

ZMIANY WYDAJNOŚCI ŹRÓDEŁ, JAKO REAKCJA NA OKRESOWY NIEDOBÓR OPADÓW

Justyna Kubicz^{1*}, Kinga Sygidus¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

* Autor do korespondencji: justyna.kubicz@upwr.edu.pl

STRESZCZENIE

Według prowadzonych badań na skutek zmian klimatycznych, następuje zwiększanie się ilości obszarów dotkniętych suszą oraz wydłużanie się okresów suszy przy jednoczesnym wzroście jej intensywności. Skutkiem suszy jest niedostateczne tempo odnawiania zasobów wód podziemnych, a konsekwencją tego zjawiska jest zmniejszenie dopływu wody do źródeł i spadek i ich wydajności. Aby możliwa była ocena skutków zmian klimatu, w kontekście dostępności zasobów wodnych, konieczne jest zbadanie i opisanie zależności między czynnikami meteorologicznymi a warunkami hydrologicznymi. Dlatego w niniejszej pracy podjęto próbę opisanie relacji między wydajnością źródeł w południowo-zachodniej Polsce a niedoborem opadów. Obliczono współczynniki korelacji między wydajnością źródeł a wskaźnikiem SPI w różnych skalach czasowych. Najwyższy poziom reakcji stwierdzono w przypadku wydajności i niedoborów opadów o okresie kumulowania 6 miesięcy (SPI-6).

Słowa kluczowe: źródło, wydajność źródła, wody podziemne, SPI

DISCHARGE CHANGES AS A REACTION TO PERIODIC PRECIPITATION DEFICIT

ABSTRACT

As a result of climate change there is an increase in the number of the areas affected by drought and intensity of the drought. The effect of the drought is the insufficient rate of renewing groundwater resources. The consequence of this phenomenon is reduction groundwater inflow and decrease discharge of springs. Assess the effects of climate change, in the context of the availability of groundwater resources, it is necessary to describe the relationship between meteorological and hydrological conditions. This paper describe the relations between discharge of the springs in south-western Poland and periodic precipitation deficit. There were calculated correlation coefficients between discharge and SPI index in different time scales. The highest level of the reaction was found between discharge and precipitation deficit in 6-month accumulation period (SPI-6).

Keywords: spring, discharge, groundwater, SPI



SIEĆ NA RZECZ
INNOWACJI W ROLNICTWIE
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć
Obszarów Wiejskich



Program
Rozwoju
Obszarów
Wiejskich
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”.

Artykuł opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach II Schematu Pomocy Technicznej

„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

WSTĘP

W wyniku procesów naturalnych oraz działalności człowieka obserwuje się nieodwracalne zmiany klimatu [Pachauri, Meyer 2014]. Polski serwis pogody pogoda.imgw.pl informuje, że w Polsce susze wpływające na środowisko naturalne i gospodarkę wystąpiły w latach: 1969, 1972, 1974-1976, 1982, 1984, 1988, 1994, 1996-1997 oraz 2005-2006. Potwierdzają to badania Bobińskiego, Meyera (1992, 1992), Bąka i Łabędzkiego (2002), Bartzaka (2014), Kubicz i Stodolaka (2017).

Okresowy niedobór opadów na danym terenie może przerodzić się w suszę. Według badań w ostatnich latach susza stała się jednym z największych zagrożeń naturalnych. Jest niezwykle złożonym zjawiskiem. Często do czasu wystąpienia skutków w środowisku i gospodarce człowieka nie zwraca się na nią uwagi. Wynika to z faktu, że susza jako zjawisko wielowymiarowe, w przeciwieństwie do innych zagrożeń hydroklimatycznych, nie podlega bezpośrednim pomiarom [Vicente-Serrano i in. 2016]. Według prowadzonych badań i obserwacji na skutek zmian klimatycznych, następuje zwiększanie się ilości obszarów dotkniętych suszą oraz wydłużanie się okresów suszy przy jednoczesnym wzroście intensywności [Blunden i in. 2011, Burke i in. 2006, Boczoń i in. 2016].

