

Ewa Kaznowska

**WIELOLETNIE TENDENCJE W KSZTAŁTOWANIU SIĘ
WYBRANYCH CHARAKTERYSTYK NIŻÓWEK
W ZLEWNI RZEKI ZAGOŹDŹONKI**

***LONG-TERM TREND OF SHAPING SELECTED
CHARACTERISTICS OF STREAMFLOW DROUGHTS
IN THE ZAGOŹDŹONKA CATCHMENT***

Streszczenie

Zjawisko niżówki utożsamiane jest z występowaniem niskich przepływów wody w korycie rzeki. W zależności od pory roku niżówki mogą być wywołane przedłużającym się brakiem opadów lub długotrwałym mrozem. Niżówki stanowią jeden z aktualnych problemów w gospodarowaniu wodą, szczególnie w świetle obserwowanego w ostatnich latach częstszego pojawiania się zjawiska suszy. Celem pracy jest analiza zmian w wieloletnim przebiegu wybranych charakterystyk niżówek (czas trwania, objętość deficytu) w zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare. Rozpatrywana w pracy zlewnia rzeki Zagożdżonki usytuowana jest na Nizinie Mazowieckiej, należącej do tych regionów kraju, w których najczęściej pojawia się zjawisko suszy. Mała zlewnia rzeki Zagożdżonki jest jedną z kilku w Polsce, która posiada długi ciąg pomiarów wartości opadów i odpływu. W celu wyznaczenia niżówek na hydrogramach dobowych przepływów zastosowano dwa poziomy odcięcia: przepływ SNQ i $Q_{90\%}$. Badania nie wykazały tendencji do wcześniejszego występowania okresów niżówkowych w zlewni Zagożdżonki. Natomiast analiza sumowanych rocznych charakterystyk niżówek: czasu trwania i objętości deficytu pochodzących z poszczególnych lat hydrologicznych okresu 1963-2011, wykazała występowanie trendu rosnącego na poziomie istotności 0,1. W ostatnich latach niżówki występują prawie co roku, jednakże nie trwają dłużej i nie posiadają większych objętości deficytu niż średnie wieloletnie.

Słowa kluczowe: niżówka, susza hydrologiczna, trend, zmiany klimatyczne, Nizina Mazowiecka

Summary

Streamflow drought is a period of continuing low flows in river. Depending on the time of year streamflow drought are caused by long-term shortage of precipitation or long-lasting temperatures below zero. Streamflow droughts are one of the current problems in the management of water, especially in the light seen in recent years, frequent occurrence of droughts. The goal of this work consists in analysis of long-term changes in selected characteristics of streamflow droughts (duration, deficit) in the Zagożdżonka river at the Plachty Stare gauging station. The Zagożdżonka catchment is situated in the strip of the Central Polish Lowlands, in the region where droughts are the most frequent. The Zagożdżonka small river catchment is one of a few in Poland with long-term records on rainfall and runoff. To identify droughts in daily discharge hydrograms, truncation levels SNQ and $Q_{90\%}$ were used. The study did not show a tendency to pre-existing low flow periods in the catchment Zagożdżonka. Analysis of the statistical significance of trends in the course of aggregation of the individual years of deficits of droughts and duration of droughts in the Zagożdżonka river at the Plachty Stare showed a positive trend on the level of significance 0,1. In the recent years, streamflow droughts have occurred with a frequency of almost one per year, but their duration and deficit have been smaller than long-term average.

Key words: streamflow drought, hydrological drought, trend, climate change, Mazovian Lowland

WSTĘP

Poszukiwanie i ocena kierunków zmian w wieloletnim kształtowaniu się charakterystyk odpływu, a szczególnie w obrębie przepływów niskich, stanowi niezbędną informację w dyskusji dotyczącej kondycji zasobów wodnych kraju, w aspekcie globalnego ocieplenia. Według Jokiela [2009] jednym z ważniejszych problemów współczesnej hydrologii jest ocena wpływu, jaki obserwowane zmiany klimatyczne miały, mają i będą mieć w przyszłości na wielkość i rozmieszczenie zasobów wodnych w przestrzeni i w czasie. Jednym z istotnych zagrożeń związanych z zaspokojeniem potrzeb wodnych zarówno gospodarki, społeczeństwa i środowiska jest możliwość występowania coraz częściej zjawiska niżówki, utożsamianego z okresem niskich przepływów w korytach rzek, zwłaszcza w okresie letnim i letnio-jesiennym.

