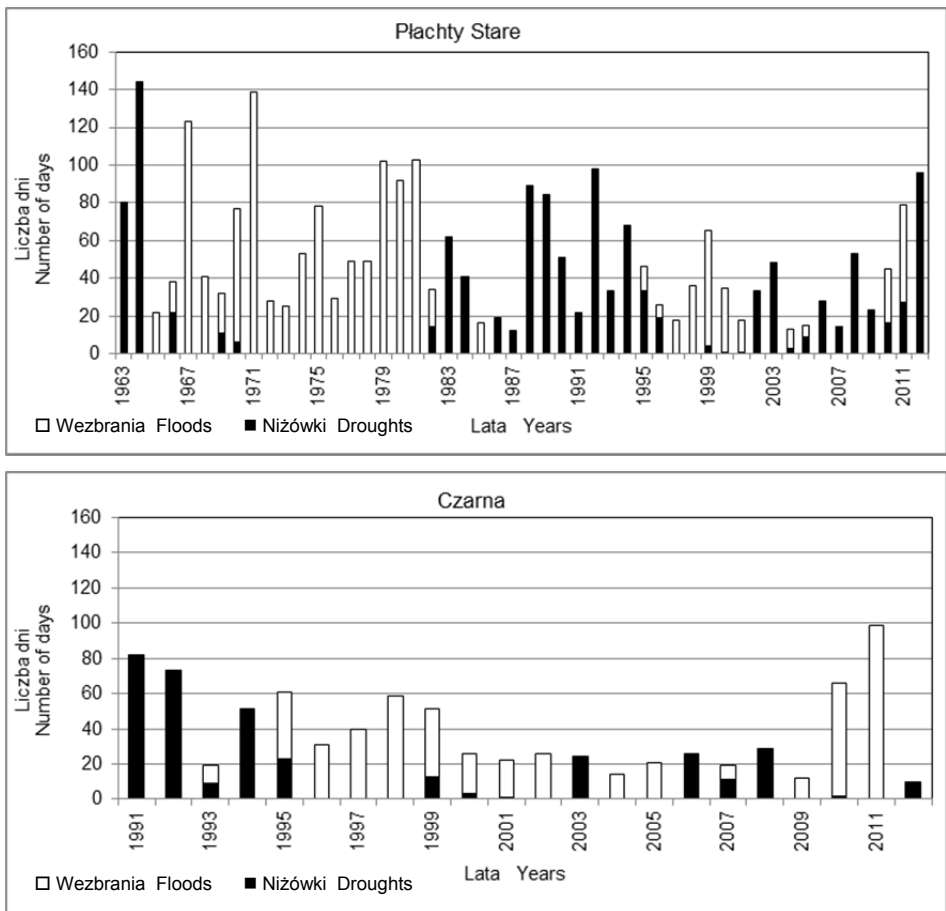
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

niżówek: czas trwania i objętość deficytu. Czas trwania zjawiska niżówki waha się od 1 do 30 dni w profilu Czarna i jest o ponad połowę krótszy od czasów trwania zjawiska niżówki w profilu Płachty, gdzie 4% niżówek trwa dłużej, powyżej miesiąca do ponad 60 dni. Jednak zarówno w przypadku Płacht Starych, jak i Czarna najczęściej niżówek trwa do 10 dni. W profilu Czarna jest to 88% wszystkich niżówek, a dla profilu Płachty Stare jest to odpowiednio: 81% dla okresu 22 lat (1991–2012) i 80% dla okresu 50 lat (1963–2012). Prawdopodobieństwo występowania niżówek o krótkim czasie trwania (do dwudziestu dni) dla zlewni rzeki Zagożdżonki określili KAZNOWSKA i BANASIK [2011] i wynosi ono 50%, a dłuższe niżówki, trwające ponad dwa miesiące, spodziewane są rzadziej – raz na 10 lat.