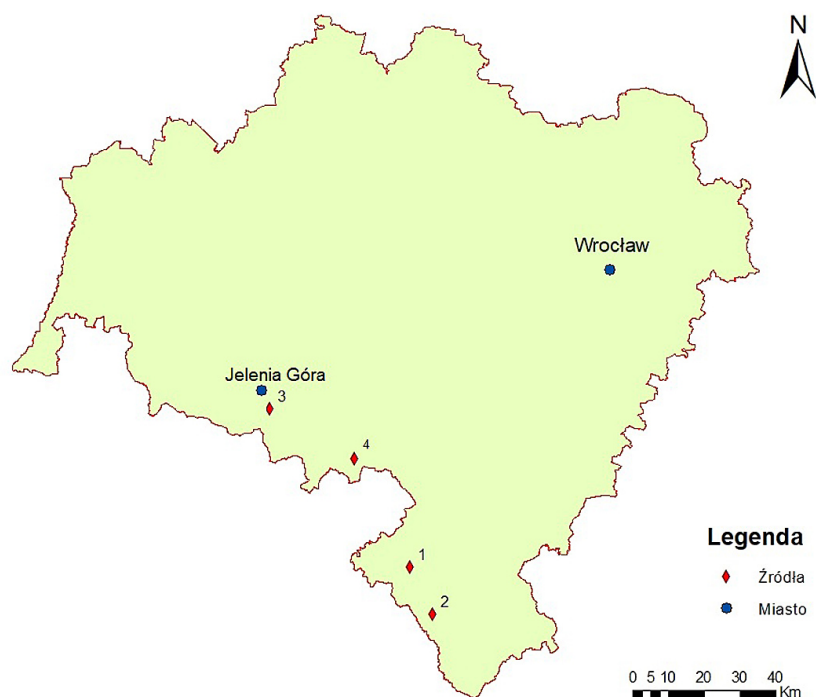
Okresowy niedobór opadów oraz wysokie parowanie powoduje wyczerpanie zasobów wody

znajdującej się w glebie. Następuje początek procesu wysychania gleby. W kolejnych okresach następuje spadek ilości wody w niższych warstwach, aż obniżeniu ulegnie poziom wody gruntowej. Gdy zasoby wody gruntowej nie są w odpowiednim tempie odnawiane infiltrującymi wodami opadowymi dochodzi do obniżenia poziomu wód w studniach oraz zmniejszenia dopływu wody do źródeł i cieków [Strzebońska-Ratomska 1994, Kubicz 2018].

Aby ocenić możliwe konsekwencje zmian klimatu, w kontekście dostępności zasobów wodnych, konieczne jest zrozumienie i opisanie zależności między czynnikami meteorologicznymi a warunkami hydrologicznymi. W niniejszej pracy podjęto próbę opisanie relacji między wydajnością źródeł w południowo-zachodniej Polsce a niedoborem opadów.

METODY BADAŃ

W badaniach wykorzystano dane z bazy Państwowego Monitoringu Środowiska. Pomiary wydajności źródeł wykonane zostały przez pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB, natomiast opadu przez pracowników Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – IMGW. Do analiz wykorzystano dane z lat 1987–2015. Położenie punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1, a ich charakterystykę w tabeli 1.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych
Fig. 1. Localization of measurement points

Tabela 1. Charakterystyka wybranych źródeł**Table 1.** Information about selected springs

Lp.	Położenie		Rz. terenu (m n.p.m.)	Stratygrafia	Litologia	Typ ośrodka
	Miejscowość	Gmina				
1	Szczytna	Szczytna	478	K2	margle	porowo-szczelinowy
2	Młoty	Bystrzyca Kłodzka	521	K2	margle	porowo-szczelinowy
3	Kowary	Kowary	542	C3	granity	porowo-szczelinowy
4	Kowalowa	Mieroszów	626	P1+2	tufity+tufy	porowo-szczelinowy

Źródła 1 – Szczytna, 2 – Młoty, 4 – Kowalowa położone są w makroregionie Sudety Środkowe, źródło 3 – Kowary w makroregionie Sudety Zachodnie [Kondracki 2011]. Zgodnie z podziałem na regiony hydrogeologiczne według Paczyńskiego i Sadurskiego (2007) znajdują się na obszarze prowincji górskiej, w regionie sudeckim (XIV).

Wydajność źródeł została oceniona na podstawie średnich miesięcznych wartości, obliczonych z cotygodniowych pomiarów wykonanych metodą naczyń przelewowych. Zgodnie z wytycznymi Mailleta [Kowalski 2007] wydajność źródła 1 oceniono jako mało zmienną, 2 i 3 zmienną, a 4 bardzo zmienną.