Wiek XX i pierwsza dekada XXI wieku obfitował w kraju jak i w Europie w częste występowanie zjawiska suszy, dla których niżówki stanowią ostatnią fazę w ich rozwoju. Według badań Lorenc i współautorów [2008] okres od roku 1982 do 2006 charakteryzował się permanentną suszą z dwoma 4-5 letnimi okresami, w których susze nie wystąpiły na większym obszarze kraju. Łabędzki [2006] podkreśla, iż z systematycznych obserwacji z ostatniego pięćdziesięciolecia wynika, że na terenie kraju nasila się występowanie okresów susz. Również Somorowska [2009] stwierdziła w ostatnich dwóch dekadach XX wieku

zwiększoną liczbę miesięcy suchych w większości regionów geograficznych kraju, za wyjątkiem Pobrzeża Bałtyku oraz Pojezierzy Wschodniobałtyckich. Podobnie w Europie w ostatnich latach susze występowały dość często (2003, 2005-2008, 2010), obejmując w tym samym roku wiele krajów położonych w różnych strefach klimatycznych lub tylko występując w jednej z nich [Demuth 2009]. Na południu Europy w ciągu XX wieku w sposób widoczny zmniejszyła się ilość opadów [Kundzewicz i inni 2007]. Jednakże w przypadku susz hydrologicznych (niżówek wód powierzchniowych i podziemnych) XX wieku trudno jest jednoznacznie stwierdzić kierunek zmian w ich przebiegu w rzekach Europy [van Lanen i in. 2007]. Również Jokiel [2010] zauważa, iż dotychczasowe wyniki badań, jak i różnego rodzaju modele i scenariusze nie dają, jak dotąd, jednoznacznej odpowiedzi na pytanie: czy w wyniku obserwowanych zmian klimatu wzrośnie częstotliwość i skala hydrologicznych zjawisk ekstremalnych na obszarze kraju. Natomiast można stwierdzić za Kundzewiczem i współautorami [2010], że występowanie w ostatnich latach coraz częstszych i ostrzejszych susz dotyka zwłaszcza rolnictwo na Niziu Polskim, i przy ewentualnym nawet niewielkim wzroście opadów średnich w okresie letnim, znaczny wzrost ewapotranspiracji spowoduje zwiększenie potrzeb wodnych w rolnictwie.

W Polsce najbardziej podatne na występowanie niżówek są zlewnie położone na obszarze nizinnej, środkowej części kraju charakteryzujące się małymi lub ujemnymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego. Niziny Środkowopolskie są najbardziej predestynowane do pojawienia się susz, które występują najczęściej w półroczu letnim przedłużając swój czas trwania na okres jesienny [Tokarczyk 2010]. Obszar Niziu Polskiego charakteryzuje się największymi, najbardziej długotrwałymi niżówkami, co pokrywa się ze stwierdzonym faktem deficytów wody na tych obszarach [Zielińska 1963]. Rozpatrywana w pracy zlewnia rzeki Zagożdżonki usytuowana jest na Nizinie Mazowieckiej, należącej do tych regionów Polski, w których najczęściej pojawia się zjawisko suszy. Badania nad przewidywanymi potencjalnie dla Europy i dla Polski zmianami w częstości i w intensywności występowania zjawisk ekstremalnych, jakim są susze hydrologiczne i utożsamiane z nimi niżówki, dobrze jest prowadzić w skali małych zlewni o charakterze zbliżonym do naturalnego. Zlewnie te powinny posiadać stosunkowo długi okres obserwacji hydrometeorologicznych, a także cechować się określonym reżimem hydrologicznym i bilansem wodnym.

Celem pracy jest ocena występujących tendencji w wieloletnim przebiegu wybranych charakterystyk niżówek na podstawie ciągu przepływów dobowych z okresu 1963-2011, pochodzących z profilu Płachty Stare, który zamyka zlewnię rzeki Zagożdżonki powierzchnią 82,4 km².

METODYKA BADAŃ

Charakterystyka zlewni

Zlewnia rzeki Zagożdżonki leży w pasie Nizin Środkowopolskich w okolicach Radomia na obszarze Polski, w którym według Farat i in. [1995] niżówki pojawiają się najczęściej. Zagożdżonka jest lewostronnym dopływem Wisły. Zlewnia ma charakter rolniczy, średnie spadki głównych cieków wynoszą od 2,5‰ do 3,5‰, a ich doliny są wąskie i płytkie [Byczkowski i in. 2001]. W wieloleciu 1963-2011 średnie roczne warstwy opadu i odpływu dla tego obszaru wynoszą odpowiednio 612 mm i 107 mm. W roku 1991 zanotowano najmniejszy opad roczny – 414 mm, a najmniejszy odpływ roczny o wartości 52 mm w 1992 r. Miesiącem najuboższym w wodę jest lipiec (z odpływem 5,8 mm) [Banasik i in. 2012].

