

NIESTABILNOŚĆ WARTOŚCI PARAMETRÓW NIŻÓWEK HYDROGEOLOGICZNYCH

INSTABILITY OF PARAMETERS OF LOW GROUNDWATER LEVEL PERIODS

AGNIESZKA KOWALCZYK¹

Abstrakt. W pracy poruszono zagadnienia zmienności wartości parametrów naturalnie występujących okresów niskich stanów wód podziemnych. Zbadano stabilność wybranych charakterystyk niżówek hydrogeologicznych w czasie i w profilu pionowym – w kolejno zalegających poziomach wodonośnych. Wykorzystano w tym celu dane o położeniu zwierciadła wód z wybranych stacji sieci obserwacyjno-badawczej Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego z lat 1979–2018. W poszczególnych otworach badawczych w różnych krokach czasowych, wynoszących od 10 do 20 lat, wykazano dużą niestabilność wartości parametrów niżówek hydrogeologicznych, takich jak: maksymalny i średni czas trwania zjawiska, liczba zdarzeń czy częstość osiągnięcia stanu niższego niż stan średni niski. Ponadto we wszystkich analizowanych stacjach pierwszego rzędu, gdzie monitoring obejmował więcej niż jeden poziom wodonośny, stwierdzono, że wartości badanych parametrów różniły się od siebie w zależności od obserwowanego poziomu wodonośnego. Lokalne uwarunkowania hydrogeologiczne powodowały, że czas niżówek w głębszych poziomach wydłużał się albo skracał w stosunku do pierwszego poziomu wodonośnego. Uzyskane wyniki świadczą o bardzo zróżnicowanej wrażliwości na suszę poszczególnych, badanych warstw wodonośnych.

Słowa kluczowe: niżówka hydrogeologiczna, niskie stany wód podziemnych, susza, okres analizy, zwierciadło wód podziemnych, fluktuacje długookresowe.

Abstract. The study concerns instability of parameters of low groundwater level periods in time and space – in subsequent water-bearing layers. Based on the data collected from selected observation stations of the Polish Geological Institute – National Research Institute between 1979 and 2018, time series of groundwater levels were examined to test the maximum and average duration of low groundwater level periods, total number of continuous events, and the frequency of reaching a lower groundwater level than the average low level. The instability of parameters at various time steps ranging from 10 to 20 years is demonstrated. Furthermore, in each tested first-order station, where various water-bearing layers at different depths were monitored simultaneously, the values of all tested parameters varied depending on the observed layer. The duration of low groundwater periods in deeper water-bearing layers can be either longer or shorter than in the case of the first horizon and depends on local hydrogeological conditions.

Key words: low groundwater levels, drought, period of analysis, groundwater level, long-term fluctuations.

WSTĘP

Badanie naturalnie uwarunkowanych okresów niskich stanów wód podziemnych jest ważnym zagadnieniem. W wielu krajach i miejscach na Ziemi woda podziemna stanowi główne źródło zaopatrzenia ludzi w wodę. Wiąże się z tym potrzeba identyfikacji zjawiska suszy i monitorowania stopnia jego natężenia w tej części hydrosfery. Jak wynika

z prognoz klimatycznych, jest wysoce prawdopodobne, że w bliskiej przyszłości nastąpi znaczący wzrost częstości występowania okresów posusznych i, co za tym idzie, niskich stanów wód podziemnych. To z kolei może prowadzić do eskalacji problemów z czasowym niedoborem wody na tle gospodarczym i społecznym. W kontekście formowania się zasobów chwilowych (zmiennych) wód podziemnych, skrócenie czasu między okresami posuszными, sprzyjającego

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: akow@pgi.gov.pl.

odbudowie zwierciadła wody, może być szczególnie niekorzystne ze względu na wysoką autokorelację niskich stanów wód podziemnych (Kowalczyk i in., 2015).

W prezentowanym artykule poruszono wybrane problemy, które przy określaniu parametrów okresów niskich stanów wód podziemnych są istotne ze względu na bezpośredni wpływ na wyniki końcowe badań i ich wiarygodność, jednak nie były podejmowane w literaturze przedmiotu. Jednocześnie obecnie opracowywane metodyki i wyniki niektórych prac sugerują, że zagadnienia te nie są dostatecznie rozpoznane. Zamierzeniem autorki artykułu było zwrócenie uwagi na zmienność czasową i przestrzenną – w profilu pionowym zjawiska naturalnie występujących okresów niskich stanów wód podziemnych. W tym celu na przykładach pokazano jak okres analizy i jego długość wpływają na parametry niżówek, a także przedstawiono niestabilność wartości wybranych charakterystyk okresów niskich stanów wód podziemnych w przekroju pionowym. Poza wykazaniem samej zmienności, zamysłem wykonanych analiz było również ustalenie, czy czas trwania i częstotliwość występowania zjawiska niżówki wykazują jakąś jednolitą tendencję zmian wraz z kolejnością zalegania poziomów wodonośnych.

