

ZRÓŻNICOWANIE CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA NIŻÓWEK HYDROGEOLOGICZNYCH NA OBSZARZE POMORZA ZACHODNIEGO

Justyna Kubicz, Paweł Dąbek

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Artykuł przedstawia przestrzenne zróżnicowanie niżówki hydrogeologicznej w rejonie Pomorza Zachodniego. Za niżówkę uznaje się okres wyznaczony metodą zaproponowaną przez Kazimierskiego. Do oceny wykorzystane zostały wartości progowe położenia zwierciadła wód podziemnych, obliczone na podstawie wyników wieloletnich obserwacji, mających bezpośrednie odniesienie do głównych poziomów wód i stref stanów wód. Okresy charakteryzujące się wystąpieniem niżówki podzielono pod kątem niżówki płytkiej i głębokiej. W wyniku prac uzyskano charakterystykę wystąpień niżówki hydrogeologicznej oraz mapy zróżnicowania jej częstości.

Słowa kluczowe: niżówka hydrogeologiczna, wody podziemne, Pomorze Zachodnie

WSTĘP

Wody podziemne są bardzo ważnym elementem obiegu wody w przyrodzie. W warunkach naturalnych niskie stany wód podziemnych, szczególnie tych o swobodnym zwierciadle, są skutkiem długotrwałego ograniczenia w zasilaniu infiltracyjnym warstwy wodonośnej przez strefę aeracji. Najczęściej łączy się to z długotrwałym okresem niskich opadów lub ich braku [Eltahir i Yeh 1999, Peters 2003, Peters i van Lanen 2003]. Pojawienie się niskich stanów wód w głębszych poziomach wodonośnych często jest skutkiem niewłaściwej gospodarki wodnej. Występowanie niedoborów wody powoduje zakłócenia w gospodarce wodnej obszaru, szczególnie w zaopatrzeniu przemysłu i gospodarstw indywidualnych w wodę. Obserwuje się przy tym obniżenie zasilania wód powierzchniowych oraz wydajności źródeł, co w konsekwencji wpływa na wszystkie ekosystemy związane z wodami [van Lanen i Peters 2000, Tallaksen i van Lanen 2004, Mishra i Singh 2010].

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Justyna Kubicz, Instytut Inżynierii Środowiska, mgr inż. Paweł Dąbek, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Pl. Grunwaldzki 24, 50-375 Wrocław; e-mail: justyna.kubicz@up.wroc.pl, pawel.dabek@up.wroc.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

W literaturze nie ma jednoznacznej definicji suszy hydrogeologicznej oraz wytycznych do jej wyznaczania. Według United States Geological Survey (USGS) susza hydrogeologiczna jest to okres obniżenia poziomu zwierciadła wody, które powoduje problemy związane z dostępnością wody (water.usgs.gov). Poziom przy którym mówi się o zjawisku suszy waha się regionalnie i lokalnie ze względu na różnice warunków naturalnych oraz zapotrzebowania ludzi i środowiska [Gurwin 2014]. W Polsce do wyznaczania okresów pojawienia się suszy, często utożsamianej z niżówką hydrogeologiczną, stosuje się różne podejścia. Najczęściej odnosi się do wód o zwierciadle swobodnym. Oblicza się wówczas wskaźnik niżówki kn według wzoru [Komunikat... 2013]:

$$kn = 1 - AG/SNG \quad (1)$$

dla przypadków, gdy $AG < SNG$ lub

$$kn = 1 - AG/SNO \quad (2)$$

dla przypadków, gdy $AG > SNG$,
gdzie:

AG – aktualna głębokość położenia zwierciadła wody, m,

SNG – średni niski stan położenia zwierciadła wody, m,

SNO – stan niski ostrzegawczy położenia zwierciadła wody, m.

Wyniki interpretuje się w następujący sposób: gdy $kn > 0$, $AG < SNG$ – brak zagrożenia niżówką hydrogeologiczną; gdy $kn < 0$, $SNO > AG > SNG$ – występuje zagrożenie pojawienia się niżówki hydrogeologicznej; natomiast gdy $kn < 0$, $AG > SNO$ – stwierdza się wystąpienie niżówki hydrogeologicznej w skali uzasadniającej wydanie ostrzeżenia i podejmowanie działań.

Według innej metody, często nazywanej od nazwiska twórcy metodą Kazimierskiego [Kazimierski i in. 2009], do oceny suszy wykorzystywane są wartości progowe położenia zwierciadła wód gruntowych, określane metodami statystycznymi z wyników obserwacji wieloletnich i mające bezpośrednie odniesienie do głównych stanów wód. Według przedstawionej metody, położenia zwierciadła wody powyżej strefy niskich stanów wód oznaczają brak wystąpienia niżówki. Stany pomiędzy wysokim niskim z wielolecia a średnim niskim z wielolecia położeniem zwierciadła świadczą o zagrożeniu występowaniem niżówki. Stany z zakresu od stanu średniego niskiego do połowy odległości pomiędzy położeniami średnimi niskimi a najniższym z niskich zaobserwowanych w wieloleciu, oznaczają wystąpienie płytkiej niżówki, a położenie zwierciadła wody poniżej połowy tej odległości oznacza wystąpienie niżówki głębokiej. Inne podejście proponują Tarka i Staśko [2010]. Uznają, że susza hydrogeologiczna to okres, kiedy ujemne odchylenia wartości średniej ruchomej od średniej z całego okresu obserwacji są większe od 25% standardowego odchylenia.