Poziom odcięcia i charakterystyki niżówek

Mimo bogatej literatury polskiej i światowej poświęconej zagadnieniu niżówki, brakuje jednoznacznej definicji opartej na genezie zjawiska. Niżówka zatem może być zdefiniowana jedynie umownie [Ozga-Zielińska 1990]. Na potrzeby badań za niżówkę uznano sekwencję przepływów trwającą minimalnie 10 dni, o wartościach równych i mniejszych od przepływu granicznego $Q_{90\%}$. Ze względu na możliwość porównania uzyskanych wyników z pracami innych autorów jako poziom odcięcia niżówek wybrano także przepływ SNQ i wydłużono kryterium minimalnego czasu trwania zjawiska do 20 dni. Obie wartości przepływu granicznego niżówki określono dla profilu Płachty Stare rzeki Zagożdżonki z okresu 45 lat (1963-2007) i wyniosły one odpowiednio: przepływ $Q_{90\%} = 0,087 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odczytany z krzywej sum czasów trwania przepływów oraz przepływ SNQ = $0,078 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wyznaczony jako średnia z minimalnych przepływów rocznych.

Parametry niżówek: czas trwania, objętość deficytu, przepływ minimalny uzyskano przy pomocy modelu Niżówka2003 [Jakubowski, Radczuk 2004]. Do oceny surowości zjawiska niżówki występującego w wieloleciu 1963-2011 i w podokresach 1963-69, 1982-96, 1999-2011 określono dla nich: liczbę wystąpień niżówek w badanym okresie - $\sum n_i$, średni czas trwania niżówki (dni) - $T_{\text{sr},n}$, średnią objętość deficytu niżówki (tys. m^3) - $V_{\text{sr},n}$, maksymalny czas trwania niżówki w badanym okresie (dni) - $T_{\text{max},n}$, maksymalną objętość deficytu niżówki w badanym okresie (tys. m^3) - $V_{\text{max},n}$. Podane charakterystyki niżówek wyznaczono na podstawie wzorów opisanych w pracy Kaznowskiej i Banasika [2009]. W celu odpowiedzi na pytanie czy widoczna jest tendencja zmian w przebiegu charakterystyk niżówek w wieloleciu 1963-2011 i w ostatnich 30 latach (1982-2011) jako reakcja na częstsze w ostatnich latach występowanie zjawiska suszy, zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla. Zbadano istnienie trendów dla ciągów zsumowanych w kolejnych latach hydrologicznych

czasów trwania ($\sum Tn_i$) i deficytów objętości ($\sum Vn_i$) występujących niżówek. W latach bez niżówek wartość ciągu szeregu czasowego wynosiła zero. Do oceny istotności statystycznej trendu użyto programu TREND [Chiew, Siriwardena 2004].

ANALIZA WYNIKÓW

W zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare niżówki są zjawiskiem częstym, co jest cechą charakterystyczną dla regionu kraju, w którym położony jest obszar badawczy. W rozpatrywanym wieloleciu 1963-2011, w 29 latach wystąpiły 42 niżówki odcięte przepływem granicznym $Q_{90\%}$, a niżówki wyznaczone przepływem SNQ dotyczyły jedynie 15 lat i było ich łącznie 16 (tab. 1). Wszystkie niżówki wystąpiły tylko w półroczu letnim. Dla okresu 1963-2010, średnia liczba niżówek na rok w Płachtach Starych, określonych przy użyciu przepływu $Q_{90\%}$ jest bliska jedności i wynosi 0,85 a prawdopodobieństwo nieprzewyższenia krótkich – kilkunastodniowych - niżówek wynosi około 50% [Kaznowska, Banasik 2011]. Przyjęcie w artykule 20 dni jako minimalny czas trwania zjawiska, dla niżówek odciętych przepływem SNQ, podyktowane możliwością porównywaniu uzyskanych wyników badań z publikacjami innych autorów, zmniejszyło liczbę obserwowanych niżówek aż o połowę. W wieloleciu 1963-2010 Kaznowska [2011] uzyskała 32 niżówki, stosując tę samą wartość poziomu odcięcia SNQ, ale przyjmując 10 dni za kryterium minimalnego czasu trwania niżówki. Podobnie zmianie uległy średnie charakterystyki niżówek odciętych przepływem SNQ, gdzie po zastosowaniu dłuższego 20-dniowego minimalnego czasu trwania zjawiska, średni czas trwania niżówki wydłużył się do 54 dni (tab. 1), w stosunku do 34 dni uzyskanych dla niżówek z wielolecia 1963-2010, wyznaczonych przy pomocy 10-dniowego kryterium minimalnego czasu trwania niżówki. Natomiast w przypadku niżówek odciętych przepływem $Q_{90\%}$ w rozpatrywanym w artykule wieloleciu 1963-2011, średni czas trwania zjawiska wynosi 39 dni (tab. 1). Dla rzek Bzury, Pilicy, Warty i Proсны położonych na tym samym obszarze Nizin Środkowopolskich, co badana rzeka Zagożdżonka, średni czas trwania letnich niżówek, w okresie 1951-1990, wyniósł od 30 do 50 dni, przy przyjęciu: SNQ jako poziomu odcinającego niżówki na hydrogramach dobowych przepływów i 20 dni jako minimalnego czasu trwania zjawiska [Kaznowska, Ciepeliowski 2006]. Jakubowski [2011] podkreśla, iż wybór przepływu granicznego ma duży wpływ na parametry obserwowanych niżówek, a nawet niewielki wzrost wartości przepływu granicznego może całkowicie zmienić obraz obserwowanych niżówek. Podobną czułość na zmiany w liczbie i parametrach niżówek uzyskuje się także zmieniając wartość minimalnego czasu trwania zjawiska, którego wielkość w badaniach polskich wynosi najczęściej: 1, 5, 10 i 20 dni.