Jako wskaźnik niedoboru opadów zastosowano często wykorzystywany w podobnych badaniach wskaźnik SPI (Standardized Precipitation Index) [Łabędzki, Bąk 2002, Kumar i in. 2016, Barker i in. 2016, Kubicz 2018]. Jest to wskaźnik opisujący wielkość odchylenia wartości opadu od mediany w badanym wieloleciu. Klasyfikacji warunków opadowych dokonano według 9-stopniowej skali zgodnie z wytycznymi McKee i in. (1993). Wskaźnik SPI obliczono zgodnie z równaniem:

$$SPI = \frac{f(X) - \mu}{\delta} \quad (1)$$

gdzie: $f(X)$ – znormalizowana wartość opadu zmierzonego,

μ – średnia wartość znormalizowanego ciągu opadów,

δ – odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu opadów.

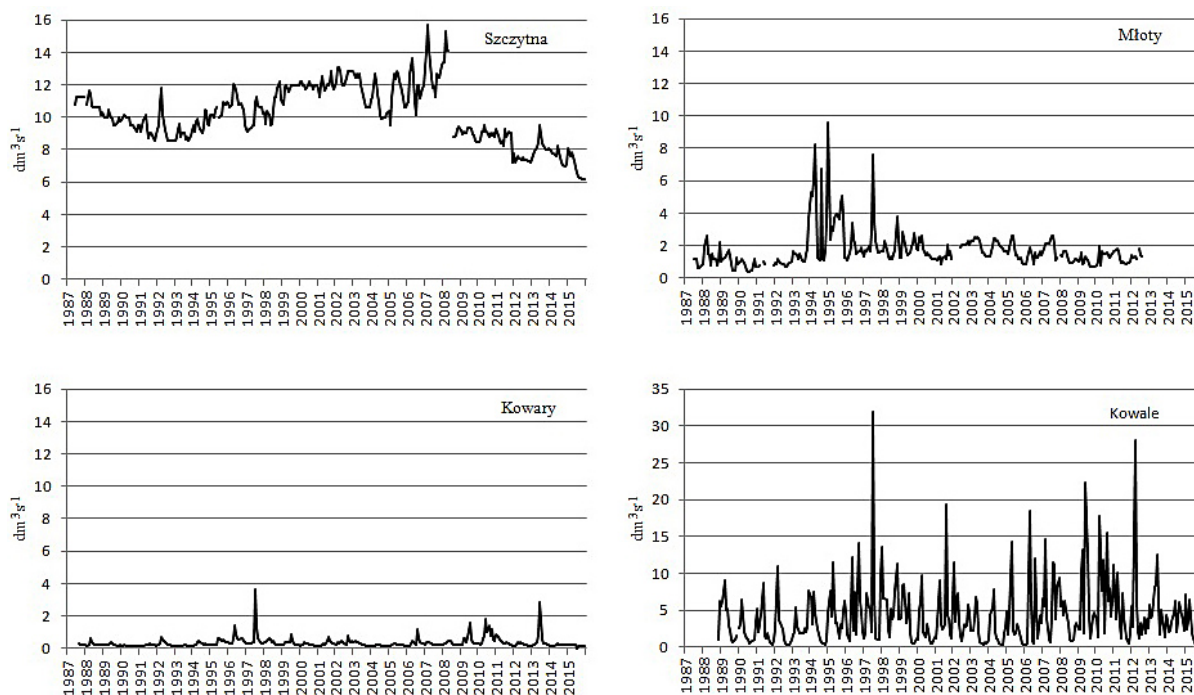
Na podstawie wartości SPI dokonano oceny niedoboru opadów co miesiąc w poprzedzających okresach 1-, 3-, 6-, 12-, 24- i 48-miesięcznych. SPI dla okresu 1-6 miesięcy wykorzystano do wyznaczenia krótkotrwałych lub sezonowych niedoborów, SPI dla 12 miesięcy wielomiesięcznych (średnioterminowych), SPI dla 24-48 miesięcy kilkuletnich (długoterminowych) [Łabędzki, Bąk 2013].