Celem pracy jest omówienie i przedstawienie przestrzennego zróżnicowania częstości występowania niżówek w wodach podziemnych Pomorza Zachodniego.

MATERIAŁ I METODY

Do analiz wykorzystywano dane źródłowe Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG-PIB) w zakresie cotygodniowych obserwacji stanów napiętego zwierciadła wód podziemnych w rejonie Pomorza Zachodniego z lat 1975–2014. Po szczegółowym

zbadaniu długości danych obserwacyjnych oraz ich ciągłości, z pozyskanej bazy wyselekcjonowano 32 punkty pomiarowe. Punkty te charakteryzowały się wiarygodnością co najmniej dobrą, czyli ponad 15 latami obserwacji [Kazimierski i in. 2009].

W celu wyznaczenia wystąpień niżówek wykorzystano metodę zaproponowaną przez Kazimierskiego [2009]. Brak zagrożenia niżówką hydrogeologiczną to okres kiedy $AG \geq WNG$. Zagrożenie pojawienia się niżówki występuje, gdy $WNG > AG > SNG$, obserwacje poniżej SNG oznaczają wystąpienie niżówki. Wydzielono przy tym stan płytkiej niżówki hydrogeologicznej, gdy $SNG \geq AG > \frac{1}{2} (SNG + NNG)$ i głębokiej niżówki hydrogeologicznej, gdy $AG \leq \frac{1}{2} (SNG + NNG)$, gdzie: WNG – najwyższe położenie zwierciadła spośród najniższych położań (tzn. stan najwyższy z niskich, określa górną granicę strefy stanów niskich), SNG – średni niski stan zwierciadła wody, NNG – najniższe położenie zwierciadła (tzw. stan najniższy z niskich).

Z uzyskanych wyników utworzono bazę danych zawierającą charakterystykę punktów badawczych (tab. 1), informacje o wystąpieniu niżówki wraz z podziałem na płytką i głęboką dla każdego otworu badawczego. Dla każdego punktu obliczono częstość wystąpienia określonego typu niżówki w wieloleciu. Obliczono liczbę lat, w których pojawił się przynajmniej jeden epizod niżówki, liczbę miesięcy z niżówką oraz maksymalny czas jej trwania. Oceniono korelacje pomiędzy głębokością położenia warstwy wodonośnej a wystąpieniem niżówki oraz między częstością występowania niżówki i jej poszczególnych typów. Wykorzystano przy tym obliczone wartości współczynników korelacji Pearsona [Łomnicki 2012]. W ostatniej fazie prac opierając się na danych dotyczących częstości wystąpienia niżówki stworzono mapy przestrzennego zróźnicowania pod kątem wystąpienia niżówek. Zastosowano metodę odwrotnych odległości IDW. Metodę tę charakteryzuje mała „restrykcyjność” statystyczna (brak założeń dotyczących rozkładów danych i ich stacjonarności), przy jednoczesnym braku wymogu dużej bazy danych. Podstawą jej działania jest stwierdzenie, że punkty badawcze położone bliżej siebie są bardziej podobne od tych położonych dalej. Wartość w danej lokalizacji wyznaczana jest na podstawie położonych w pobliżu punktów o znanych wartościach, które są wagowane współczynnikiem proporcjonalnym do odwrotności ich odległości [Karydas i in. 2009].

Tabela 1. Charakterystyka punktów objętych analizą
Table 1. Information about the analyzed monitoring points

Nr punktu Point number	Charakter zwierciadła Type of aquifer	Głębokość warstwy wodonośnej, m p.p.t. Deph of aquifer, m b.g.l.	Stratygrafia warstwy wodonośnej Stratigraphy	Wysztalcenie warstwy wodonośnej Kind of sediments	Lokalizacja Localization
II/71/1	Zw. napięte Confined aquifer	32	Q	Piaski sands	Głazów
II/414/1	Zw. napięte Confined aquifer	50	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Staniewice
II/421/1	Zw. napięte Confined aquifer	12,9	K2	margle marls	Wysoka Kamińska