Tabela 1. Charakterystyki niżówek rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w wieloletniu 1963- 2011 oraz w trzech jego podokresach (1963-1969, 1982-1996, 1999-2011)
Table 1. Characteristics of droughts in the Zagożdżonka river at the Płachty Stare gauge in the multi-annual period 1963-2011 and in his three subperiods (1963-1969, 1982-1996, 1999-2011)

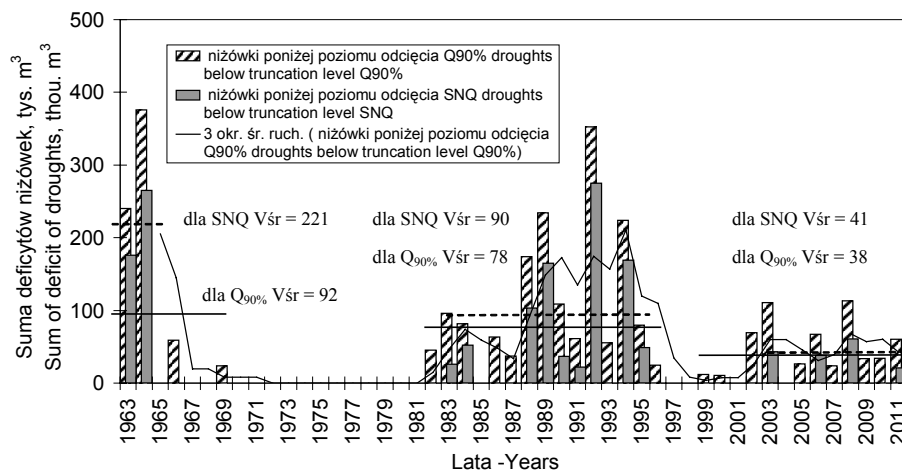
Charakterystyki niżówek <i>Characteristics of streamflow droughts</i>		Poziom odcięcia niżówek – $Q_{90\%}$ [$m^3 \cdot s^{-1}$] <i>Truncation level of droughts – $Q_{90\%}$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]</i>				Poziom odcięcia niżówek – SNQ [$m^3 \cdot s^{-1}$] <i>Truncation level of droughts- SNQ [$m^3 \cdot s^{-1}$]</i>			
		Okres / <i>Period</i>				Okres / <i>Period</i>			
		1963-1969	1982-1996	1999-2011	1963-2011	1963-1969	1982-1996	1999-2011	1963-2011
$\sum n_i$		6	21	15	42	2	10	4	16
$T_{\text{śr},n}$	dni	49	41	30	39	111	48	40	54
$T_{\text{max},n}$	days	151	78	91	151	141	79	58	141
$V_{\text{śr},n}$	tys. m^3 th. m^3	92	78	38	71	221	90	41	94
$V_{\text{max},n}$		376	302	111	376	265	242	61	265

Typowy okres występowania niżówek na Zagożdżonce to miesiące letnie, podobnie jak w większości rzek obszaru Polski. Najwięcej niżówek dotyczy w kolejności miesiąca sierpnia, lipca, czerwca i września. Według Banasika i Hejduka [2010] na Zagożdżance miesiącem najsuchszym pod względem wysokości odpływu a zarazem najwilgotniejszym pod względem wielkości opadów jest lipiec. Wyniki te są zbieżne z badaniami Jokiela [2010] dotyczącymi wieloletniej zmienności odpływów ekstremalnych rzek środkowej Polski w wieloletniu 1951-2002, z których wynika, iż najniższe odpływy w tym regionie występowały w półroczu letnim (sierpień, lipiec, wrzesień), a sierpień jest miesiącem o najgłębszych niżówkach letnich, a jednocześnie okresem częstych wezbrań opadowych i bardzo zróżnicowanego parowania. Początek wystąpienia zjawiska niżówki na rzece Zagożdżonce w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011 przypada najczęściej na miesiące czerwiec i lipiec (tab. 2), a koniec na wrzesień. Badania nie wykazały tendencji do wcześniejszego występowania okresów niżówkowych w zlewni Zagożdżonki, mimo że obserwowane od kilkunastu lat zmiany klimatyczne w środkowej Polsce jak podaje Jokieli [2009] prowadzą już do skracania „hydrologicznej zimy” oraz do redukcji wysokości i przesuwania się w kierunku zimy terminów „klasycznych” wiosennych wezbrań roztopowo-opadowych.

