

Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i ich odzwierciedlenie w stanach wód podziemnych (przykłady z Dolnego Śląska)

Stanisław Staśko¹, Robert Tarka¹, Sebastian Buczyński¹

Extreme weather events and their effect on the groundwater level. Examples from Lower Silesia. Prz. Geol., 65: 1244–1248.

Abstract. This article presents the impact of meteorological and hydrologic droughts on the groundwater level (so-called hydrogeological drought) based on selected examples from Lower Silesia (SW Poland). The reduction in discharge rate and size in springs, and the duration of low stages in relation to the selected river flows are presented. Groundwater level fluctuations in shallow and deeper aquifers are discussed. The study shows the length of delayed reaction of groundwater in deeper aquifers levels. Examples of effects due to flooding by surface water on the position of groundwater levels in river valleys are presented. Description of the reaction in groundwater, in terms of temporal and spatial extent, is also given. Both periods of hydrogeological drought and flooding events create significant problems for rational water management, especially in the areas of water intakes for individual, rural and large agglomerations.

Keywords: meteorological and hydrogeological drought, spring's reaction, low groundwater level

Cechą klimatu Polski jest okresowe występowanie niedoboru lub nadmiaru opadów przejawiające się w postaci susz lub powodzi, których bezpośrednim skutkiem są zakłócenia naturalnego bilansu wodnego. Te ekstremalne zdarzenia występują w różnych porach roku (przeważnie w półroczu letnim), co kilka lat. Utrzymujące się przez dłuższy czas niskie opady prowadzą do wystąpienia suszy atmosferycznej, a następnie glebowej i hydrologicznej (Tallaksen, Lanen, 2004; Kowalczyk, 2016). Opady ulewne lub nawalne skutkują natomiast lokalnymi podtopieniami lub powodzią o zasięgu terytorialnym (Stachy, Bogdanowicz, 1997; Fal i in., 2010; Migoń, 2010; Dubicki, 2012). Rozkład opadów atmosferycznych i ich ekstremalne wartości wywołują istotne zmiany zarówno w przepływach rzek, jak i w stanach wód podziemnych.

Zagadnienia niskich stanów wód podziemnych, lub inaczej niżówki hydrogeologicznej oraz powodzi znajdują opis w wielu opracowaniach (Dubicki, 2002; Tarka, Staśko, 2010; Buczyński, Wcisło, 2013; Gurwin, 2014, 2015; Sadurski, 2015). Zgodnie z ogólnie panującymi poglądami susze atmosferyczne i glebowe mogą być zahamowane i złagodzone niewielkimi opadami, natomiast susza hydrologiczna, a tym bardziej hydrogeologiczna trwa na ogół długo, nawet kilka sezonów, gdyż odbudowa zasobów wodnych wymaga obfitych oraz długotrwałych opadów deszczu, a przede wszystkim śniegu (Sasim, Mierkiewicz, 2005). Celem tej publikacji jest określenie charakteru reakcji źródeł w okresach posusznych oraz stanów zwierciadeł wód podziemnych w okresach powodziowych. Odzwierciedlenie ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych w stanach wód podziemnych przeprowadzono na podstawie analizy reżimu wydajności źródeł wahań zwierciadła wód podziemnych w piezometrach.

METODYKA

W artykule przeanalizowano informacje o wielkości i zmienności opadów atmosferycznych oraz zmiany wydajności źródeł i stanów wód podziemnych. Informacje na temat wysokości opadów atmosferycznych pochodziły z czterech reprezentatywnych posterunków meteorologicznych należących do sieci obserwacyjno-pomiarowej IMGW (Wrocław, Kłodzko, Jelenia Góra, Śnieżka). Do analizy włączono dane z lat 1985–2015 z posterunków zlokalizowanych w województwie dolnośląskim, położonych na różnych wysokościach (118–1602 m n.p.m.). Ocenę warunków opadowych oparto na wskaźniku standaryzowanego opadu (Standardised Precipitation Index; SPI), który może być stosowany w różnych warunkach klimatycznych i dowolnych skalach czasowych (McKee i in., 1995).