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

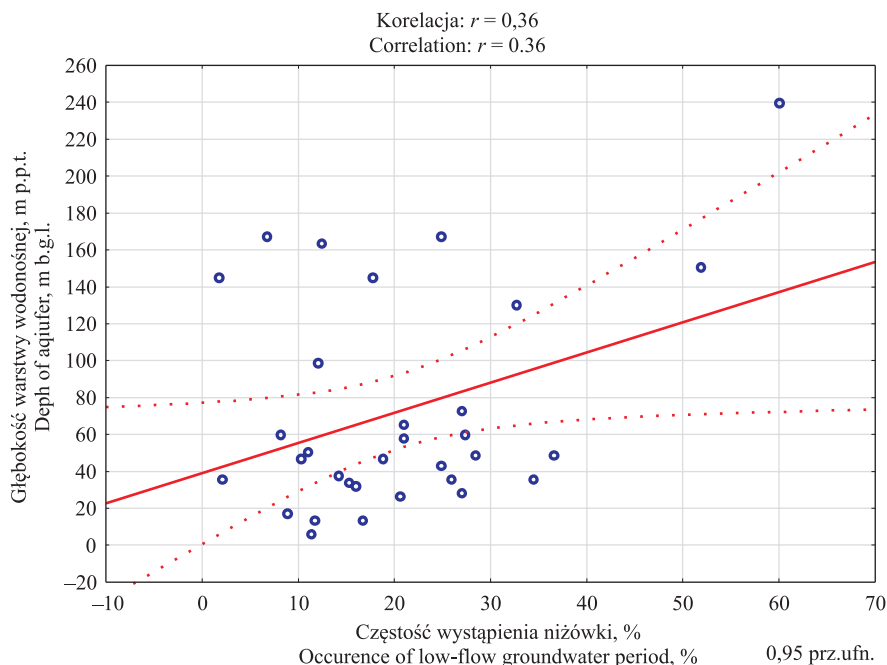
Nr punktu Point number	Charakter zwierciadła Type of aquifer	Głębokość warstwy wodonośnej, m p.p.t. Deph of aquifer, m b.g.l.	Stratygrafia warstwy wodonośnej Stratygraphy	Wysztalcenie warstwy wodonośnej Kind of sediments	Lokalizacja Localization
II/439/1	Zw. napięte Confined aquifer	33	Q	piaski sands	Karlino
II/440/1	Zw. napięte Confined aquifer	12,9	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Stepnica
II/441/1	Zw. napięte Confined aquifer	44	Q	piaski sands	Wardyn
II/432/2	Zw. napięte Confined aquifer	60	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Rogowo
II/432/3	Zw. napięte Confined aquifer	28	Q	piaski sands	Rogowo
II/1027/1	Zw. napięte Confined aquifer	35	Q	piaski sands	Mostno
I/649/1	Zw. napięte Confined aquifer	131	J1	piaskowce i mułowce sands, siltstones	Lisowo
I/649/2	Zw. napięte Confined aquifer	98	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Lisowo
II/643/1	Zw. napięte Confined aquifer	26	Q	piaski sands	Świnoujście
II/1026/1	Zw. napięte Confined aquifer	163	K2+PgOl	margle marls	Jezierzany
II/1031/1	Zw. napięte Confined aquifer	168	NgM	piaski sands	Dolsko
II/930/1	Zw. napięte Confined aquifer	46	PgOl	piaski sands	Przybiernów
II/930/2	Zw. napięte Confined aquifer	7	Q	żwiry gravels	Przybiernów
I/900/1	Zw. napięte Confined aquifer	48	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Swobnica
I/900/2	Zw. napięte Confined aquifer	240	K2	wapienie limestones	Swobnica

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

Nr punktu Point number	Charakter zwierciadła Type of aquifer	Głębokość warstwy wodonośnej, m p.p.t. Deph of aquifer, m b.g.l.	Stratygrafia warstwy wodonośnej Stratygraphy	Wysztalcenie warstwy wodonośnej Kind of sediments	Lokalizacja Localization
I/900/3	Zw. napięte Confined aquifer	150,5	Q	piaski snads	Swobnica
II/1022/1	Zw. napięte Confined aquifer	58	Q	piaski sands	Żółwia Błoc
II/1024/1	Zw. napięte Confined aquifer	37	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Świeszyno
II/1028/1	Zw. napięte Confined aquifer	60	K2	margle marls	Rogozina
II/1029/1	Zw. napięte Confined aquifer	36	NgM	piaski sands	Malechowo
II/1032/1	Zw. napięte Confined aquifer	48	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Gądn
II/1033/1	Zw. napięte Confined aquifer	168	NgM	piaski sands	Nowe Koprzywno
II/1035/1	Zw. napięte Confined aquifer	47	Pg+Ng	piaski sands	Kania
II/1037/1	Zw. napięte Confined aquifer	72	Q	siaski sands	Borzyn
II/1039/1	Zw. napięte Confined aquifer	36,5	Q	piaski i żwiry sands, gravels	Świnoujście
II/1040/1	Zw. napięte Confined aquifer	146	NgM	piaski sands	Nosibądy
II/1042/1	Zw. napięte Confined aquifer	66	Q	piaski sands	Mieszalki
II/1044/1	Zw. napięte Confined aquifer	17,5	Q	piaski sands	Płotkowo
II/1045/1	Zw. napięte Confined aquifer	146	K2	piaski i piaskowce sands, sandstone	Mielno