W przypadku analizy drugiej charakterystyki niżówek (objętości deficytu) wynika, że dla położonego wyżej profilu Czarna największa objętość deficytu, wynosząca 13,4 tys. m<sup>3</sup>, stanowi jedynie 6% największego deficytu niżówki z profilu Płachty Stare, wynoszącego 221 tys. m<sup>3</sup>. Przystępując do porównania uzyskanych wartości do średniego rocznego odpływu z okresu 1991–2012 można zauważyć, że największy deficyt niżówki w profilu Czarna stanowi 0,6%, a w przypadku profilu Płachty Stare – 3% średniego rocznego odpływu. Podobny wynik stosunku maksymalnego deficytu niżówki do średniego rocznego odpływu z wielolecia wynoszącego 3–4% jego wartości, uzyskali KAZNOWSKA i BANASIK [2009] w przypadku profilu Płachty Stare, dla niżówek odciętych przepływem *SNQ* i trwających minimalnie 10 dni. Mimo że objętości deficytów największych niżówek w profilu Płachty Stare i Czarna różnią się procentem średniego rocznego odpływu, to jednak średnia głębokość tych niżówek jest niemal identyczna. Charakterystyka ta, zaproponowana przez FAL [2007], jako stosunek średniego przepływu niżówki do przepływu progowego *SNQ*, wynosi odpowiednio: 0,92 dla Czarnej, 0,93 dla Płacht Starych. Po-

dobne wyniki uzyskała FAL [2007], analizując przeciętne głębokości niżówek dla posterunków wodowskazowych na rzece Wiśle, gdzie również badana charakterystyka miała w rozpatrywanych profilach bardzo zbliżone do siebie wartości.

Największe niżówki, pod względem rozmiaru objętości deficytu w profilu Czarna i Płachty Stare, wystąpiły w 1992 r., w którym zanotowano najmniejszy roczny odpływ z wielolecia – 52 mm [BANASIK i in. 2013]. Deficyt niżówki z 1992 r. w Płachtach Starych był tylko o kilka procent mniejszy od deficytu niżówki z 1964 r., w którym przepływy niżówkowe trwały najdłużej w analizowanym okresie 50 lat (1963–2012) – przez 144 dni (rys. 6). Według KAZNOWSKIEJ i BANASIKA [2009], niżówka z 1964 r., mimo że trwała najdłużej i charakteryzowała się największą



Rys. 6. Liczba dni z przepływami wezbraniowymi i niżówkowymi w Zagożdżonce w profilach Płachty Stare i Czarna; źródło: wyniki własne

Fig. 6. The number of days with floods and droughts in the Zagożdżonka River in Płachty Stare and Czarna; source: own study

objętością deficytu, to nie była najintensywniejsza. Niżówki o największej intensywności, rozumianej jako wielkość objętości deficytu niżówki przypadająca na jeden dzień, w profilu Płachty Stare dotyczyły lat 90., w 1992 i 1994 r. Równocześnie z największą intensywnością niżówek, lata 1992 i 1994 charakteryzowały się w obu profilach najdłuższymi okresami występowania przepływów niżówkowych. Jedynie rok 2012 w profilu Płachty Stare dorównywał im długością czasu trwania przepływów równych i niższych od przepływu granicznego niżówki, który wynosił 96 dni (rys. 6).