WYNIKI

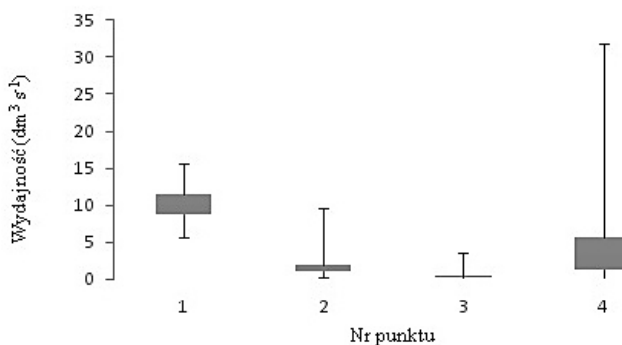
Wykresy zmienności wydajności badanych źródeł przedstawiono na rysunku 2 a wartości podstawowych miar statystycznych na rysunku 3. Stwierdzono sezonową zmienność wydajności, związaną z rytmem hydrologicznym oraz zmienność losową, generowaną przez wystąpienie sytuacji ekstremalnych np. opady nawalne, długookresowy brak opadów. Zwraca się uwagę, że na wydajność źródeł wpływają również inne czynniki nie tylko meteorologiczne, niepodlegające ocenie w niniejszej pracy. Maksymalną amplitudę w wieloleciu, na poziomie ponad $31 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, wykazał punkt 4 Kowalowa. Wysoka wartość amplitudy wydajności źródła w tej miejscowości jest spowodowana wystąpieniem maksimum w 1997 roku, w okresie powodzi tysiąclecia. W 2015 roku wystąpił wyraźny spadek wydajności źródeł. W tym roku w całej Polsce, suszę zanotowano już na wiosnę, kiedy w wielu regionach kraju wystąpiły znaczne niedobory opadów zimowych i wiosennych. Intensywność suszy była zwiększona przez wyższą od średniej wieloletniej temperaturę powietrza [Łabędzki, Bąk 2002]. Te czynniki miały wpływ na niedobór wody w poziomie wód podziemnych zasilających opisywane źródła.

Wskaźnik SPI najniższe jednocześnie ujemne wartości osiągnął w latach 1990-1991, 1993, 1997, 2003-2004, 2015 (rys. 4). Najczęstsze były niedobory opadów o okresie kumulowania 1-6 miesięcy. Stwierdzone zostały między kwietniem a październikiem oraz na przełomie grudnia i stycznia. Niedoborów długoterminowych nie zaobserwowano.

Rysunek 5 ilustruje wartości współczynnika korelacji R między wydajnością badanych źródeł i seriami SPI dla stacji meteorologicznej Jelenia Góra, obliczonych dla kumulowanych okresów od 1 do 48 miesięcy. Maksymalna obliczona korelacja wynosiła 0,46. Zależność na tym poziomie wstąpiła między SPI-6 a wydajnością źródła w Kowarach (punkt nr 3). W punktach obserwacyjnych w Szczytnej (nr 1) i Młotach (nr 2) rów-



Rys. 2. Zmienność wydajności wybranych źródeł
 Fig. 2. Variability of discharge selected springs