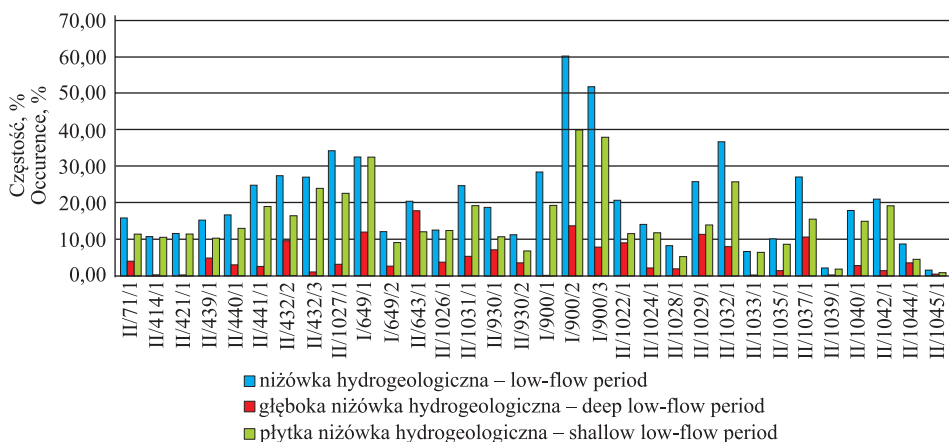
WYNIKI

Analiza wystąpień niżówki hydrogeologicznej wykazała, że największa częstość wystąpień obserwacji poniżej poziomu średniego niskiego charakteryzuje punkty I/900/2, I/900/3 w Swobnicy i II/1032/1 w Gądnie. Najmniejsza częstość obliczona została dla odwiertu w Mielnie II/1045/1 i Nowym Koprzywnie II/1033/1. Ocena korelacyjnej zależności częstości wystąpienia niżówki (obserwacji poniżej SNG) od głębokości zwierciadła warstwy wodonośnej nie wykazała ścisłego związku (ryc. 1). Obliczony współczynnik korelacji na poziomie 0,36 wskazuje na niskie skorelowanie wystąpienia niżówki i głębokości poziomu wodonośnego na analizowanym obszarze.



Ryc. 1. Wykres korelacji częstości wystąpienia niżówki i głębokości poziomu wodonośnego, m p.p.t.
Fig. 1. Correlation diagram of occurrence of low-flow groundwater periods and aquifer depth, m b.g.l.

Dokładniejsza charakterystyka niżówki wykazała, że największy udział głębokiej niżówki charakteryzuje punkt obserwacyjny II/643/1 w Świnoujściu, na kolejnych miejscach znajdują się punkty I/900/2 w Swobnicy, I/649/1 w Lisowie i II/1029/1 Malechowie. Wymienione wcześniej punkty I/900/2 w Swobnicy i I/649/1 w Lisowie ujmują najgłębszy poziom wodonośny na stacjach hydrogeologicznych. Najmniejsza częstość wystąpienia głębokiej niżówki wyznaczona została dla punktów obserwacyjnych I/900/1 Swobnica, II/414/1 Staniewice, II/421/1 Wysoka Kamieńska, II/1033/1 Nowe Koprzywno, II/1039/1 Świnoujście. W 21 z 32 dokładnie badanych punktów liczba głębokich niżówek nie przekracza częstości na poziomie 5%. Sześć punktów znajduje się



Ryc. 2. Częstość występowania okresów niżówki wraz z podziałem na głęboką i płytką
Fig. 2. Occurrence of low-flow period divided into shallow and deep

w zakresie 6–10% (ryc. 2). Analiza pod kątem występowania płytkiej niżówki wykazuje, że trzy punkty obserwacyjne charakteryzują się częstością powyżej 30%, trzy znajdują się w zakresie 20–30%. Pozostałe klasyfikują się poniżej wartości 20% (ryc. 2).

Największa liczba miesięcy, podczas których notowano głęboką niżówkę, charakteryzuje punkt I/900/2 w Swobnicy. Głęboką niżówkę obserwowano tam podczas 66 miesięcy, w 11 latach. Najdłuższe wystąpienie trwało 33 miesiące, miało miejsce w terminie 04.1996–12.1998. W Lisowie w punkcie I/649/1 głęboką niżówkę obserwowano w 48 miesiącach. Przy czym najdłużej głęboka niżówka trwała przez 9 miesięcy. Czterdzieści sześć miesięcy wystąpień głębokiej niżówki charakteryzuje otwór badawczy II/432/2 w Rogowie. Wystąpienia te notowano w 8 latach. Najdłuższa głęboka niżówka obejmuje tam okres 12 miesięcy w terminie 02.1992–01.1993. W Swobnicy w punkcie I/900/3 zaobserwowano 136 miesięcy z płytką niżówką. Najdłuższy, łączny okres wystąpienia płytkiej niżówki wystąpił w terminie 11.1996–04.2003 i trwał 78 miesięcy. W Swobnicy (I/900/2) najdłużej płytka niżówka trwała 53 miesiące. Rozpoczęła się w grudniu 1998 roku, a zakończyła w kwietniu 2003 roku. Płytką niżówkę w Wardyniu (II/440/1) zanotowano podczas 120 miesięcy. Bez przerwy trwała w tym punkcie 12 miesięcy, w okresie 12.1992–11.1993. Pojedyncze wystąpienia głębokiej niżówki charakteryzują punkty II/414/1 Staniewice, II/1144/2 Rybojedzko, II/421/1 Wysoka Kamieńska, II/1039/1 Świonujście. Z kolei płytkie niżówki najrzadziej obserwowano w otworach II/1045/1 w Mielnie (7 miesięcy), po 12 miesięcy II/1039/1 w Świnoujściu i II/1144/2 w Rybojedzku (tab. 2).