Zmiany wydajności źródeł w okresach niskich opadów i zasilania omówiono na podstawie danych pochodzących z posterunków pomiarowych państwowej służby hydrogeologicznej (PSH). Posiadany materiał jest niestety niejednorodny, a w obserwacjach występują dłuższe lub krótsze okresy braku pomiarów, dlatego też po weryfikacji danych do szczegółowej charakterystyki wybrano źródła 625, 656, 657, 661, 664 i 685 (ryc. 1). Ponadto w przypadku źródła 664 obserwacje zakończono w 2011 r. Do analizy zastosowano wskaźnik kn stosowany obecnie przez PSH (Sadurski, 2015). Wskaźnik ten odzwierciedla niżówkę wód podziemnych podczas suszy hydrologicznej i nie wymaga modyfikacji regionalnej. Na jego podstawie możliwe jest tworzenie map zróżnicowania przestrzennego wskaźnika zagrożenia niżówką hydrogeologiczną. Znajduje on również zastosowanie dla prognoz, klasyfikacji podatności i identyfikacji suszy hydrogeologicznej (Gurwin, 2014, 2015).

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; stanislaw.stasko@uwr.edu.pl.

Pomiary w sieci obserwacyjnej ujęcia infiltracyjnego miasta Wrocławia prowadzone są w cyklu miesięcznym, natomiast w punkcie PSH w cyklu tygodniowym. Reakcję zwierciadła wód podziemnych na wysokie opady i falę powodziową z 1997 r. przeanalizowano na podstawie danych z dwóch czwartorzędowych piezometrów sieci obserwacyjnej MPWIK Wrocław (piezometr IV/2 zlokalizowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki Oławy, piezometr IV/12 położony jest w centrum ujęcia) i punktu PSH 627/II Iwiny położonego na południe od Wrocławia w gminie Święta Katarzyna monitorującego zwierciadło wód podziemnych formacji neogenu.