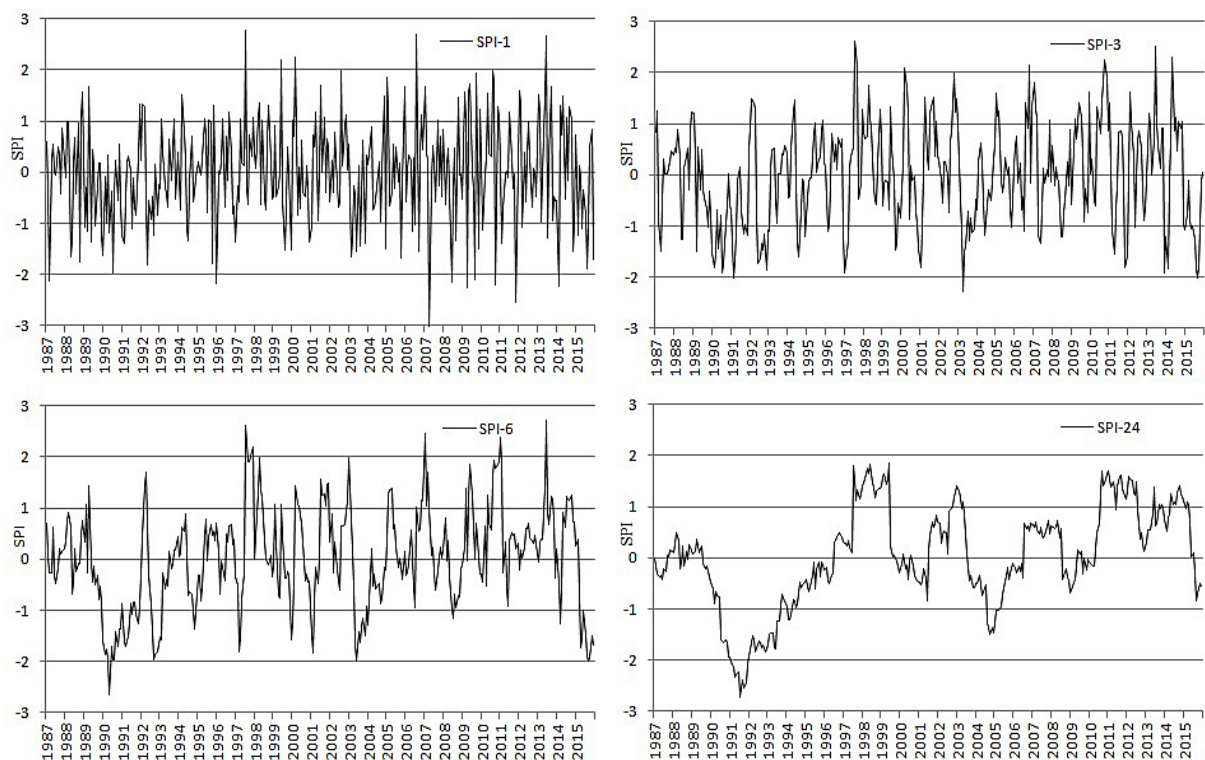


Rys. 3. Podstawowe miary statystyczne wydajności wybranych źródeł (maksimum, minimum, kwantyle 1,3)
 Fig. 3. Basic statistical measures of discharge (maximum, minimum, quarter 1,3)

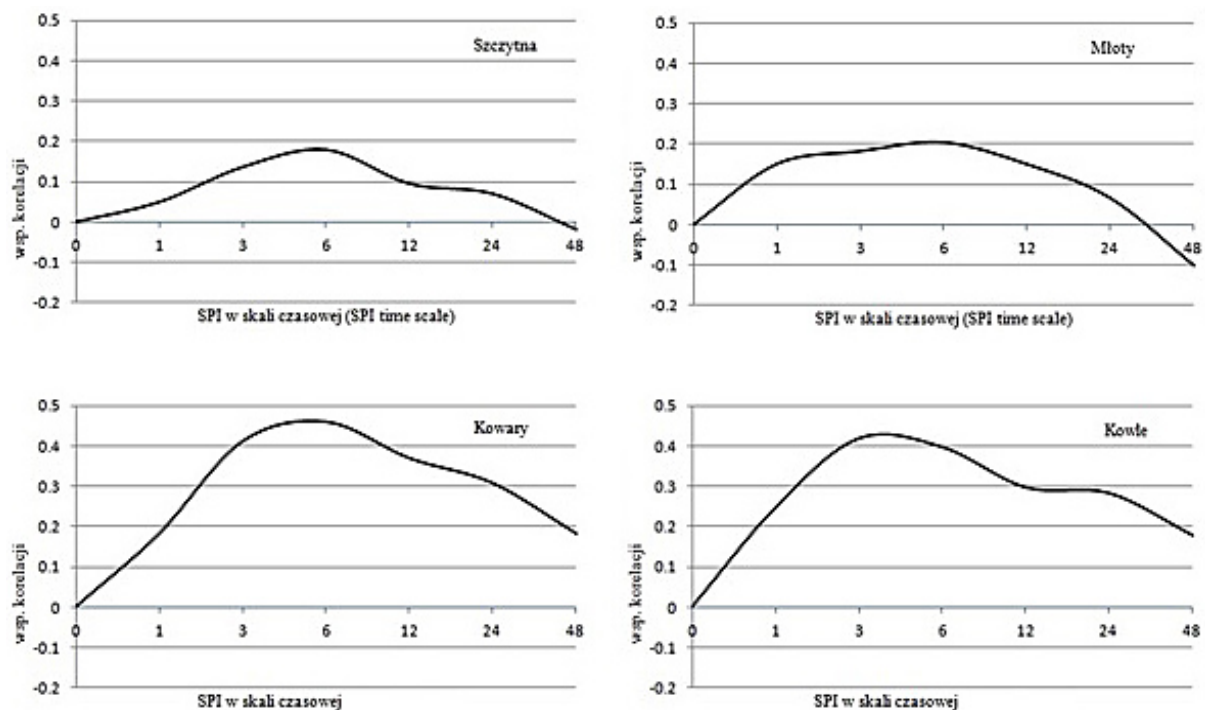
niez najwyższa korelacja charakteryzowała zależność między wydajnością a wskaźnikiem suchości obliczonym dla 6 miesięcy. Współczynnik R w tych przypadkach osiągał wartość około 0,2. W punkcie Kowalowa (nr 4) maksymalna wartość korelacji wystąpiła dla SPI-3 i wydajności źródła. Znajdowała się na poziomie 0,42. Oznacza to szybszą reakcję tego źródła na niedobór opadów. Wydajność źródeł w Szczytnej i Młotach wykazała ujemną korelację ze wskaźnikiem SPI przy najdłuższych okresach obliczeniowych.