Rozpatrując w wieloleciu liczbę dni z przepływami niżówkowymi (rys. 6) w poszczególnych latach, widać wyraźnie okresy charakteryzujące się różnym nasileniem występowania tego zjawiska, co zauważono już we wcześniejszych pracach poświęconych niżówkom w zlewni Zagożdżonki [KAZNOWSKA 2011; KAZNOWSKA, BANASIK 2009]. W wieloleciu 1963–2012 w profilu Płachty Stare można wydzielić okresy w których nie notowano przepływów niżówkowych: najdłuższy z nich to okres 1971–1981, podczas którego w 1981 r. odpłynęła ze zlewni rekordowa dla Zagożdżonki ilość wody – 209 mm [BANASIK i in. 2013] oraz okres 1997–2001, w którym przepływy tylko kilkakrotnie w ciągu roku spadały poniżej wartości przepływu granicznego niżówki i najkrótszy dwuletni okres 1967–1968. Przepływy niżówkowe także nie były notowane w latach 1965 i 1985. W przypadku profilu Czarna lat bez przepływów niżówkowych jest więcej i wyraźna różnica w stosunku do profilu Płachty Stare dotyczy lat: 2002, 2009 i 2011, w których przepływy niżówkowe trwały łącznie ponad 3 tygodnie, w każdym z tych lat, a nie były notowane w profilu Czarna.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie wieloletnich obserwacji można stwierdzić, że górna część nizinnej zlewni rzeki Zagożdżonki charakteryzuje się dominacją wezbrań w półroczu zimowym, a niżówek w półroczu letnim, w którym to począwszy od maja do połowy października przepływy średnie dobowe układają się w długotrwałą fazę przepływów niższych od sezonu zimowego, przerywanych jedynie krótkimi epizodami wezbraniowymi. Najwięcej dni z przepływami wezbraniowymi dotyczy miesięcy: marca, kwietnia i lutego, a przepływy niżówkowe najczęściej występują w sierpniu, lipcu, wrześniu i czerwcu. Wezbrania najczęściej trwają krótko (1–5 dni), a te długotrwałe dotyczą półroczu zimowego roku hydrologicznego. Również wezbrania duże ( $Q_{\max} \geq SWQ$ ) częściej występują zimą, choć największe z nich dotyczyły okresu letniego. Niżówki, dla których przyjęto minimalny czas trwania zjawiska równy jeden dzień, trwają najczęściej nieco dłużej, do 10 dni. Tylko kilka procent niżówek utrzymuje się do ponad 60 dni, podobnie jak w przypadku przepływów wezbraniowych, które najdłużej trwały przez 70 dni. Wraz z przyrostem powierzchni zlewni zwiększa się częstość występowania niżówek, wydłużeniu ule-

ga czas ich trwania i zwiększa się objętość deficytu. Równocześnie rośnie objętość i czas trwania wezbrań, ale ich liczba maleje. W porównaniu ze średnią roczną objętością odpływu – objętości wezbrań i deficytów niżówek wykazują znaczne różnice. Największe objętości wezbrań stanowią ok. 30% średniego rocznego odpływu, a największe deficyty niżówek tylko 3%.

W badanym okresie, w zlewni rzeki Zagożdżonki, 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. Wyraźnie również widoczne są okresy, w których przepływy wezbraniowe i niżówkowe pojawiają się z większą częstotliwością.

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

## LITERATURA

- BANASIK K. 1983. Rozmieszczenie użytków w zlewni jako czynnik minimalizujący natężenie transportu rumowiska w korycie rzeczonym. Warszawa. Katedra Inżynierii Wodnej SGGW. Maszynopis ss. 163.
- BANASIK K., BYCZKOWSKI A., HEJDUK L., GŁADECKI J. 2012. Obliczanie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w małej zlewni z zastosowaniem metod statystycznych oraz metod pośrednich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 3 (39) s. 17–26.
- BANASIK K., HEJDUK L., HEJDUK A., KAZNOWSKA E., BANASIK J., BYCZKOWSKI A. 2013. Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienskiej (Long-term variability of runoff from a small catchment in the region of the Koziensice Forest). *Sylvan*. 157 (8) s. 578–586.
- BYCZKOWKI A. 1999. *Hydrologia*. T. I i II. Warszawa. Wydaw. SGGW ss. 375 i ss. 333.
- BARTNIK A., JOKIEL P. 2005. Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzeczego na podstawie Pilicy w Przedborzu. *Wiadomości IMGW*. T. 28. Z. 2 s. 5–31.
- CHRZANOWSKI J. 1988. Pokrywa śnieżna w Polsce. Klasyfikacja jej grubości i regionalizacja. *Prace Badawcze IMGW. Ser. Meteorologia*. Warszawa. Nr 43 ss. 43.
- DYNOWSKA I. 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zeszyty Naukowe UJ*. 268. *Przegląd Geograficzny*. Z. 28 ss. 155.
- FAL B. 2007. Niżówki na górnej i środkowej Wiśle. *Gospodarka Wodna*. Nr 2 s. 72–81.
- 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., HEJDUK L. 2014. Thermal and snow conditions of winters and winter foods on example of Zagożdżonka River. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation* No 46 (1), s. 3–15
- HEJDUK L., IGRAS J. (red.). 2011. *Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej*. Warszawa. Wydaw. SGGW ss. 124.
- KAZNOWSKA E. 2011. Analysis of low flow characteristics and drought frequency in agricultural catchments. W: *Prediction and the reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme*