W identyfikacji suszy w wodach podziemnych stosuje się różne podejścia. W praktyce w zasadzie wszystkie zmierzają do wyznaczenia okresów niskich stanów wód względem arbitralnie przyjętej wartości progowej zjawiska (Strzebońska-Ratomska, 1994; Zdralewicz, Lejcuś, 2008; Kazimierski i in., 2009; Tarka, Staško, 2010; Cabalska i in., 2012; Bloomfield, Marchant, 2013). Nie istnieje jedna ścisła definicja niżówki hydrogeologicznej (Kowalczyk, 2016). W pracy przyjęto, że termin ten jest tożsamy z naturalnie uwarunkowanym okresem niskich stanów wód podziemnych, wyznaczanym względem wartości granicznej odpowiadającej stanowi średniemu niskiemu (SNG), który jest obliczany jako średnia arytmetyczna z najniższych rocznych głębokości zwierciadła wody podziemnej dla okresu wielolecia. W tym znaczeniu termin niżówki w pracy stosuje się do różnych poziomów wodonośnych, bez uwzględniania zróżnicowania skutków, jakie może powodować to zjawisko. Ponieważ niżówka hydrogeologiczna to okres, a nie chwilowy stan wody, przyjęto, że każde takie zjawisko dokumentują co najmniej dwa sąsiednie pomiary cotygodniowe, wskazujące na stany niższe od SNG. Pojedyncze przekroczenia stanu granicznego nie były traktowane jako niżówka.

Prezentowane wyniki badań dotyczą analiz przeprowadzonych na danych ze stacji pierwszego i drugiego rzędu sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB). Analizą objęto otwory, które posiadały długoletnie okresy obserwacji i względnie kompletne ciągi pomiarowe stanów wód w latach 1979–2018 oraz, w wyniku sprawdzenia przebiegu wahań zwierciadła wody w czasie, nie stwierdzono w nich wyraźnego wpływu antropopresji. Badania prowadzono na danych cotygodniowych. W obliczeniach korzystano z oprogramowania Statistica 12 firmy Statsoft.

PARAMETRY NIŻÓWKI HYDROGEOLOGICZNEJ I OKRES ANALIZY W KONTEKŚCIE ZMIENNOŚCI CZASOWEJ ZJAWISKA

Jedną z kluczowych kwestii w wyborze okresu badań jest dostępność danych pomiarowych. To najczęściej determinuje długość rozpatrywanego wielolecia. W kontekście interpretacji wyników pojawia się problem długości okresu obserwacji, który można uznać za wiarygodny dla identyfikacji niżówki hydrogeologicznej i jej charakterystyk. Kazimierski (2006) w aspekcie obliczania stanów głównych zwierciadła wód podziemnych i długości okresów obserwacji proponował następującą gradację: 20 i więcej lat – „ocena w pełni wiarygodna”, 15–20 lat – „wiarygodność dobra”; 10–15 – „wiarygodność dostateczna”; <10 lat – „wiarygodność problematyczna”.

Okres analizy powinien być wystarczająco długi, aby wartość przyjęta za wartość progową zjawiska była względnie stabilna w czasie i uzyskane wyniki można było porównywać z innym wieloleciami. Od pewnej długości okresu poszerzenie zakresu czasowego analizy nie powoduje znacznej zmiany w wielkości wartości progowej niżówki wyznaczonej za pomocą stanu charakterystycznego SNG. W prezentowanych w pracy przykładach w tabeli 1 z różnych regionów kraju tak przyjęta wartość progowa zmienia się w stosunkowo niewielkim zakresie niezależnie od okresu badań z przedziału o długości od 10 do 30 lat w wieloleciu 1981–2010 (tab. 1). Stosunek różnicy między obliczoną wartością SNG dla danego analizowanego wielolecia w tabeli i wartością SNG dla okresu 30-letniego (1981–2018) do amplitudy wahań w okresie 1981–2010 w danym punkcie był mniejszy niż 0,03, z wyjątkiem punktu (II/183/1), w którym wynosił 0,08. Mimo, że zadawalająca stabilizacja wartości SNG w okresach 10-letnich występuje w stosunkowo wielu otworach, jednak okres 10- czy 15-letni nie może być generalnie przyjęty za wystarczająco długi w tym względzie dla wszystkich punktów. Spowodowane jest to specyfiką fluktuacji zwierciadła wód podziemnych w poszczególnych otworach obserwacyjnych. Problem długiego czasu niestabilności wartości SNG widać najjaskrawiej na przykładzie punktów o wyraźnej quasi-cykliczności o okresie kilkunastoletnim i dłuższym, w których amplituda zmian wieloletnich jest większa od amplitudy zmian sezonowych. Przez quasi-cykle rozumie się naprzemiennie występujące wieloletnie okresy wyższych i niższych stanów wód podziemnych wyznaczone względem średniego położenia zwierciadła wody w danym otworze hydrogeologicznym. Na prezentowanym wykresie obserwacji położenia zwierciadła wód podziemnych jednego z punktów obserwacyjnych sieci PIG-PIB (fig. 1), ze względu na wymienione wyżej uwarunkowania, wartość SNG jest wysoce niestabilna nawet w 20-letnich krokach czasowych (tab. 2). Przypadki tego typu fluktuacji, przekładające się na tak długi okres braku stabilizacji wartości SNG, nie są bardzo częste. W ocenie autorki wśród punktów ogólnokrajowej sieci PIG-PIB, które