Analiza z uwzględnieniem sezonów wykazała największy stopień zależności między wydajnością a wskaźnikiem SPI w okresie między czerwcem a grudniem (przykład wykresu wynikowego zamieszczono na rys. 6). Szczególnie było to wi-

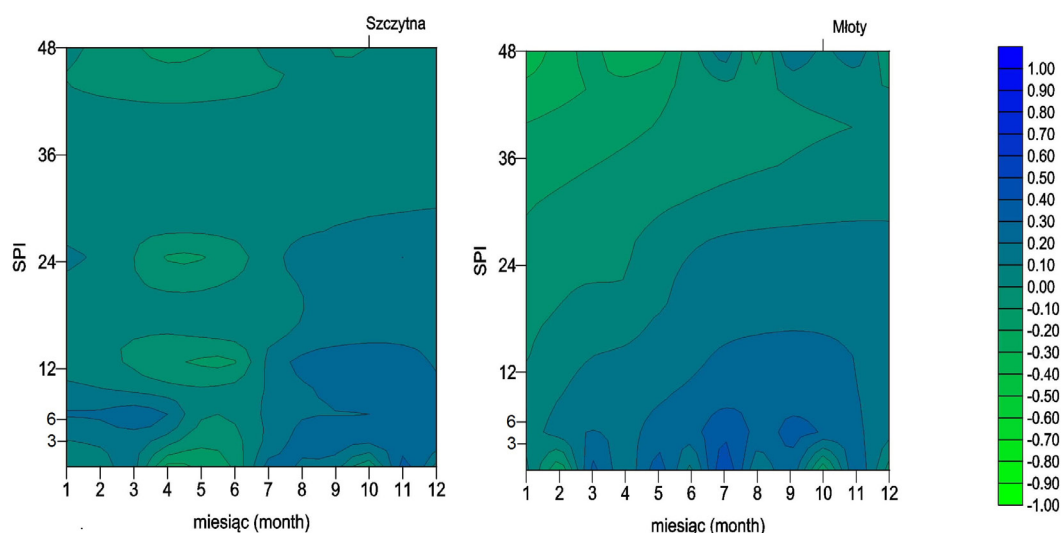
doczne dla niedoborów, na które wskazał wskaźnik SPI-3 i SPI-6. Biorąc pod uwagę pojedyncze miesiące w punktach nr 2, 3, 4 najwyższy stopień zależności wystąpił w lipcu. W miesiącach wiosennych, w kwietniu i maju, stwierdzono niski poziom relacji wydajności źródeł w miejscowości Szczytna (nr 1) i Kowalowa (nr 4) z niedoborami krótkookresowymi oraz długookresowymi (o długości ponad 24 miesiące). Wydajność źródła w miejscowości Młoty (nr 2) wykazała ujemny współczynnik korelacji dla najdłuższych okresów bezopadowych od stycznia do maja. Z kolei w Kowarach (nr 3) ujemne wartości współczynnika R charakteryzowały zależność między SPI-1 oraz wydajnością w okresie od stycznia do kwietnia oraz w październiku.



Rys. 4. Wykres zmienności SPI w różnych skalach czasowych dla stacji meteorologicznej Jelenia Góra
 Fig. 4. Plots of SPI in different time series for Jelenia Góra meteorological station



Rys. 5. Współczynnik korelacji między wydajnością źródeł a wartością wskaźnika SPI w różnych skalach czasowych
 Fig. 5. Correlation coefficients between discharge and SPI values in different time series



Rys. 6. Współczynnik korelacji między średnią miesięczną wydajnością źródeł a miesięczną wartością wskaźnika SPI w różnych skalach czasowych (1–48 miesięcy) – przykład

Fig. 6. Correlation coefficients between monthly discharge and monthly SPI values in different time series (1–48 months) – example

WNIOSKI

Wyniki pomiarów wydajności źródeł wykazały największy jej spadek związany z niedoborem opadów w 2015 roku. Mniejsze spadki wydajności zanotowano również w innych okresach, co było związane z sezonową i losową zmiennością opadów.

