

OD POWODZI DO SUSZY – ANALIZA ZMIAN SYTUACJI HYDROGEOLOGICZNEJ W POLSCE W LATACH 2010–2015

FROM FLOOD TO DROUGHT – CHANGES OF HYDROGEOLOGICAL SITUATION IN POLAND BETWEEN 2010–2015

AGNIESZKA KOWALCZYK¹, PIOTR WESOŁOWSKI¹, MAŁGORZATA WOŹNICKA¹

Abstrakt. Sytuacja hydrogeologiczna oraz hydrologiczna na terenie Polski jest warunkowana przede wszystkim cechami klimatycznymi i przyrodniczymi, ale nie bez znaczenia jest także sposób użytkowania terenu i zagospodarowania zlewni. Zjawiska zarówno suszy oraz niżówki hydrogeologicznej, jak i powodzi i podtopień występowały na terenie Polski w przeszłości i z pewnością będą się powtarzały w przyszłości. Podejmowanie działań łagodzących w sposób efektywny skutki tego typu zdarzeń ekstremalnych jest możliwe, ale wymaga wiarygodnych i sprawdzalnych prognoz sytuacji hydrologicznej oraz hydrogeologicznej. Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom, państwowa służba hydrogeologiczna prowadzi jako zadanie ciągłą, cykliczną ocenę sytuacji hydrogeologicznej na obszarze kraju oraz wykonuje prognozy jej zmian. W pracy przedstawiono analizę zmian sytuacji hydrogeologicznej w latach 2010–2015, w którym to okresie w Polsce nastąpiło przejście od wysokich stanów położenia zwierciadła wód podziemnych, obserwowanych podczas powodzi w 2010 i następnie w 2011 r., do ekstremalnie niskich, związanych z suszą, stwierdzonych w 2015 r. Aby przedstawić czasowo-przestrzenne zmiany sytuacji hydrogeologicznej, autorzy wykonali analizę wartości ekstremalnych stanów wód podziemnych w rozpatrywanym okresie. Do badań wykorzystano wyniki pomiarów głębokości zwierciadła wód podziemnych z sieci obserwacyjno-badawczej Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.

Słowa kluczowe: sytuacja hydrogeologiczna, susza, niedobory wody, powódź, podtopienia, ekstremalne stany wód podziemnych.

Abstract. Hydrogeological and hydrological situation is primarily conditioned by climate and natural features, however, land use and catchment management are also important. Both droughts and low groundwater levels, as well as floods and flooding have been occurring in Poland in the past and they will certainly be repeated in the future. Undertaking measures aimed at effective mitigation of effects of such extreme events is possible. Nevertheless, this requires reliable and verifiable hydrogeological forecasting. In order to meet these expectations, the Polish Hydrogeological Survey undertakes cyclic assessments of hydrogeological situation in Poland on a national scale and carries out projections of its changes. This paper presents results of an analysis of hydrogeological situation in Poland between 2010–2015, during which a transition from high groundwater levels in 2010 and 2011 (related to flood events in 2010) to low levels (related to the drought in 2015) were observed. To present the spatio-temporal changes of hydrogeological situation in years 2010–2015 the authors analyze extreme groundwater levels in the considered period based on data from the national groundwater monitoring network of the Polish Geological Institute – National Research Institute.

Key words: hydrogeological situation, drought, water scarcity, flood, flooding, extreme groundwater levels.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: agnieszka.kowalczyk@pgi.gov.pl, piotr.wesolowski@pgi.gov.pl, malgorzata.woznicka@pgi.gov.pl.