Tabela 1

Wartości wybranych parametrów nízówki hydrogeologicznej w zależności od długości okresu analizy dla różnych punktów obserwacyjno-badawczych PIG-PIB reprezentujących warstwy wodonosne o zwierciadle swobodnym na terenie Polski

Differences in the basic parameters of a low groundwater level depending on the length of the observation period at various PGI-NRI monitoring points representing unconfined aquifers in Poland

Długość okresu analizy [lata]	Wielolecie	Nr punktu obserwacyjnego	SNG – stan średni niski [m]	Częstość przekroczenia stanu SNG [%]	Liczba nízówek	Średnia czasu trwania nízówki [tyg.]	Maksymalny czas trwania nízówki [tyg.]	Województwo	Region hydrogeologiczny wg podziału Paczyńskiego i Sadurskiego (2007)	Typ ośrodka warstwy wodonosnej
30	1981–2010	II/98/1	2,3	14	26	8	25	mazowieckie	region środkowej Wisły subregion nizinny	porowy
20	1981–2000		2,28	13	12	11	24			
20	1991–2010		2,35	18	23	8	25			
15	1981–1995		2,27	15	10	11	26			
15	1996–2010		2,33	9	10	6	23			
10	1981–1990		2,20	17	7	12	34			
10	1991–2000		2,36	6	7	4	8			
10	2001–2010		2,34	10	8	6	23			
30	1981–2010	II/183/1	12,72	32	17	29	135	kujawsko-pomorskie	region dolnej Wisły subregion pojezierny	porowy
20	1981–2000		12,71	29	11	28	106			
20	1991–2010		12,79	43	13	34	135			
15	1981–1995		12,71	26	9	22	50			
15	1996–2010		12,72	37	8	36	134			
10	1981–1990		12,58	31	5	32	87			
10	1991–2000		12,83	35	12	15	58			
10	2001–2010		12,74	35	5	36	133			
30	1981–2010	II/362/1	6,61	14	17	13	31	lubuskie	region Warty subregion nizinny	porowy
20	1981–2000		6,61	14	14	10	31			
20	1991–2010		6,6	14	8	18	29			
15	1981–1995		6,66	14	12	9	31			
15	1996–2010		6,57	13	6	17	27			
10	1981–1990		6,64	13	10	7	31			
10	1991–2000		6,59	17	5	17	29			
10	2001–2010		6,61	12	4	16	22			
30	1981–2010	II/373/1	14,2	23	43	8	40	świętokrzyskie	region środkowej Wisły subregion wyżynny	porowo-szczelinowy
20	1981–2000		14,20	15	20	7	27			
20	1991–2010		14,18	20	26	8	40			
15	1981–1995		14,23	17	19	7	27			
15	1996–2010		14,16	15	18	6	26			
10	1981–1990		14,23	13	9	7	12			
10	1991–2000		14,18	25	12	11	40			
10	2001–2010		14,18	16	12	7	21			

dysponują względnie długimi ciągami obserwacji oraz, w których wahania zwierciadła wody nie są znacząco zaburzone antropogenicznie i możliwe w nich jest prześledzenie naturalnej wieloletniej zmienności, stanowią one kilka procent.