W trzech punktach badawczych najwyższy poziom reakcji stwierdzono w przypadku wydajności i niedoborów opadów o okresie kumulowania 6 miesięcy (SPI-6). W miejscowości Kowalowa największy stopień korelacji wystąpił pomiędzy wydajnością a SPI-3. Co wskazuje na szybszą reakcję źródła na brak zasilania infiltracyjnego z opadów niż w pozostałych punktach. Największą reakcję na niedobór opadów o okresie kumulowania 3–6 miesięcy zauważono w okresie od czerwca do grudnia. W miesiącach wiosennych poziom zależności był zdecydowanie niższy. Niskie wartości współczynnika korelacji między badanymi zmiennymi nie wskazują na brak zależności a na fakt, że na wydajność źródeł mają wpływ inne czynniki niezależne od opadów.

LITERATURA

- Barker L.J., Hannaford J., Chiverton A., Svensson C. 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences*. 20, 2483-2505.
- Bartczak A., Glazik R., Tyszkowski S. 2014. Identyfikacja i ocena intensywności okresów suchych we wschodniej części Kujaw. *Nauka Przyroda Technologie* 8,4#46, 1-22.
- Bąk B., Łabędzki L. 2002. Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardised precipitation index (SPI). *J. Water Land Dev.* 6, 29–49.
- Blunden J., Arndt D. 2011. Baringer M. State of the Climate in 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92 (6).
- Bobiński E., Meyer W. 1992. Drought in Poland in the years 1982–1992. A hydrologic assessment. *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej* 15(4).
- Bobiński E., Meyer W. 1992. Hydrologic drought in the years 1989–1992 in Poland against the years 1982–1992. *Gospodarka Wodna* 12.
- Boczoń A., Kowalska A., Didzińska M., Wrobel M. 2016. Drought in Polish Forests in 2015. *Polish Journal of Environmental Studies* 25 (5), 1857.
- Burke E.J., Brown S.J., Christidis N. 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. *Journal of Hydro-meteorology* 7 (5), 1113.
- Kondracki J. 2011. *Geografia regionalna Polski*. PWN.
- Kowalski J. 2007. *Hydrogeologia z podstawami geologii*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego.
- Kubicz J. 2018. Metoda tlm oraz wskaźnik sgi jako wyznaczniki suszy w wodach gruntowych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 17(1), 127–136.

12. Kubicz J. 2018. The application of Standardized Precipitation Index (SPI) to monitor drought in surface and groundwaters. In E3S Web of Conferences 44, p. 00082. EDP Sciences.
13. Kubicz J., Stodolak, R. 2017. Metoda obrazowania niskich stanów wód podziemnych w przestrzeni jednolitych części wód podziemnych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 26 (1), 15-27.
14. Kumar R., Musuuza J.L., Van Loon A.F., Teuling A.J., Barthel R., Ten Broek J., Mai J., Samaniego L., Attinger S. 2016. Multiscale evaluation of the standardized precipitation index as a groundwater drought indicator. *Hydrology and Earth System Sciences* 20, 1117-31.
15. Łabędzki L., Bąk B. 2013. Monitoring i prognozowanie przebiegu i skutków deficytu wody na obszarach wiejskich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2/1.
16. Łabędzki L., Bąk B. 2002. Monitoring of droughts using the standardized precipitation index SPI. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 2(5), 9.
17. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc. 8th Conf. Applied Climatology*. 179-184.
18. Pachauri R. K., Meyer L. A. 2014. IPCC: climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change.
19. Paczyński B., Sadurski A. 2007. *Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I. Wody słodkie*. PIG.
20. Strzebońska-Ratomska B. 1994. *Metodyka oceny intensywności i zasięgu suszy hydrologicznej Cz. I. Susza hydrologiczna na Podkarpaciu w latach 1961-1990*. *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 17(4), 15-41.
21. www.posucha.imgw.pl
22. Vicente-Serrano S.M. 2016. Foreword: drought complexity and assessment under climate change conditions. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 42 (1), 7-11.