WSTĘP

Zmienność warunków meteorologicznych sprawia, że położenie zwierciadła wód podziemnych ulega naturalnym sezonowym i wieloletnim zmianom. W okresie ostatnich sześciu lat hydrologicznych 2010–2015 w Polsce wystąpiły skrajne zdarzenia hydrologiczne – powódź oraz susza. Wskazane ekstremalne zjawiska zaznaczyły się w stanach wód podziemnych, których zapis stanowi cenny materiał badawczy do poznania przebiegu zmiany sytuacji hydrogeologicznej między wartościami skrajnymi. Zarówno zakres (amplituda wahań), jak i dynamika stwierdzonych zmian położenia zwierciadła wód podziemnych w rozpatrywanym okresie była wyjątkowa duża. Wyniki cyklicznych pomiarów, prowadzonych w punktach sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych państwowej służby hydrogeologicznej (PSH), umożliwiły przeprowadzenie pogłębionej analizy zmian sytuacji hydrogeologicznej w kraju, w tym szczególnym okresie. Analizą objęto punkty monitoringu wód podziemnych, które są uznane za reprezentatywne przy opracowywaniu komunikatów PSH o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej w kraju. Reprezentatywność punktów na potrzeby komunikatów PSH jest ustalana przez zastosowanie kombinacji wielu kryteriów, m.in. długości ciągu obserwacyjnego i miąższości warstwy wodonośnej. Przyjmuje się, że długość okresu obserwacji nie powinna być krótsza niż 10 lat, a miąższość warstwy wodonośnej – nie mniejsza niż 10 m, przy czym w szczególnych przypadkach dopuszcza się odstępstwa od tych kryteriów. Analizę zmian sytuacji hydrogeologicznej przeprowadzono niezależnie w trzech grupach obejmujących:

A. Punkty reprezentujące system wodonośny o swobodnym zwierciadle wody podziemnej. Zwierciadło wody w tych punktach ma charakter swobodny lub znajduje się

pod niewielkim ciśnieniem piezometrycznym (wody pozostające pod ciśnieniem hydrostatycznym sięgającym ponad strop warstwy wodonośnej do 10 m). Napięte zwierciadło dopuszcza się w grupie tych punktów wówczas, gdy ma ono charakter lokalny. Zwierciadło wód podziemnych w tej grupie punktów podlega zmianom czynników atmosferycznych, których wpływ słabnie ze wzrostem głębokości.

B. Punkty reprezentujące system wodonośny o napiętym zwierciadle wody podziemnej. Zwierciadło wody w tych punktach ma charakter napięte – wody w utworach wodonośnych są przykryte utworami słabo przepuszczalnymi lub praktycznie nieprzepuszczalnymi i pozostają pod ciśnieniem hydrostatycznym, sięgającym ponad strop warstwy wodonośnej. Wpływ czynników i procesów egzogenicznych na reżim hydrogeologiczny jest ograniczony.

C. Punkty reprezentujące system wodonośny o zwierciadle napiętym wody podziemnej, w których strop warstwy wodonośnej znajduje poniżej 120 m względem powierzchni terenu. Wydzielenie tego systemu nawiązuje do systemu nieprzeobrażonego antropogenicznie (SNPA) – naporowych wód podziemnych niedotkniętych lub dotkniętych tylko w nieznacznym stopniu oddziaływaniem antropogenicznym (Paczyński, 2002).

Zastosowane określenie „system wodonośny” służy zaakcentowaniu, że w pogrupowaniu punktów i w prowadzonej analizie rozpatruje się warunki regionalne, a nie wyłącznie lokalne na podstawie punktowego profilu otworu. Zastosowaną kwalifikację oparto na koncepcji przedstawionej w pracy Mitreği (2013). Wybrane informacje o punktach w grupach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Podstawowe informacje o punktach sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych reprezentujących poszczególne systemy wodonośne

Background information on monitoring points representing various groundwater systems

Typ systemu wodonośnego	Liczebność punktów	Głębokość do stropu warstwy wodonośnej (wg bazy Monitoring Wód Podziemnych)		Typ ośrodka wodonośnego (liczebność punktów)
		min. [m]	maks. [m]	
A – system wodonośny o zwierciadle swobodnym	180	0,14	52,00	porowy (124) porowo-szczelinowy (40) szczelinowo-krasowy (16)
B – system wodonośny o zwierciadle napiętym	165	3,00	15,00	porowy (115) porowo-szczelinowy (33) szczelinowo-krasowy (17)
C – system wodonośny o zwierciadle napiętym, głębszy	53	121,00	474,00	szczelinowo-krasowy (29) porowy (8) porowo-szczelinowy (8)

SYTUACJA METEOROLOGICZNA I HYDROGEOLOGICZNA PRZED POWODZIĄ W 2010 R.