W przeciwieństwie do wartości SNG, która w wielu punktach stosunkowo szybko się stabilizuje, parametry nízówek (częstość występowania stanu niższego niż stan SNG, maksymalny i średni czas nízówki oraz liczba wyróżnionych ciągłych zdarzeń) są przeważnie mocno zależne nie tylko od długości okresu analizy, ale i od konkretnego wielolecia objętego badaniami (tab. 1). Wyraźne różnice w wartościach

badanych wskaźników występują również przy porównywaniu 20-letnich niepokrywających się okresów o tej samej długości (tab. 3). Na tle przeważających zróżnicowanych wartości poszczególnych parametrów w tabeli 1 może zwracać uwagę powtarzająca się wartość 14% w punkcie II/362/1 dla częstości występowania stanów niższych od SNG dla okresów o długości 20 i 30 lat. W związku z tym wyliczono również wartość tego parametru dla wielolecia 1989–2018. Wynosiła ona 18 %, co łącznie z wynikami przedstawionymi w tabeli nr 3 dla tego punktu, świadczy, że w przypadku tym, stabilizacja wartości była jedynie pozorna.

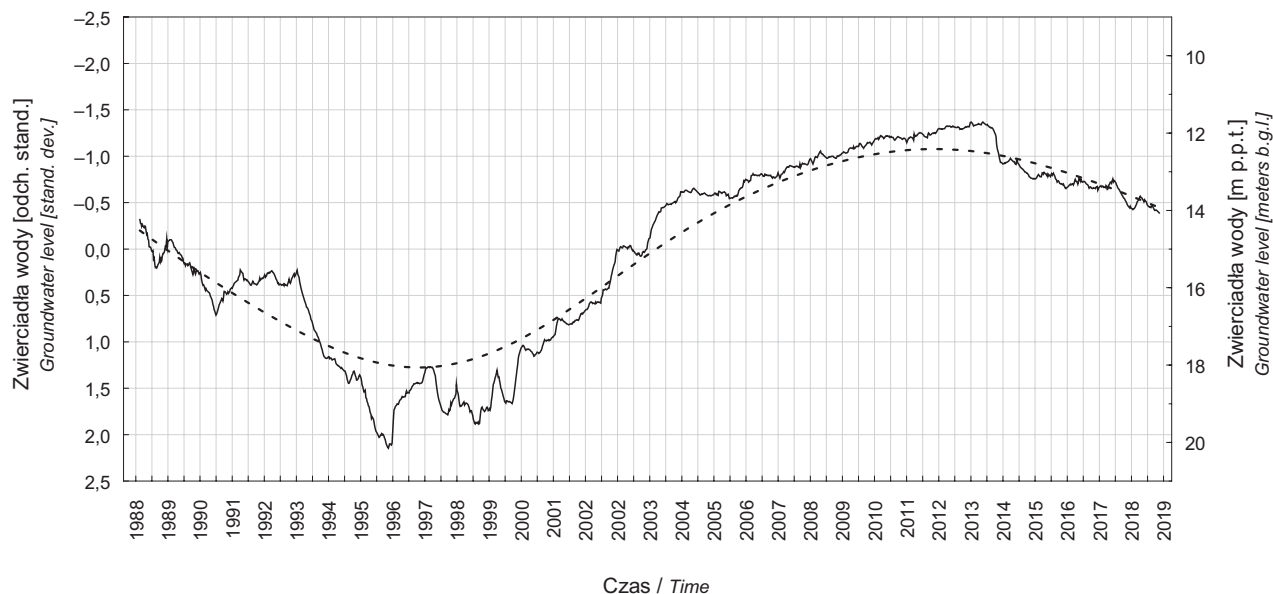


Fig. 1. Wahania długoterminowe zwierciadła wody w czasie na przykładzie punktu II/702/1 PIG-PIB

Przerwaną linią zaznaczono dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów

Long-term fluctuations of groundwater level at point II/702/1 of the PGI-NRI monitoring network

The dashed line shows the fit of the least squares method

ZMIENNOŚĆ PRZESTRZENNA W PROFILU PIONOWYM

W analizie okresów niskich stanów wód podziemnych warto zwrócić uwagę na problem reprezentatywności punktu względem danego poziomu wodonośnego. W niektórych pracach dotyczących nizin hydrogeologicznych lub ogólnie suszy hydrogeologicznej (Gurwin, 2015; Rybczyńska-Szewczyk i in., 2016) analizuje się wszystkie punkty monitoringowe razem, bez rozróżnienia, który poziom wodonośny (pierwszy czy głębsze) charakteryzują. W ocenie autorki jest

to podejście błędne i prowadzi w interpretacji obszarowej, sprowadzonej do jednej płaszczyzny, do dezinformacji. Zmiany warunków meteorologicznych powodują niejednakową odpowiedź w różnych poziomach wodonośnych, w zależności od specyfiki lokalnych warunków hydrogeologicznych. Rozbieżności intensyfikują się w przypadku poziomów będących w słabej więzi hydraulicznej. Na tym samym obszarze osiąganie stanów ekstremalnych wód nie musi być synchroniczne w poziomach znajdujących się na różnych głębokościach, co wykazano w analizie sytuacji hydrogeologicznej w latach 2010–2015 (Kowalczyk i in., 2016).