Tabela 2. Początek wystąpienia zjawiska niżówki w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011 na rzece Zagożdżoncy w profilu Płachty Stare
Table 2. The beginning of the drought period in individual years the multi-annual period 1963-2011 in the Zagożdżonka river at the Płachty Stare gauge

Miesiąc Month	Lata z niżówkami, Years with streamflow droughts																												
	1963	1964	1966	1969	1982	1983	1984	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1999	2000	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	Lata z niżówkami poniżej poziomu odcięcia $Q_{90\%}$, Years with streamflow droughts below truncation level $Q_{90\%}$																												
V	■	■	■	■										■	■						■								■
VI						■					■					■		■				■			■		■		
VII					■					■		■					■											■	
VIII							■						■															■	
	Lata z niżówkami poniżej poziomu odcięcia SNQ, Years with streamflow droughts below truncation level SNQ																												
V	■	■												■															
VI												■															■		■
VII							■			■		■					■								■				
VIII							■						■										■						

Analizując zsumowane roczne, a także wygładzone sumy objętości deficytów i czasów trwania niżówek rzeki Zagożdżonki, występujących w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011, zaprezentowane na rysunku 1 i 2, widać wyraźnie trzy okresy (1963-69, 1982-96, 1999-2011) różniące się charakterem pojawiających się w tym czasie niżówek. Również widoczne jest podobieństwo przebiegu charakterystyk niżówek letnich (zimowych brak), w wyróżnionych okresach (rys. 1, 2) z sumami opadów z półroczy letnich badanego wielolecia (rys. 3), co zgodne jest ze stwierdzeniem Byczkowskiego i innych [2001], iż w zlewni Zagożdżonki bardzo podobny jest przebieg ciągów opadów i odpływu. W pierwszym okresie 1963-1969 niżówki osiągały maksymalne wartości, a także największe średnie rozmiary pod względem czasu trwania i objętości deficytu, wynoszące odpowiednio: $T_{sr,n} = 49$ dni, $V_{sr,n} = 92$ tys. m^3 dla poziomu odcięcia $Q_{90\%}$ oraz $T_{sr,n} = 111$ dni i $V_{sr,n} = 221$ tys. m^3 dla poziomu odcięcia SNQ (rys. 1, 2; tab. 1). W tym okresie zaobserwowano także dotychczas największą i najdłuższą niżówkę z 1964 roku, a pod względem opadów stwierdzono przewagę półroczy suchych i przeciętnych nad bardzo mokrymi. Na obszarze Polski niżówka letnia z 1964 roku dotyczyła 48 % wszystkich z pośród 50 analizowanych posterunków wodowskazowych, a niżówka z 1969 – 38% [Farat i in. 1995].



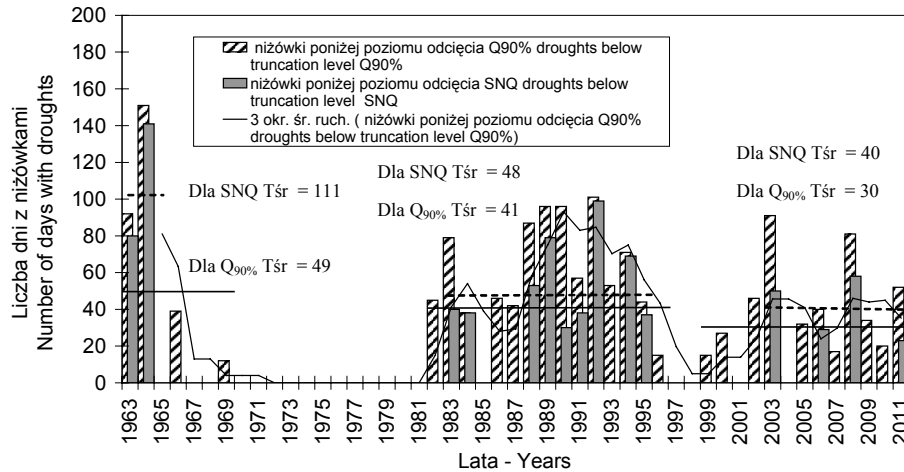
Rysunek 1. Roczne sumy deficytów niżówek w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011 i ich wygładzone wartości (3-letnia średnia ruchoma) oraz średnie wartości deficytów niżówek w trzech okresach: 1963-1969, 1982-1996, 1999-2011, w profilu Płachty Stare na rzece Zagożdżonka

Figure 1. Cumulated annual deficits of streamflow droughts in individual years in multi-annual period 1963-2011 and trace of 3-years moving average values for deficits of streamflow droughts; the average volume of drought deficit in three periods: 1963-1969, 1982-1996, 1999-2011, at Płachty Stare gauging station in Zagożdżonka river