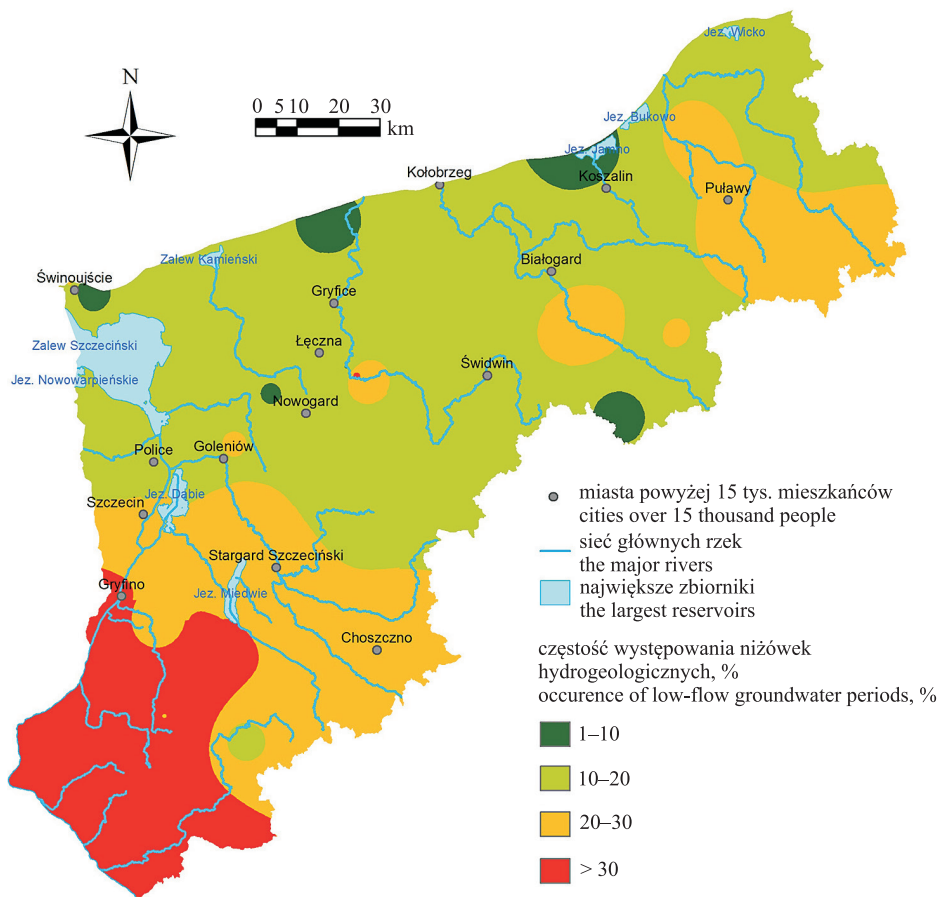
Uzyskane z obliczeń dane dotyczące częstości wystąpień omawianych typów suszy charakteryzujące poszczególne punkty, zostały przeliczone w postać przestrzenną. Mała liczba danych uniemożliwiła zastosowanie stochastycznych metod modelowania geostatystycznego. Dlatego właściwe wydało się interpolowanie modelu bardziej zgeneralizowanego z użyciem deterministycznej metody IDW. Modelowano przy założeniu optymalnych, wg wytycznych oprogramowania ArcGis, współczynników $p = 2$ i $n = 12$.

Tabela 2. Występowanie i czas trwania głębokich i płytkich niżówek
Table 2. The appearance and the duration of shallow and deep low-flow groundwater period

Nr punktu Point number	Liczba lat z obserwowaną głęboką niżówką Number of years with deep low- flow groundwater periods	Liczba lat z obserwowaną płytką niżówką Number of years with shallow low-flow groundwater periods	Liczba miesięcy z obserwowaną głęboką niżówką Number of months with deep low-flow groundwater periods	Liczba miesięcy z obserwowaną płytką niżówką Number of years with shallow low-flow groundwater periods	Maksymalna długość głębokiej niżówki (w miesiącach) Maximum length of deep low-flow groundwater periods (in months)	Maksymalna długość płytkiej niżówki (w miesiącach) Maximum length of shallow low-flow groundwater periods (in months)
II/71/1	7	20	25	78	10	16
II/414/1	1	17	1	65	1	7
II/421/1	1	13	2	60	1	12
II/439/1	7	20	31	66	6	8
II/440/1	8	19	23	80	5	13
II/441/1	4	21	16	120	15	12
II/432/2	8	12	46	69	12	17
II/432/3	3	15	13	94	7	32
II/1027/1	9	13	38	99	14	15
I/649/1	10	12	48	79	9	13
I/649/2	4	13	14	47	4	8
II/643/1	4	8	24	44	3	13
II/1026/1	5	11	13	33	4	4