Tabela 2

Wartości SNG w zależności od wyboru okresu obserwacji i jego długości w punkcie monitoringowym II/702/1 sieci obserwacyjno-badawczej PIG-PIB

SNG values depending on the selection of the analysis period and its length at monitoring point II/702/1 of the PIG-PIB network

Wielolecie	Długość okresu	SNG – stan średni niski [m]	Różnica* [-]
1989–1998	10	17,40	0,20
1999–2008	10	15,74	0,00
2009–2018	10	12,91	-0,35
1989–2003	15	17,32	0,19
2004–2018	15	13,20	-0,32
1989–2008	20	16,52	0,09
1999–2018	20	14,80	-0,12
1989–2018	30	15,76	-

* różnica między wartością SNG dla danego wielolecia podanego w kolumnie pierwszej i wartości SNG z okresu 1989–2018 odniesiona do amplitudy wahań zwierciadła wody w okresie 1989–2018 w analizowanym punkcie

* difference between the value of SNG for given years (first column) and the SNG values from the period 1989–2018 in relation to the amplitude of GWL fluctuation in the period 1989–2018

Tabela 3

Wartości wybranych parametrów niszówki hydrogeologicznej dla różnych 20-letnich okresów dla czterech punktów monitoringowych z sieci obserwacyjno-badawczej PIG-PIB

Values of low groundwater level parameters for various 20-year periods at four PGI-NRI monitoring points representing unconfined aquifers in Poland

Długość okresu analizy [lata]	Wielolecie	Nr punktu obserwacyjnego	SNG – stan średni niski [m]	Częstość przekraczania stanu SNG [%]	Liczba niszówek	Średnia czasu trwania niszówki [tyg.]	Maksymalny czas trwania niszówki [tyg.]
20	1979–1998	II/98/1	2,25	16	15	11	30
20	1999–2018		2,18	22	19	12	32
20	1979–1998	II/183/1	12,74	25	7	36	100
20	1999–2018		12,89	36	7	54	211
20	1979–1998	II/362/1	6,60	15	13	11	31
20	1999–2018		6,58	17	9	20	36
20	1979–1998	II/373/1	14,21	15	20	7	27
20	1999–2018		14,14	19	22	9	44

W tabeli 4 przedstawiono wartości wybranych parametrów niszówek hydrogeologicznych obliczone dla wielolecia 1981–2018 dla różnych poziomów wodonośnych w czterech stacjach pierwszego rzędu PIG-PIB. W głębszych poziomach okresy niszówkowe i susze mogą trwać dłużej niż w płytkich, co stwierdzili w obszarze Sudetów Tarka i Staśko (2010). Odzwierciedleniem takiej sytuacji są obserwacje na stacji nr I/390, usytuowanej w subregionie wyżynnym środkowej Wisły (tab. 4), gdzie średni i maksymalny czas trwania niszówki oraz ogólna liczba przekroczeń stanu SNG wzrasta wraz z głębokością zalegania kolejnych poziomów wodonośnych. Podobnie na stacji I/399 w tym samym regionie hydrogeologicznym wraz z głębokością rośnie liczba przekroczeń stanu granicznego, z tą różnicą, że jednocześnie

skraca się średni czas trwania niszówki. W przypadku tym mimo ogólnej tendencji do wzrostu występowania niskich stanów wód w kolejnych poziomach wodonośnych, okresy niszówkowe są częstsze, ale krótsze. Z kolei na stacji I/181 w regionie wschodniopomorskim w głębszych poziomach w stosunku do najpłytszego obserwowanego poziomu maleje zarówno częstość przekraczania stanu granicznego, jak i skraca się średni oraz maksymalny czas niszówki. W tym przypadku można stwierdzić, że reakcja głębszych poziomów na ten sam bodziec w postaci deficytu opadów atmosferycznych jest słabsza w intensywności w stosunku do pierwszego poziomu wodonośnego. Omawiając wyniki ze stacji I/181, warto zwrócić uwagę na podobieństwo wartości parametrów niszówek w otworach 1 i 2. Jest to skutek silnej