- flows from rural areas-case study of small agricultural catchments. Pr. zbior. Red. K. Banasik, L. Øygarden, L. Hejduk. Warszawa. Wydaw. SGGW s. 51–77.
- KAZNOWSKA E., BANASIK K. 2009. Ocena intensywności niżówek rzecznych w małej zlewni rolniczej Niziny Mazowieckiej w ostatnich 45 latach. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiecitus*. No 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.
- KUNDZEWICZ Z.W. 2008. Hydrological extremes in the changing world. *Folia Geographica. Ser. Geographica Physica*. Vol. 39 s. 37–52.
- NOWICKA B. 2009. Ocena zróżnicowania ekstremalnie wysokich przepływów wybranych rzek polskich, *Prace i Studia Geograficzne*. T. 43 s. 11–24.
- OZGA-ZIELIŃSKA M. 1990. Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie. *Przegląd Geofizyczny*. Z. 33 s. 1–2.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. 1994. *Hydrologia stosowana*. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 8301111402 ss. 323.
- SCHUMANN S., SCHMALZ B., MEESENBURG H., SCHRÖDER U. 2010. Status and perspectives of hydrology in small basins [online]. IHP/HWRP – BERICHTE. Heft 10. Koblenz [Dostęp 01.10.2014]. Dostępny [http://www.ihpgermany.de/\\_service/03\\_Publikationen/01\\_IHP\\_Schriftenreihe/heft10\\_de.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.ihpgermany.de/_service/03_Publikationen/01_IHP_Schriftenreihe/heft10_de.pdf?__blob=publicationFile)
- STACHY J., FAL B., DOBRZYŃSKA I., HOŁDAKOWSKA J. 1996. Wezbrania rzek polskich w latach 1951–1990. *Materiały Badawcze IMGW. Ser. Hydrologia i Oceanologia*. Nr 20. Warszawa ss. 80.

*Ewa KAZNOWSKA, Agnieszka HEJDUK, Leszek HEJDUK*

## **CHARACTERISTIC OF OCCURRENCE OF FLOODS AND STREAMFLOW DROUGHTS IN A SMALL MAZOVIAN LOWLAND CATCHMENT**

**Key words:** *floods, low waters, lowland catchment*

### **S u m m a r y**

The aim of the study was to characterise the occurrence of floods and streamflow droughts in the catchment of the Zagożdżonka River in two gauging stations: Płachty Stare and Czarna, based on the daily flow hydrographs. The study catchment is monitored by the Department of Water Engineering, Warsaw University of Life Sciences since 1962 and is one of the few small catchments in Poland with such a long data set. To define floods and low waters, the cut-off limit on the daily hydrographs has been used. The research covered the period of 50 years (1963–2012) for the Płachty Stare gauging station and 22 years (1991–2012) for Czarna one.

The frequency of occurrence, the duration of analysed phenomena and their quantitative parameters were determined and compared for both stations. Floods and droughts in the Zagożdżonka River during analysed period of time were calculated as 10% of all observed daily flows. Floods dominate in the winter half of hydrological year, streamflow droughts occur in the first half of summer season. Along with increasing catchment area, increased frequency, duration and water deficit of droughts were noted. The frequency of flood occurrence decreased with the increasing catchment area.

**Adres do korespondencji:** dr inż. E. Kaznowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Inżynierii Rzecznej, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa; tel. +48 22 593-53-23, e-mail: [ewa\\_kaznowska@sggw.pl](mailto:ewa_kaznowska@sggw.pl)