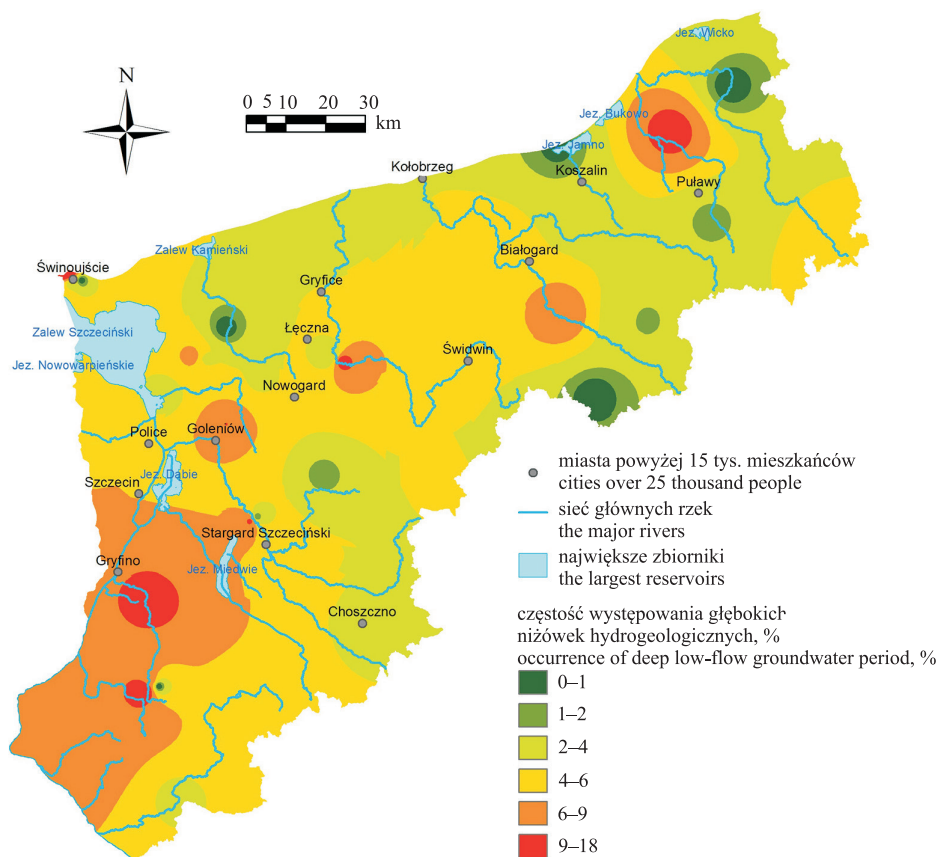
II/1031/1	3	9	16	60	15	21
II/930/1	6	10	23	40	7	6
II/930/2	4	8	12	30	5	7
I/900/1	8	16	19	96	7	18
I/900/2	11	13	66	120	33	53
I/900/3	6	14	25	136	17	78
II/1022/1	5	10	23	35	7	6
II/1024/1	1	10	5	38	5	12
II/1028/1	5	9	12	28	3	6
II/1029/1	6	7	26	36	16	9
II/1032/1	8	12	34	76	9	14
II/1033/1	1	8	2	27	2	7
II/1035/1	3	9	6	31	2	8
II/1037/1	8	12	28	45	17	8
II/1039/1	2	8	2	12	1	2
II/1040/1	2	7	7	39	6	13
II/1042/1	2	9	5	53	4	20
II/1044/1	6	10	15	22	4	3
II/1045/1	2	5	3	7	1	1

Analizując mapę przedstawiającą udział czasu z obserwacjami poniżej stanu *SNG* czyli pojawienia się niżówki zauważa się, że w pasie północnym dominują wartości z niższych zakresów częstości (0–10%). Przesuwając się w kierunku południowym, zauważamy wzrost częstości wystąpień. Największa wartość charakteryzuje obszary na południu, gdzie zlokalizowane są strefy zasilania regionalnego systemu krążenia wód podziemnych (> 30%) (ryc. 3). Są to zachodnia część Równiny Gorzowskiej i Pojezierza Myśliborskiego, obszar Równiny Weltyńskiej i Wzniesień Szczecińskich