Tabela 4

Wartości parametrów niszówki hydrogeologicznej dla poziomów wodonośnych o różnych głębokościach zalegania stropu warstwy wodonośnej w wybranych stacjach pierwszego rzędu PIG-PIB dla wielolecia 1981–2018

Differences in values of low groundwater level period parameters in shallow and deeper aquifers at four PGI-NRI monitoring stations (data for 1981–2018)

Nr stacji	Nr otworu	Częstość przekraczania stanu SNG [%]	Parametry niszówek				Parametry warstwy wodonośnej					Województwo	Region hydrogeologiczny wg podziału Paczyńskiego i Sadurskiego, 2007
			Liczba niszówek	Średnia czasu trwania niszówki [tyg.]	Maksymalna długość trwania niszówki [tyg.]	Średni czas niszówki w stosunku do najpłytszego obserwowanego poziomu	Głębokość stropu [m p.p.t.]	Miąższość	Obl. wsp. k [m/d]	Charakter zwierciadła warstwy wodonośnej	Typ ośrodka warstwy wodonośnej		
I/181	1	9	22	8	19	↓	98	19,5	6,00	napięte	porowo-szczelinowy	pomorskie	region wschodniopomorski
	2	10	27	7	20	↓	47	39,0	73,30	napięte	porowy		
	3	33	19	34	207	–	30	12,5	1,77	napięte	porowy		
I/33	1	26	32	16	68	↓	174	39,0	1,18	napięte	porowy	zachodniopomorskie	region Warty subregion nizinny
	3	27	28	19	126	↓	78	68,0	1,38	napięte	porowy		
	2	23	19	24	111	–	21	19,0	9,33	napięte	porowy		
I/390	2	36	27	27	180	↑	100	85,0	95,90	napięte	szczelinowo-krasowy	świętokrzyskie	region środkowej Wisły subregion wyżynny
	3	28	25	22	60	↑	29	55,0	2,50	napięte	porowo-szczelinowy		
	4	20	33	12	54	–	1	18,0	16,33	swobodne	porowy		
I/399	1	22	27	16	79	↓	58	42,0	13,3	napięte	porowo-szczelinowy	podkarpackie	region środkowej Wisły subregion wyżynny
	2	16	11	28	86	–	8	24,0	3,94	swobodne	porowy		

więzi hydraulicznej, w jakiej znajdują się poziomy reprezentowane tymi otworami (zwierciadło ustalone kształtuje się w ich przypadku na tej samej rzędnej). Z kolei brak takiej więzi między tymi poziomami a poziomem reprezentowanym otworem nr 3 powoduje znaczne rozbieżności w wartościach badanych parametrów.

Często tendencje wzrostu lub spadku wartości analizowanych charakterystyk między kolejnymi głębszymi poziomami nie są stałe. Na przykład maksymalny czas niżówki na stacji I/33 zlokalizowanej w subregionie nizinnym regionu Warty, w poziomie obserwowanym w otworze nr 3 wydłużył się w stosunku do poziomu płytszego (otwór nr 2), aby znów skrócić się w poziomie najgłębszym z badanych na tej stacji (otwór nr 1). Świadczy to o tym, że wśród czynników modelujących odpowiedź zwierciadła wód podziemnych na okresy posuszne, **głębokość zalegania stropu warstwy wodonośnej** i miąższość nadkładu nie jest czynnikiem dominującym.