Kolejny okres 1982-1996 charakteryzował się dominacją półroczy suchych i bardzo suchych - rys. 3 (opad nie osiągał 90% opadu średniego z półrocza letniego), a niżówki wystąpiły tutaj prawie co roku (rys. 1, 2) osiągając największą intensywność [Kaznowska, Banasik 2009]. Podobnie Jokieli [2010] podaje, iż okres bardzo niskich odpływów jednostkowych w środkowej Polsce trwał od 1986 do 1995. Również w katalogu susz sporządzonym dla wielolecia 1951-1990 przez Farata i in. [1995], w latach: 1983, 1989 i 1990 niżówki letnie dotyczyły odpowiednio: 46, 20, 22 % wszystkich spośród analizowanych posturunków z obszaru Polski, a niżówki z 1982 i 1984 roku dotyczyły jedynie pojedynczych profili.

Średnie charakterystyki czasu trwania i objętości deficytu niżówek Zagożdżonki, uzyskane w okresie 1982-1996, odciętych przepływem SNQ i $Q_{90\%}$ osiągnęły zbliżone do siebie wartości, ale mniejsze o około 16% (w przypadku $Q_{90\%}$) i około 60% (w przypadku SNQ) od odpowiadającym im wartościom z okresu wcześniejszego 1963-1969 (rys. 1, 2; tab.1). W ostatnim obserwowanym okresie od 1999 do 2011 roku zsumowane czasy trwania i deficyty niżówek

osiągają najmniejsze rozmiary od pozostałych poprzednich okresów, za wyjątkiem lata z 2003 roku, w którym to podobnie jak na znacznym obszarze kraju wystąpiła długotrwała niżówka.

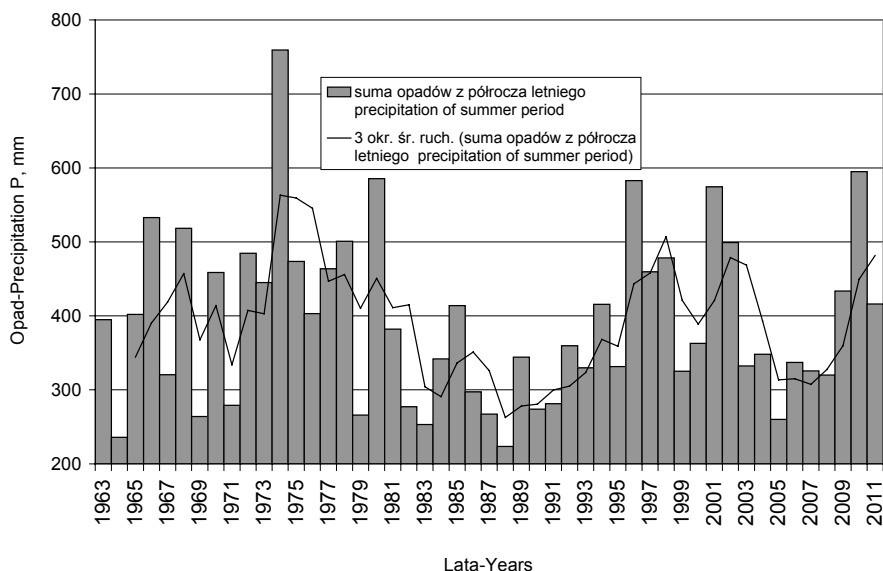


Rysunek 2. Roczne sumy czasów trwania niżówek w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011 i ich wygładzone wartości (3-letnia średnia ruchoma) oraz średnie wartości czasów trwania niżówek w trzech okresach: 1963-1969, 1982-1996, 1999-2011, w profilu Płachty Stare na rzece Zagożdżonka

Figure 2. Cumulated annual duration of streamflow droughts in individual years in multi-annual period 1963-2011 and trace of 3-years moving average values for duration of streamflow droughts; the average duration of drought deficit in three periods: 1963-1969, 1982-1996, 1999-2011, at Płachty Stare gauging station in Zagożdżonka river

W profilu Płachty Stare niżówka odcięta przepływem $Q_{90\%}$ wyniosła 3 miesiące, a jej deficyt 111 tys. m^3 był prawie dwukrotnie większy od średniego deficytu z wielolecia wynoszącego 71 tys. m^3 (tab. 1). Nizówka odcięta przepływem SNQ trwała 50 dni, a jej deficyt 43 tys. m^3 osiągnął jedynie wartość zbliżoną do średniej z okresu 1999-2011 wynoszącą $V_{sr,n} = 41$ tys. m^3 (tab. 1). Pod względem opadów w tym okresie przeważały półrocza suche nad mokrymi i przeciętnymi.