WYNIKI

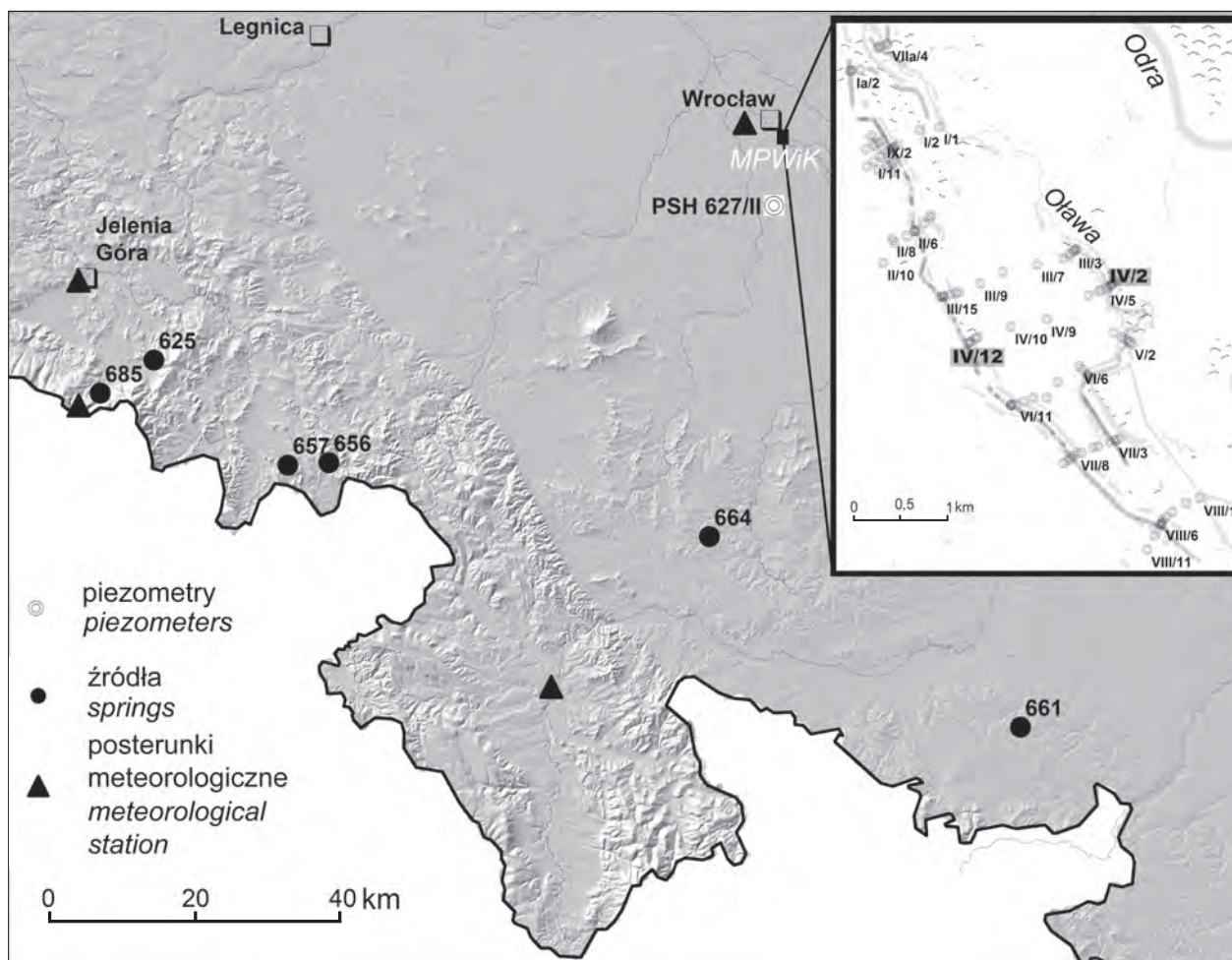
Zmiany rozkładu opadów atmosferycznych

Analiza rozkładu opadów atmosferycznych z 31-lecia (1985–2015) wykazała kilkukrotne występowanie okresów o opadach znacznie odbiegających od średniej wieloletniej (ryc. 2). Od połowy lat 80. XX w. w Sudetach zaobserwowano trzy wyraźne okresy suszy meteorologicznej występujących w latach 1989–1994, 2003–2005 i 2014–2015. Odnotowano również odchylenia od opadu normalnego w latach

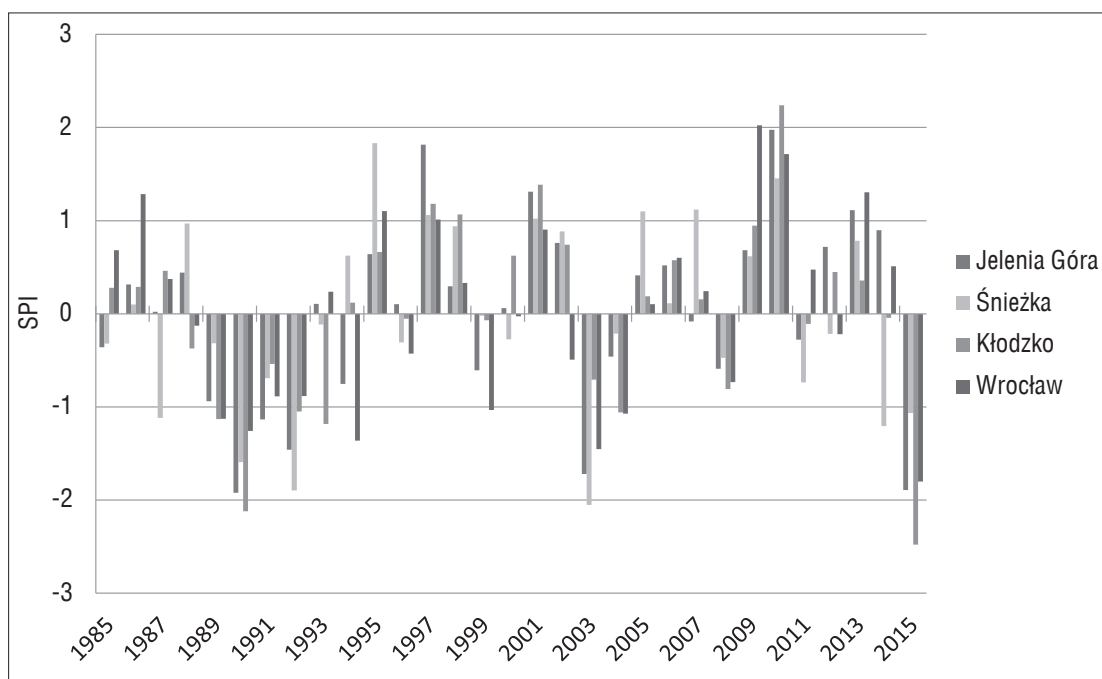
1999–2000 i 2007–2008. W tych ostatnich przypadkach obniżenie sum opadów ma charakter okresowy i przypada głównie na okresy letnie. Latami bardzo suchymi lub ekstremalnie suchymi ($SPI \leq -1,5$) były lata 1990, 1992, 2003 i 2015, natomiast rokiem bardzo wilgotnym lub ekstremalnie wilgotnym ($SPI \geq 1,5$) był 2010 r. Rok 1997 pomimo jednej z najbardziej katastrofalnych powodzi na Dolnym Śląsku nie charakteryzował się ekstremalnie wysokimi opadami według SPI. Powódź ta została wywołana przez nawalne lipcowe deszcze, kiedy to na analizowanych posterunkach odnotowano najwyższe wartości SPI (od 2,1 do 3,0).