WNIOSKI

1. W warunkach istotnie niezaburzonych antropogenicznie czas potrzebny na stabilizację wartości SNG, przyjętej w pracy jako wartość graniczna zjawiska niżówki, jest uzależniony specyfiką fluktuacji zwierciadła wody w danym punkcie obserwacyjnym. Między innymi zależy od długości cykli wahań wieloletnich i stosunku amplitudy zmian sezonowych do wieloletnich. Ustalono, że są przypadki punktów monitoringowych, w których dla okresów 20-letnich odnotowuje się wysoką niestabilność wartości SNG.
2. W poszczególnych punktach monitoringowych w badanych krokach czasowych wynoszących od 10 do 20 lat wykazano dużą niestabilność wartości parametrów niżówek hydrogeologicznych takich jak: maksymalny i średni czas trwania zjawiska, ogólna liczba zidentyfikowanych ciągłych zdarzeń czy częstość osiągnięcia stanu niższego niż SNG.
3. Zmienność wartości badanych parametrów sprawia, że charakterystyki w zakresie częstości występowania stanów niższych od stanu granicznego niżówki, ogólnej liczby niżówek oraz maksymalnego i średniego czasu trwania zjawiska, obliczane dla obecnie dostępnych długości ciągów pomiarowych z sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB, należy odnosić wyłącznie do konkretnego wielolecia. Uzyskany na ich podstawie obraz nie musi być uniwersalny dla innych okresów. Z tego również względu w celu ustalenia częstości występowania zjawiska na danym obszarze nie powinno się sprowadzać wyników uzyskanych z ciągów obserwacji o różnych długościach do jednej płaszczyzny. Tym samym celowe jest zrewidowanie metodyki konsultowanych obecnie Planów Przeciwdziałania Skutkom Suszy w aspekcie wyznaczania obszarów zagrożonych suszą hydrogeologiczną.
4. Ze względu na ograniczony materiał badawczy jakim dysponowano nie było możliwości sprawdzenia, czy wartości parametrów niżówek stabilizują się w krokach czasowych dłuższych niż analizowane w tej pracy. W przyszłości wraz ze znacznym wydłużeniem ciągów obserwacji stanów wód podziemnych w ramach sieci PIG-PIB lub pozyskaniem danych z innych ośrodków badawczych o dłuższych okresach pomiarów, jest potrzeba dalszych badań nad tym zagadnieniem.
5. We wszystkich analizowanych stacjach pierwszego rzędu, gdzie jednocześnie monitoruje się poziomy zalegające na różnych głębokościach, wartości parametrów niżówki hydrogeologicznej różniły się od siebie w zależności od obserwowanego poziomu wodonośnego.
6. Nie ma jednolitej tendencji w zmianie wartości badanych parametrów w kierunku pionowym uniwersalnej dla wszystkich analizowanych przypadków stacji. Dowodzi to naturalnej bardzo zróżnicowanej odporności tudzież podatności na susze poszczególnych poziomów wodonośnych. W zależności od lokalnych warunków hydrogeologicznych czas niżówek w głębszych poziomach wodonośnych może zarówno wydłużać się, jak i skracać w stosunku do pierwszego poziomu wodonośnego, przy czym kierunek zmian między kolejnymi poziomami jest w wielu przypadkach niejednolity.
7. Nie ma wspólnej tendencji w zmianie wartości badanych parametrów w kierunku pionowym dla wszystkich analizowanych przypadków stacji. Dowodzi to naturalnej bardzo zróżnicowanej odporności tudzież podatności na susze poszczególnych poziomów wodonośnych. W zależności od lokalnych warunków hydrogeologicznych czas niżówek w głębszych poziomach wodonośnych może zarówno wydłużać się, jak i skracać w stosunku do pierwszego poziomu wodonośnego, przy czym kierunek zmian między kolejnymi poziomami jest w wielu przypadkach niejednolity.
8. Wykazana w pracy zmienność czasowa i przestrzenna parametrów niżówek hydrogeologicznych powoduje trudności w badaniu i opisie zjawiska suszy w wodach podziemnych. W sytuacji, gdy badaniami obejmuje się nie tylko pierwszy poziom wodonośny, zróżnicowana reakcja na okresy posuszne w różnych poziomach wodonośnych, wymaga prowadzenia analizy dla zbioru punktów obserwacyjnych w podziale na odpowiednie grupy badawcze.

LITERATURA

- BLOOMFIELD J.P., MARCHANT B.P., 2013 – Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17: 4769–4787.
- CABALSKA J., KOWALCZYK A., MIKOŁAJCZYK A., 2012 – Wskaźnik położenia zwierciadła wód podziemnych w ocenie aktualnego zagrożenia niedoborem wody i suszy w skali europejskiej. Wyniki polskich testów pilotażowych, Materiały XIX Konferencji „Gospodarowanie Wodami Podziemnymi w Aktualnych Uwarunkowaniach”, PZiTS Częstochowa: 79–84.