Poszukując odpowiedzi na pytanie, czy jest wyraźna reakcja hydrologiczna w postaci istotnej statystycznie tendencji, w kształtowaniu się rozmiaru zsumowanych rocznych charakterystyk niżówek w poszczególnych latach wielolecia 1963-2011 i w okresie ostatnich 30 lat, na skutek obserwowanych zmian w przebiegu elementów klimatu, użyto testu Manna-Kendalla, a wyniki zestawiono w tabeli 3.



Rysunek 3. Zmienność sumy opadów z półrocza letniego w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w wieloletniu 1963-2011

Figure 3. Changes of summer period precipitation in the Zagożdżonka catchment upstream of the Płachty Stare gauging station for the period 1963-2011

W ostatnich 30 latach nie zaobserwowano trendów dla zsumowanych rocznych charakterystyk niżówek (czasów trwania i deficytów objętości) odciętych zarówno przepływem SNQ i $Q_{90\%}$. Natomiast poszukując trendów w całym wieloletniu 1963-2011 wykryto trend rosnący na poziomie istotności $\alpha = 0,1$ zarówno dla zsumowanych w każdym roku czasów trwania jak i objętości deficytów występujących niżówek, wyznaczonych przy pomocy przepływu $Q_{90\%}$. Widoczna istotna statystycznie tendencja dotyczy wydłużania się okresów niżówkowych jak i zwiększania objętości ich deficytów, mimo że ich rozmiary nie są tak znaczące jak niżówek występujących w latach 60-tych, 80 i 90-tych. Wyniki te mogą korespondować z badaniami Banasika i Hejduka [2010] dotyczącymi wieloletnich zmian w odpływie ze zlewni Zagożdżonki w wieloletniu 1963-2010, które wskazują na istnienie trendu spadkowego w wielkościach rocznego odpływu, na poziomie 1,2 mm na rok, a także stwierdzają wyraźny spadek wielkości rocznego odpływu od początku lat 80-tych. Również badania Banasika i współautorów [2012], prezentują malejące trendy w ciągu przebiegu przepływów średnich niskich 30-dniowych (NQ_{30}) i przepływów zwyczajnych okresu letniego (ZQ_1) w okresie 1963-2011.

Tabela 3. Analiza istotności statystycznej trendów w przebiegu zsumowanych deficytów niżówek i czasów trwania niżówek w poszczególnych latach okresu 1963-2011 i 1982-2011, w profilu Płachty Stare na rzece Zagożdżonka

Table 3. Analysis of the statistical significance of trends in the course of aggregation of the individual years of deficits of droughts and duration of droughts in the Zagożdżonka river at the Płachty Stare gauge in the multi-annual period 1963-2011 and 1982-2011

Okres Period	Poziom odcinka Truncation level [m ³ ·s ⁻¹]	Charak- terystryki niżówek Characteris- tics of stream- flow droughts	Mann-Kendall test				Statysty- ka testowa Z Z-statistic
			Poziom istotności		Significance level		
			$\alpha=0,1$ 0	Wartość krytyczna Critical test statistic value	$\alpha=0,05$ 5	Wartość krytyczna Critical test statistic value	
1963- 2011 (49 lat)	Q _{90%}	$\sum V_{ni}$	+	1,645	0	1,960	1,802
		$\sum T_{ni}$	+		0		1,896
	SNQ	$\sum V_{ni}$	0		0		0,707
		$\sum T_{ni}$	0		0		0,629
1982- 2011 (30 lat)	Q _{90%}	$\sum V_{ni}$	0		0		-1,178
		$\sum T_{ni}$	0		0		-1,195
	SNQ	$\sum V_{ni}$	0		0		-0,856
		$\sum T_{ni}$	0		0		-0,981

+ trend rosnący istotny statystycznie; statistically significant increasing trend
0 brak trendu istotnego statystycznie, no statistically significant trend

PODSUMOWANIE

Zlewnia rzeki Zagożdżonki jest często doświadczana w lecie przez zjawisko niżówki wód powierzchniowych, podobnie jak inne zlewnie leżące na Nizinie Polskiej wykazujące wrażliwość na zmiany klimatyczne składowych bilansu wodnego. W badanym wieloleciu 1963-2011 w profilu Płachty Stare zanotowano 42 niżówki wyznaczone przy pomocy poziomu odcinka Q_{90%} i prawie 3-krotnie mniej stosując niższy przepływ graniczny SNQ oraz zwiększając kryterium minimalnego czasu trwania zjawiska z 10 do 20 dni. W rozpatrywanym wieloleciu zaobserwowano 3 okresy różniące się przebiegiem zjawiska niżówki zbieżne z rozkładem opadów w półroczu letnim. Badania nie wykazały tendencji do wcześniejszego występowania okresów niżówkowych w zlewni Zagożdżonki, których początek przypada najczęściej na miesiąc czerwiec i lipiec, a koniec na wrzesień. Od 1982 roku - w ostatnich 30 latach niżówki odcięte przepływem Q_{90%} występują prawie rokrocznie za wyjątkiem 5 lat (1985, 1997, 1998, 2001, 2004), a od 2005 roku pojawiają się co roku, jednakże nie osiągając znaczących rozmiarów większych od średnich wieloletnich, ani nie wykazują istotnych tendencji zmian. Jedynie zsumowane w poszczególnych latach całego badanego wielolecia 1963-2011 charakterystyki niżówek odciętych przepływem Q_{90%}: czas trwania i objętość deficytu posiadają trend rosnący na poziomie istotności $\alpha = 0,1$.