Reakcje źródeł na ograniczenie zasilania wód podziemnych

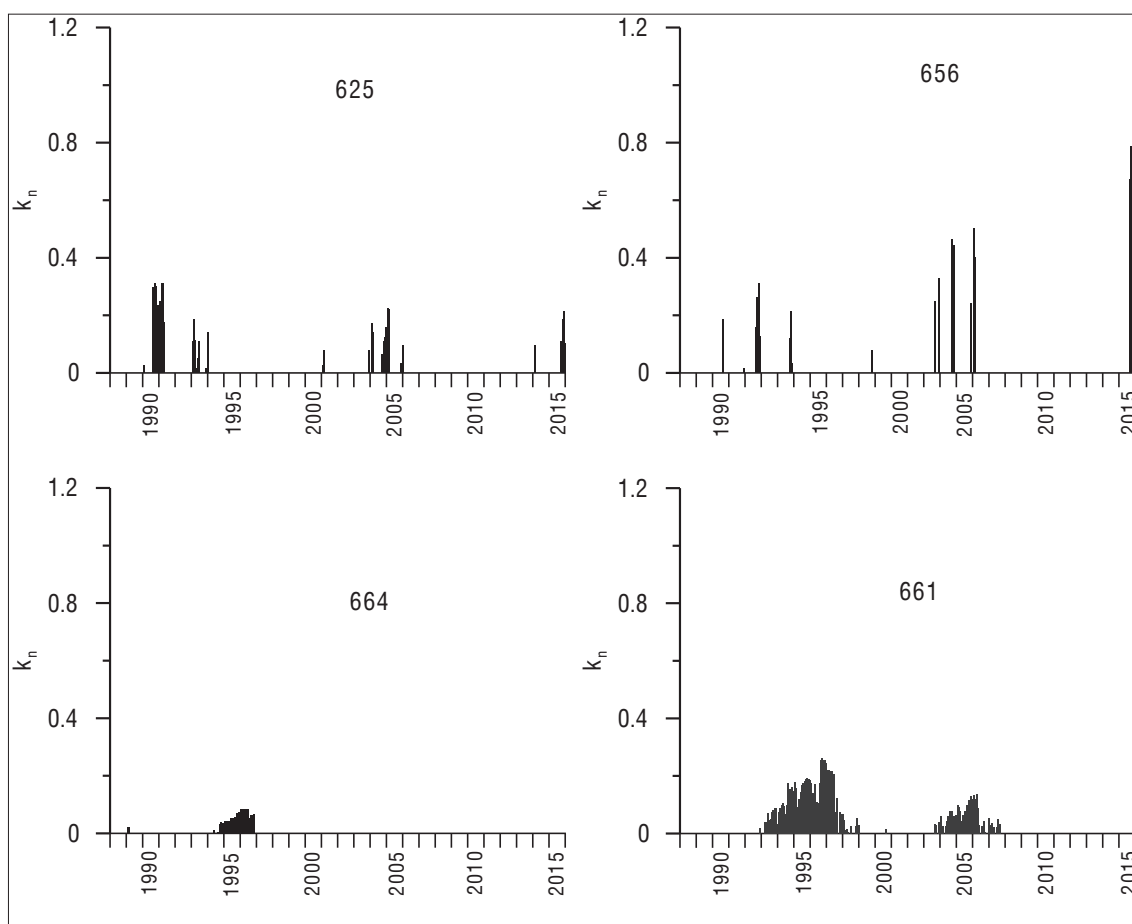
W płytkich poziomach wodonośnych wyraźnie zaznaczają się trzy reakcje na zmniejszone zasilanie, podczas gdy w głębszych poziomach wodonośnych wyraźnie odzwierciedla się tylko susza obejmująca lata 1989–1994 i w niektórych przypadkach z lat 2003–2005. Porównania wskazują, że na znaczące obniżenie się wydajności źródeł mają wpływ dopiero dłuższe okresy bezopadowe lub okresy zmniejszonych opadów (ryc. 3, źródła 625-Kowary, 656-Kowalowa). Mało intensywne susze, jak te z lat 1999–2000 i 2007–2008, tylko nieznacznie odzwierciedla-