- GURWIN J., 2015 – Możliwości identyfikacji suszy hydrogeologicznej na podstawie monitoringu i modelowania GIS na przykładzie regionu Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego. *Prz. Geol.*, **63**, 10/1: 738–742.
- KAZIMIERSKI B., 2006 – Materiały robocze PSH o niżówce hydrogeologicznej. Arch. PSH, Warszawa [mat. niepubl.].
- KAZIMIERSKI B., CABALSKA J., MIKOŁAJCZYK A., PILICHOWSKA-KAZIMIERSKA E., 2009 – Ocena zagrożenia suszą hydrogeologiczną (gruntową) na obszarze Polski. *W: Materiały XVIII Ogólnopolskiego Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, Szymbark.
- KOWALCZYK A., 2016 – Niżówka hydrogeologiczna – przyczyny i skutki. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Aktualne rozwiązania ujmowania i eksploatacji wód podziemnych” w Częstochowie. *Technologia wody*, 49.
- KOWALCZYK A., STĘPIŃSKA-DRYGAŁA I., WESOŁOWSKI P., 2015 – Zmienność wieloletnia i sezonowa występowania minimalnych stanów wód podziemnych na wybranym obszarze nizinnym. *Prz. Geol.*, **63**, 10/1: 860–866.
- KOWALCZYK A., WESOŁOWSKI P., WOŹNICKA M., 2016 – Od powodzi do suszy – analiza zmian sytuacji hydrogeologicznej w Polsce w latach 2010–2015. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **466**: 123–136.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski, t. I – Wody słodkie. Państw. Inst. Geol., Warszawa
- RYBCZYŃSKA-SZEWCZYK M., RENTFLEISZ A., SZEWCZYK J., AFELT A., BASIAK M., CIUPEK A., DOMANOWSKI M., DROSIO K., DUSZCZYK M., FIJOREK M., GOLAM M., JANKIEWICZ-DAMSKA M., KURLANDA-WITEK H., KŁOSOWICZ M., KOSIERADZKI R., KRYSIUK K., KWIATKOWSKI M., OGRODOWCZYK A., PABIANEK A., SARACYN M., SILCZAK B., SOKOŁOWSKA J., STĘPIEŃ M., SZCZYPIŃSKA P., ZAWADZKA A., 2016 – Analiza występowania zjawiska suszy oraz hierarchizacja i identyfikacja obszarów narażonych na występowanie skutków suszy na terenie administrowanym przez RZGW we Wrocławiu do Projektu Planu przeciwdziałania skutkom suszy w regionach wodnych Środkowej Odry, Izery, Metuje, Łąby i Ostrożnicy (Upa), Orlicy i Morawy w ramach zadania „Przeprowadzenie aktualizacji dla zadania pn.: projekt Planu przeciwdziałania skutkom suszy na obszarze działania RZGW we Wrocławiu wraz z procedurą strategicznej oceny oddziaływania na środowisko”. MOTTMCDONALD. RZGW we Wrocławiu. Warszawa. Strona internetowa: https://wroclaw.rzgw.gov.pl/files_mce/SUSZA%20PPSS%202016/analiza_wystepowania_zjawiska_suszy.pdf (lipiec 2019).
- STRZEBOŃSKA-RATOMSKA B., 1994 – Metodyka oceny intensywności i zasięgu suszy hydrogeologicznej. *Wiad. IMGW*, **4**: 15–42.
- TARKA R., STAŚKO S., 2010 – Wahania zwierciadła wód podziemnych jako odzwierciedlenie ekstremalnych sytuacji pogodowych. *W: Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki* (red. P. Migoń). UWroc., Wrocław.
- ZDRALEWICZ I., LEJCUŚ I., 2008 – Wyznaczenie okresów niżówkowych wód podziemnych w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, **9**: 149–158.

SUMMARY

The paper presents findings of a study concerning parameters of natural low groundwater level periods examined across time and in a vertical profile. The limit value of the low groundwater level period was defined as a long-term average low groundwater level (SNG) and calculated for an individual point. Attention was paid to the problem of the lack of stabilization of the limit value (SNG) in 20-year time steps at specific monitoring points with very long multi-year quasi-cycles of groundwater level changes (Fig. 1; Tab. 2), and these points were excluded from the further analysis.

Based on the data collected from selected observation stations of the Polish Geological Institute between 1979 and 2018, the research was performed by testing the maximum and average duration of low groundwater level periods, the total number of continuous events, and the frequency of low groundwater levels lower than the average. The instability of the parameter values at various time steps ranging from 10 to 20 years was demonstrated for individual hydrogeological stations (Tabs. 1, 3). The analysis of all tested first-order hydrogeological station, where various water-bearing horizons at various depths were monitored simultaneously, revealed

that the parameter values for the period 1981–2018 differ from each other depending on the horizon under monitoring (Tab. 4). The findings showed that the direction of depth-related changes in the examined parameters in a vertical section was often inconstant at individual stations. This, in turn, demonstrated differing natural vulnerability or resistance to drought at respective horizons. Thus, the duration of low groundwater levels in deeper layers is directly dependent on site-specific hydrogeological conditions, can occur for extended or shorter periods relative to the first horizon, and there is no uniformity of patterns in the total number of continuous events and the frequency of studied phenomenon in a vertical profile for all examined cases.

The study revealed that the distance of the water-bearing layer from the surface, and the succession of aquifers in a vertical section do not play a major role in determining how groundwater reacts to dry periods. Instead, the hydraulic relationship between the surveyed layers is crucial, alongside hydrodynamic parameters of each water-bearing layer. Detailed research on these issues is recommended.