BIBLIOGRAFIA

- Byczkowski A., Banasik A., Hejduk L., Mandes B. *Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki)*, [W:] Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych, red. J. Jaworski i J. Sekutnicki, PTG IMGW Warszawa 2001, s. 43–52
- Banasik K., Hejduk L. *Long-term Changes in Runoff from a Small Agricultural Catchment*, Soil & Water Res., 7, 2012 (2), s. 64–72
- Banasik K., Hejduk L., Hejduk A., Kaznowska E., Banasik J., Byczkowski A. *Wieloletnie badania zmienności odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej*, 2012 (złożony do druku)
- Chiew F., Siriwerdana L. *Trend – trend/change detection software*, product from the CRC (Cooperative Research Centre) for Catchment Hydrology (CRCCH), Australia 2004, www.toolkit.net.au/trend
- Demuth S. *Learning to live with drought in Europe*, A World of SCIENCE, Vol.7, No.3, 2009, s.18-20
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P. *Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990*, Materiały badawcze IMGW, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, nr 16, Warszawa 1995 ss.140
- Jakubowski W. *Rozkłady prawdopodobieństwa w ocenie suszy hydrologicznej*, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2011 ss.177
- Jakubowski W., Rączuk L. *Nizowka2003 software* [in:] ed. L. M. Tallaksen, H. A. J. Van Lanen, *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Developments in Water Science, 48, Elsevier Amsterdam 2004
- Jokiel P. *O sezonowym rozmieszczeniu odpływu w wybranych rzekach środkowej Polski*, Wiadomości IMGW, T. III (LIII), z. 2-3, Warszawa 2009, 15-29
- Jokiel P. *Kilka uwag o wieloletniej zmienności odpływów ekstremalnych w środkowej Polsce*, [W:] Woda w badaniach geograficznych, red. T. Ciupa, R. Suligowski, Instytut Geografii Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, 2010, 111-125
- Kaznowska E. *Analysis of low flow characteristics and drought frequency in agricultural catchments*, [In:] Prediction and the reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas-case study of small agricultural catchments, Ed. By K. Banasik, L. Øygarden & L. Hejduk, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2011, 51-77
- Kaznowska E., Banasik K. *Ocena intensywności niżówek rzecznych w małej zlewni rolniczej Niziny Mazowieckiej w ostatnich 45 latach*, Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiecus, 8 (3-4), Kraków 2009, 5-16
- Kaznowska E., Banasik K. *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), Warszawa 2011, 57-69
- Kundzewicz Z., Szwed M., Pińskwar I., Radziejewski M. *Global change and extreme hydrological events*, Papers on GLOBAL CHANGE, Polish Academy of Sciences, no. 14, Warsaw 2007, 79-92
- Kundzewicz Z., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgalski E. *Zagrożenia związane z wodą*, Nauka nr 4, 2010, 87-96
- Lanen H.A.J. van, Tallaksen L.M., Rees G. *Drought and Climate Change*, Annex to: Commission Staff Working Document Impact Assessment (SEC(2007) 993), Accompanying document to Communication Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the Euro-

- pean Union (COM(2007) 414), Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 2007 ss. 579
- Lorenc H., Mierkiewicz M., Sasim M. *Susze w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem roku 2006 (historia, przyczyny, natężenie, zasięg, skutki, wnioski)*, Wiadomości IMGW, Tom II (LII) Zeszyt 1-2, Warszawa, 2008, 3-32
- Łabędzki L. *Susze rolnicze: zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*, Woda Środ. Obsz. Wiej., Rozpr. Nauk. Monogr. 17. IMUZ Falenty 2006
- Ozga-Zielińska M. *Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie*, Przegląd Geofizyczny, 35, 1–2, Warszawa 1990
- Somorowska U. *Wzrost zagrożenia suszą hydrologiczną w różnych regionach geograficznych Polski w XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, T.43, 2009, 99-114
- Tokarczyk T. *Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej*, Wyd. IMGW, Warszawa 2010
- Zielińska M. *Niżówki letnie rzek polskich*, Gospodarka Wodna, Nr 4, Warszawa 1963, 133-136

Dr inż. Ewa Kaznowska
Katedra Inżynierii Wodnej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
ewa_kaznowska@sggw.pl