Ryc. 1. Lokalizacja punktów badawczych
Fig. 1. Location of research points



Ryc. 2. Wskaźnik standaryzowanego opadu w latach 1985–2015
Fig. 2. Standardized Precipitation Index for 1985–2015



Ryc. 3. Zmiany wskaźnika suszy hydrogeologicznej dla wybranych źródeł (625, 656, 664, 661) i występowanie niżówki hydrogeologicznej w latach 1985–2015.
Fig. 3. Changes in the drought index for selected springs (625, 656, 664, 661) and the occurrence of hydrogeological drought in 1985–2015.

ją się w reakcji źródeł 657 i 685. Różny jest też przebieg niżówek w zależności od systemu przepływu. W głębokich poziomach wodonośnych przy długotrwałym niedoborze opadów atmosferycznych dochodzi do trwałego obniżenia wydajności źródeł (poniżej SNQ). W płytkich poziomach wodonośnych okresy niżówkowe są przerywane okresami wzrostu wydajności źródeł w okresach zwiększonego wiosennego zasilania (625, 656). Stąd w przypadku takich poziomów wodonośnych trudno jest nawet mówić o typowej suszy hydrogeologicznej, która z definicji powinna być długotrwała. Dlatego też suszą, w przypadku płytkich poziomów wodonośnych, określa się okres kiedy wydajności źródeł wielokrotnie i systematycznie spadają poniżej SNQ.

Obserwowane jest też wyraźnie przesunięcie reakcji źródeł na okresy posuszne. Zmiana wydajności źródeł drenujących płytkie poziomy wodonośne na zmniejszenie opadów jest praktycznie natychmiastowa, podczas gdy w przypadku źródeł drenujących głębsze poziomy wodonośne (661, 664) obserwuje się kilkumiesięczne a nawet roczne opóźnienie. Źródła drenujące wody płytkiego krążenia, związane z utworami krystalicznymi, wykazują złożony charakter reakcji. Różna pojemność wodna pokryw zwietrzelinowych i spękanego masywu odmiennie przejawia w kilkustopniowym przebiegu krzywych wysychania takich wypływów.

Badania w ekstremalnie suchym 2015 r. pozwalają określić zakres zmian wydajności w wybranych źródłach Sudeców (ryc. 3). Przy czym w przypadku źródeł nr 664 (Czerńczyce) i 661 (Rudziczki) zlokalizowanych w utworach czwartorzędowych wskaźnik niżówki ma niższą wartość i odnotowano jej występowanie jedno- lub dwukrotnie w omawianym okresie. Można to tłumaczyć dużą pojemnością skał zbiornikowych i dopływem wód z głębszych systemów.