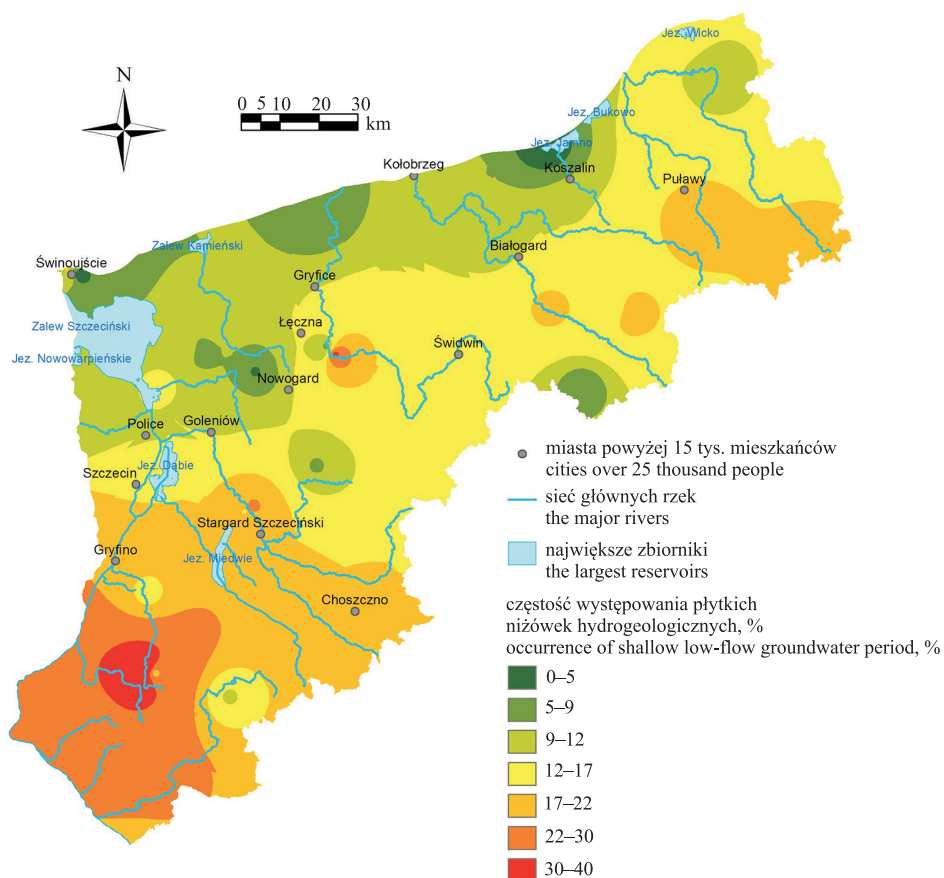
Ryc. 3. Mapa częstości występowania okresów niżówki hydrogeologicznej
Fig. 3. Map of occurrence of low-flow groundwater periods

(JCWPd nr 3, 4, 23, 24). Obszary występowania głębokiej i płytkiej niżówki (ryc. 4, 5) w dużym stopniu pokrywają się z pierwszą mapą. Obliczona korelacja pomiędzy częstością wystąpienia stanów niżówki ($AG < SNG$) a głęboką i płytką niżówką wykazała wysoki związek między częstością wystąpienia płytkiej niżówki i stanów $AG < SNG$ (współczynnik korelacji 0,96). Dla związku częstości wystąpienia głębokiej niżówki i niżówki określanej jako $AG < SNG$ korelacja jest na poziomie r równym 0,57 (ryc. 6).

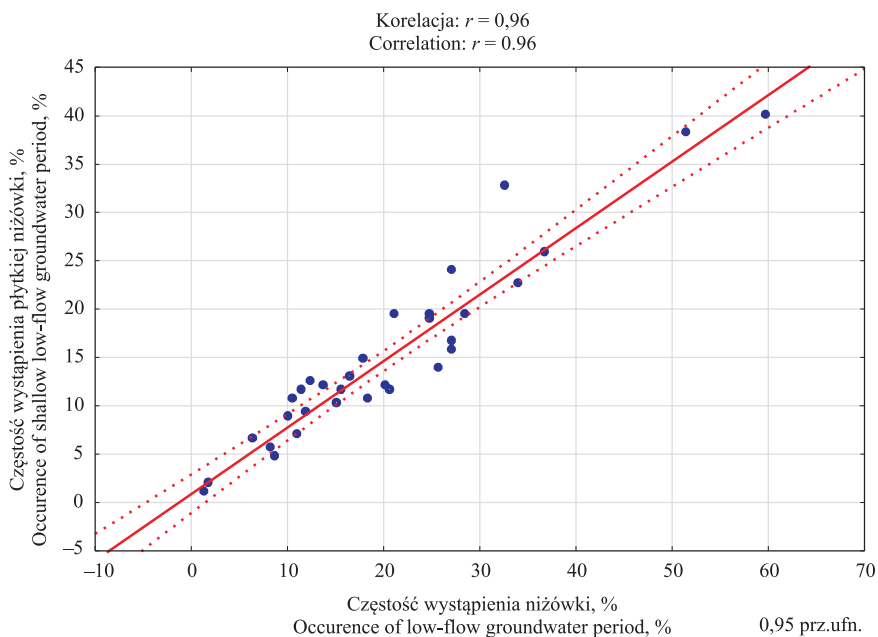
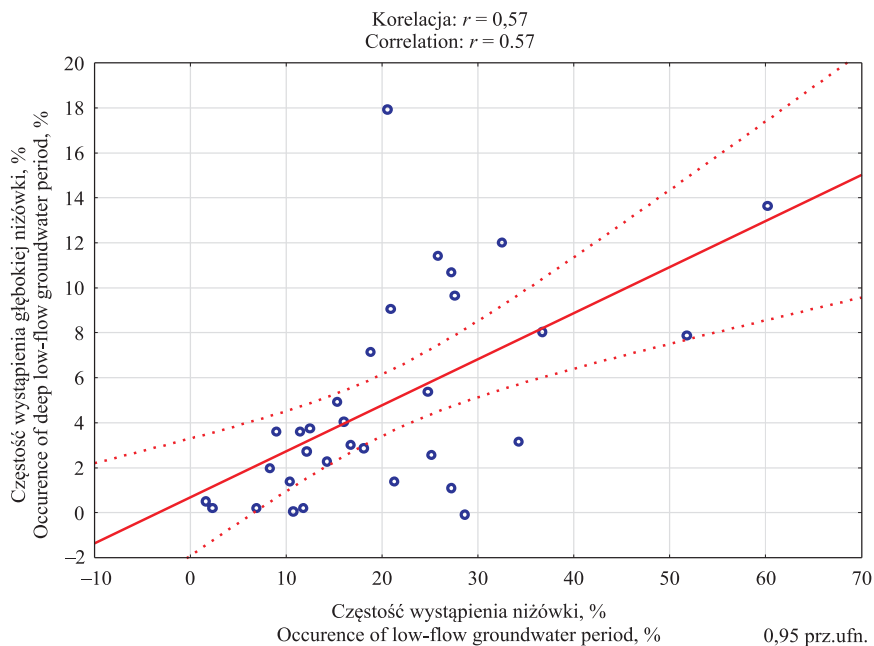