Stany wysokie wód

Pomiary zwierciadła wód podziemnych w piezometrach IV/2 i IV/12 (ryc. 4) zlokalizowanych w północnej części ujęcia wykazały w pierwszym półroczu 1997 r. sta-

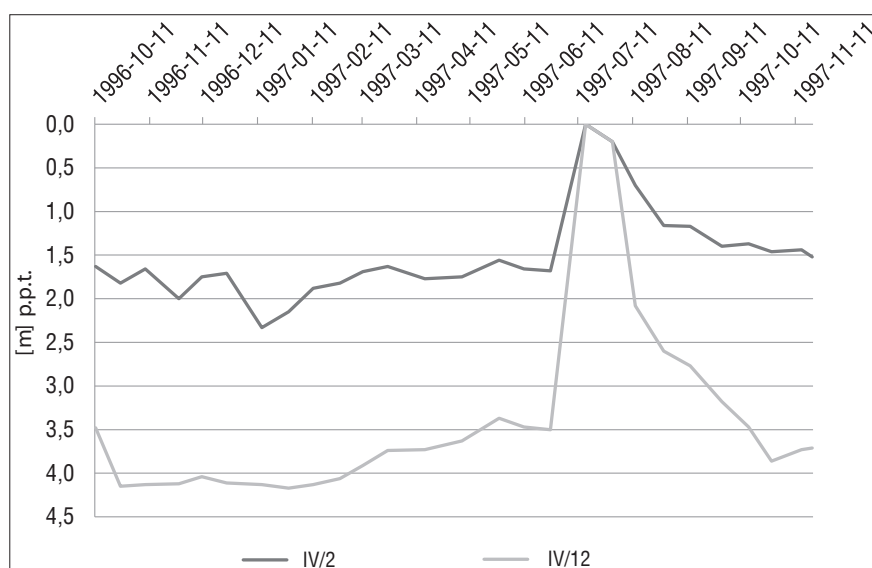
ny średnie na głębokości 1,97 m p.p.t. (IV/2) i 3,97 m p.p.t. (IV/12). Jak wykazują pomiary prowadzone od 12 sierpnia 1997 r. zwierciadło wód podziemnych zareagowało na wysokie opady i falę powodziową utrzymaniem się przez cztery letnio-jesienne miesiące stanów wód powyżej stanów średnich z okresu przed powodzią. Czas powrotu do stanów średnich wynosił 64 dni a tempo opadania zwierciadła odpowiednio 0,018 i 0,040 m/dobę. Drugi przykład stanowi zapis tych ekstremalnych opadów i stanów wód powierzchniowych w punkcie PSH 627/II Iwiny. W czasie powodzi w lipcu 1997 r. zwierciadło wód podziemnych bardzo szybko wzrosło o 1,6 m i wywołało samowypływ. Następnie w ciągu ok. 60 dni opadało do wartości ok. 1 m p.p.t.

DYSKUSJA

Przeprowadzone analizy wykazały, że źródła z różnym opóźnieniem i w różnym stopniu reagują na zmniejszone wielkości opadów atmosferycznych. Źródła drenujące płytkie poziomy wodonośne reagują bardzo wyraźnie i praktycznie natychmiast, podczas gdy w przypadku źródeł drenujących głębsze poziomy wodonośne spadki wydajności nie są tak wyraźne i następują z kilkumiesięcznym a nawet rocznym opóźnieniem. Staško i Buczyński (2017) również stwierdzili, że źródła o średnich i dużych wydajnościach (1,6–10,2 dm³/s), w zależności od punktu, wykazywały spadek wydatku w przedziale 2–32%. W przypadku wypływów o niższych wydajnościach zmiany były jeszcze większe (do 54%). Podobne reakcje odnotowano w Górach Bystrzyckich (skały krystaliczne) dla źródeł o niższych średnich wydajnościach 0,1–1,9 dm³/s (obniżenie wydajności wyniosło od 38 do 52%). Czas opóźnienia i trwania niżówek hydrogeologicznych wykazuje większe zróżnicowanie niż ma to miejsce w przypadku niżówek hydrologicznych. Najbardziej rozległa niżówka hydrologiczna była widoczna w 1992 r. w dopływach górnej i środkowej Odry. Długość trwania stanów niskich dochodziła do 185 dni na Małej Panwi. Jednak czas trwania niżówek dla większości dopływów Odry

mieści się w przedziale 32–61 dni (Dubicki, 2002). Niżówki hydrogeologiczne w płytszych poziomach wodonośnych mogą trwać od 120 do 180 dni lub, jak wykazano w trakcie obecnych badań, w przypadku głębszych poziomów nawet od 2 do 5 lat (źródło 661, 664). Opóźnienie wystąpienia niżówki hydrogeologicznej może wynieść nawet 830 dni (Tarka, Staško, 2010).

Wysokie opady atmosferyczne i przejście fali powodziowej przez Wrocław wywołało w 1997 r. wzrosty zwierciadeł wód podziemnych w utworach czwartorzędowych i neogenu sięgające 1,6 m. Analogiczne zjawisko zaobserwowano trakcie powodzi o mniejszym zasięgu (maj/czerwiec 2010) w rejonie Brzegu–Malczyca i rzeki Średzkiej Wody (Chalfen i in.,



Ryc. 4. Głębokość zwierciadła wód podziemnych w piezometrze IV/2 i IV/12
Fig. 4. Depth to the groundwater table in piezometers IV/2 and IV/12

2012). Zjawisko to zaznaczyło się na tym obszarze znacznym przyrostem stanów wód powierzchniowych wynoszącym 6,6 m w Brzegu i ok. 4,3 m w Malczycach. Jak podają autorzy w pasie blisko 1000 m od rzeki Odry, gdzie miąższość sepii wodonośnej dochodzi do 20 m, obserwowano wzrost poziomu zwierciadła wód podziemnych rzędu 0,25–2,5 m. Piezometry położone najbliżej Odry wykazały wzrost zwierciadła wody o 1,45 m w ciągu ok. 90 dni. Dalej położone punkty pomiarowe wykazywały wzrost zwierciadła wód podziemnych o 1,25–0,25 m. Okres powrotu zwierciadła do stanów średnich wysokich wynosił ok. 65 dni. Z kolei Żurek (2011), prowadząc obserwacje na stanowisku badawczym AGH w Krakowie odległym od 1300 m od brzegów Wisły, interpretuje niewielki wzrost zwierciadła o 0,45 m w czasie powodzi 2010 r. jako efekt zablokowania odpływu podziemnego do rzeki. Przyrost stanu wody w Wiśle w tym okresie był znaczny, gdyż przekraczał 6 m. Podobne wyniki w zakresie wpływu piętrzenia wody w zbiorniku retencyjnym Mietków pomierzono w latach 1996–1998. Stwierdzone przyrosty stanów wód podziemnych mieściły się w zakresie 0,6–2,5 m i sięgały odległości blisko 200–800 m od zapór zbiornika (Kryza i in., 1995).

WNIOSKI

Susze meteorologiczne i hydrologiczne stwierdzone w latach 1989–1994, 2003–2005 i 2014–2015 skutkowały obniżeniem położenia zwierciadła wód podziemnych oraz spadkiem wydajności źródeł. Źródła z różnym opóźnieniem i w różnym stopniu reagowały na zmniejszone wielkości opadów atmosferycznych. Spadki wydajności średnich źródeł w roku ekstremalnie suchym mogą wynieść nawet 54% w odniesieniu do roku o normalnych warunkach opadowych. Nie stwierdzono zaniku wypływów w obserwowanych punktach. Dodatkowo niżówki hydrogeologiczne trwają dłużej i występują z większym opóźnieniem niż niżówki hydrologiczne. Względnie szybko zaznaczają się one w płytkich poziomach wodonośnych, natomiast w głębszych poziomach reakcja może zachodzić nawet z opóźnieniem 880 dni.