Ryc. 4. Mapa częstości występowania okresów głębokiej niżówki hydrogeologicznej

Fig. 4. Map of occurrence of deep low-flow groundwater period



Ryc. 5. Mapa częstości występowania okresów płytkiej niżówki hydrogeologicznej
Fig. 5. Map of occurrence of shallow low-flow groundwater period



Ryc. 6. Wykres korelacji częstości wystąpienia niżówki (określanej jako $AG < SNG$) i częstości wystąpienia głębokiej i płytkiej niżówki (wsp. korelacji istotny na poziomie $p < 0.05$)

Fig. 6. Correlation diagram of occurrence of low-flow groundwater periods between shallow and deep low-flow groundwater periods (correlation coefficient statistically significant $p < 0.05$)

PODSUMOWANIE

Wykonane analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Analiza zależności częstości wystąpienia niżówki od głębokości warstwy wodonośnej uwzględniająca wszystkie punkty obserwacyjne nie wykazała ścisłej korelacji.
2. Największa częstość występowania niżówki, powyżej 30%, charakteryzowała punkty obserwacyjne położone na południu analizowanego terenu (Równina Gorzowska, Pojezierze Myśliborskie, Równina Weltyńska, Wzniesienia Szczecińskie). W pasie północnym, nadmorskim dominowały wartości z najniższych zakresów częstości od 0 do 10%. Podobny rozkład przestrzenny charakteryzuje wystąpienia głębokiej i płytkiej niżówki.
3. Korelacja pomiędzy częstością niżówki (określanej jako $AG < SNG$) a głęboką i płytką niżówką wykazała wyższy związek z częstością wystąpienia płytkiej niżówki niż z częstością wystąpienia głębokiej niżówki.

PIŚMIENNICTWO

- Eltahir, E.A.B., Yeh, P.J.F. (1999). On the asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois. *Water Resour. Res.*, 35(4), 1199–1217.
- 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.
- Karydas, Ch.G., Gitas, I.Z., Koutsgianaki, E., Lydakis-Simantiris, N., Silleos, G.N. (2009). Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *European Association of Remote Sensing Laboratories. eProceedings* 8, 26–39.
- Kazimierski, B., Cabalska, J., Mikołajczyk, A., Pilichowska-Kazimierska, E. (2009). Ocena zagrożenia suszą hydrogeologiczną (gruntową) na obszarze Polski. *Materiały XVIII Ogólnopolskiego Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, Szymbark.
- Komunikat o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej w okresie 1.11.2015 do 30.11.2015 (2015). Państwowa Służba Hydrogeologiczna.
- Łomnicki, A. (2012). Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *J. Hydrol.*, 391, 202–216.
- Peters, E. (2003). Propagation of drought through groundwater systems – illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments. *Wageningen University & Research*, Wageningen.
- Peters, E., van Lanen, H.A.J. (2003). Propagation of drought in groundwater in semi-arid and sub-humid climatic regimes. *Hydrology of the Mediterranean and Semi-Arid Regions*, 278, 312–317.
- Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J. (2004). Hydrological drought, Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Develop. Water Sci.*, 48.
- Tarka, R., Staśko, S. (2010). Wahania zwierciadła wód podziemnych jako odzwierciedlenie ekstremalnych sytuacji pogodowych. Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki. *Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego*, Wrocław, 241–255.
- Van Lanen, H.A.J., Peters, E. (2000). Definition, effects and assessment of groundwater droughts. *Drought and Drought Mitigation in Europe*, 49–61.
- Groundwater and Drought, water.usgs.gov.

VARIABILITY OF HYDROGEOLOGICAL DROUGHT PERIODS IN WESTERN POMERANIA

Abstract. The aim of the study was representation of spatial variability of drought hydrogeological periods in the region of Western Pomerania. In this case drought was identified with low-flow groundwater periods calculated Kazimierski's method. Low-flow groundwater periods were designated long-term groundwater levels of aquifer. The references were the main groundwater levels. Periods of drought were deviled into shallow and deep low-flow groundwater periods. As a results obtained the characteristics of occurrences of drought and maps of spatial variability.

Key words: hydrogeological drought, low-flow groundwater periods, groundwater

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.12.2016.

Do cytowań – For citation: Kubicz, J., Dąbek, P. (2016). Zróżnicowanie częstości występowania niżówek hydrogeologicznych na obszarze pomorza zachodniego. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 15(4), 279–293.