Z kolei stany powodziowe na Dolnym Śląsku odzwierciedlają się szybkimi reakcjami zwierciadła wód podziemnych (do 64 dni) w pasie do 1 km od brzegów rzek. Reakcje

te są zależne od przewodności osadów korytowych, wielkości spiętrzenia wód powierzchniowych i wielkości odpływu podziemnego.

LITERATURA

- BUCZYŃSKI S., WCISŁO M. 2013 – Predicting climate-induced changes in groundwater resources on the basis of hydrogeological model research: Case study of the Carpathian flysch belt). *Episodes*, 36 (2): 105–114.
- CHALFEN M., GLUCHOWSKA B., PŁYWACZYK L. 2012 – Assessment of the impact of the Odra River water level on groundwater levels in Rzeszyca region. *Stud. Geoetech. Mech.*, 34 (2): 3–17.
- DUBICKI A. (red.) 2002 – Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy. Wyd. IMGW, Warszawa.
- DUBICKI A. 2012 – Minutowy przebieg powodzi – stany i opady. [W:] Sobota J. (red.), 15 lat po powodzi na Dolnym Śląsku. Centrum Modelowania Procesów Hydrologicznych, Wrocław: 7–32.
- FAL B., BOGDANOWICZ E., CZERNUSZENKO W., DOBRZYŃSKA I., KOCZYŃSKA A. 2000 – Przepływy charakterystyczne głównych rzek Polski w latach 1951–1995. Wyd. IMGW, Warszawa.
- GURWIN J. 2014 – Long-term monitoring and GIS based determination of groundwater drought propagation, the Lower Silesia region, SW Poland. *Episodes*, 37 (3): 172–181.
- GURWIN J. 2015 – Możliwości identyfikacji suszy hydrogeologicznej w oparciu o monitoring modelowanie GIS na przykładzie regionu Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 738–742.
- KOWALCZYK A. 2016 – Niżówka hydrogeologiczna – przyczyny i skutki. [W:] XXI Konferencja naukowo-techniczna „Aktualne rozwiązania ujmowania i eksploatacji wód podziemnych”, Częstochowa. *Technologia Wody*, 5: 4–10.
- MIGOŃ P. (red.), 2010 – Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku. *Rozpr. Nauk. IGiRR UW*, 14.
- KRYZA H., KRYZA J., LIMISIEWICZ P., POPRAWSKI L., STAŚKO S., TARKA R. 1995 – Warunki Hydrogeologiczne wokół zbiornika retencyjnego Mietków w zlewni rzeki Bystrzyca i ich zmiany na skutek antropopresji. *Acta Univ. Wratislav., Pr. Geol.-Miner.*, 35.
- MCKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J. 1995 – Drought monitoring with multiple time scales. [W:] Preprints of 9th Conf. of Applied Climatology, 15–20 January, Dallas, Texas: 233–236.
- SADURSKI A. (red.), 2015 – Rocznik Hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2014. PIG-PIB, Warszawa.
- SASIM M., MIERKIEWICZ M. 2005 – Susza w 2003 roku. *Gazeta Obserwatora IMGW* 1.
- STACHY J., BOGDANOWICZ E. 1997 – Przyczyny i przebieg powodzi w lipcu 1997 r. *Gospodarka Wodna*, 11: 344–350.
- TALLAKSEN L.M., LANEN H.A.J. 2004 – Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for streamflow and Groundwater, Developments in Water Science, 48, Elsevier, Amsterdam.
- TARKA R., STAŚKO S. 2010 – Wahania zwierciadła wód podziemnych jako odzwierciedlenie ekstremalnych sytuacji pogodowych. [W:] Migoń P. (red.), Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku. *Rozpr. Nauk. IGiRR UW*, 14: 241–256.
- ŻUREK A. 2011 – Możliwości interpretacji naturalnych wahań zwierciadła wód gruntowych na podstawie pomiarów ze stanowiska badawczego na terenie AGH w Krakowie. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445: 753–762.