Sytuacja hydrogeologiczna w dorzeczu Wisły i Odry przed powodzią, która wystąpiła w maju i czerwcu 2010 r. była niekorzystna. W miesiącach zimowych na znacznym obszarze Polski, szczególnie w południowo-wschodniej części kraju, wystąpiły obfite opady atmosferyczne. Ze względu na niską temperaturę powietrza były to głównie opady śniegu. Okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej był długi (ponad 75 dni). Śnieg stopniał dopiero w połowie marca, zasilając wody powierzchniowe i podziemne (Walczykiewicz, 2011). Taka sytuacja meteorologiczna spowodowała, że na znacznym obszarze kraju wiosną dominowały wysokie stany wód podziemnych. W pierwszym i drugim kwartale roku hydrologicznego 2010 w większości monitorowanych punktów pomiarowych zanotowano wzrost położenia swobodnego zwierciadła wody przy jednoczesnym niewielkim i malejącym udziale punktów pomiarowych, w których położenie zwierciadła wody układało się poniżej stanu niskiego ostrzegawczego (SNO) – Komunikat PSH nr 2a/2010. W przypadku ok. 81% punktów pomiarowych położenie zwierciadła wody podziemnej w II kwartale roku hydrologicznego 2010

znalazło się powyżej granicy średniej głębokości położenia zwierciadła wody podziemnej z najniższych rocznych dla okresu wielolecia (SNG). Również w przypadku poziomów wodonośnych o zwierciadle napiętym, w omawianym okresie w większości punktów obserwacyjnych odnotowano wzrost ciśnień piezometrycznych. Konsekwencją wysokich stanów wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego było w dużej mierze ograniczenie możliwości retencji gruntowej. Przypuszcza się, że nawet znacznie mniejsze opady niż te, które miały miejsce w maju i w czerwcu 2010 r. w sytuacji wysokich stanów wód powierzchniowych i podziemnych, przyczyniłyby się do powstania wezbrań (Walczykiewicz, 2011; Tokarczyk, 2011).

Powódź, która wystąpiła w maju i na początku czerwca 2010 r. była jedną z największych w ostatnim stuleciu na obszarze Polski. Na odcinku Wisły od Goczałkowic (poniżej zbiornika) do Sandomierza miała charakter powodzi katastrofalnie wielkiej. Fala powodziowa charakteryzowała się gwałtownym wzrostem, a po osiągnięciu kulminacji – powolnym opadaniem (Walczykiewicz, 2011).

ANALIZA ZMIAN SYTUACJI HYDROGEOLOGICZNEJ W LATACH 2010–2015

W celu zaprezentowania zmian sytuacji hydrogeologicznej w analizowanym wieloleciu 2010–2015 (lata hydrologiczne) autorzy wykonali analizę wartości ekstremalnych głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych w badanym okresie. Przeprowadzone obliczenia statystyczne wskazują, że maksimum występowania ekstremalnych wysokich stanów wód podziemnych na terenie kraju miało miejsce nie w 2010 r., kiedy występowała powódź, lecz ponad pół roku później – w 2011 r.

Na histogramach zaprezentowano liczebność maksymalnych i minimalnych wartości głębokości do zwierciadła wody w punktach obserwacyjnych w rozpatrywanym okresie (fig. 1). We wszystkich trzech analizowanych zbiorach punktów, reprezentatywnych dla wydzielonych typów systemów wodonośnych /A, B, C/, rok 2015 był okresem, w którym zarejestrowano najwięcej najniższych stanów zwierciadła wód. Dominuje on bardzo wyraźnie nad pozostałymi latami. Interesującym może wydać się fakt, że kolejnym rokiem wyróżniającym się pod względem dużej liczby niskich stanów wód był rok 2010, przy czym zarysowuje się pewna zależność wśród rozpatrywanych systemów – im głębszy system, tym rok 2010 jest bardziej dominujący w liczebności maksymalnych głębokości wód w stosunku do pozostałych pięciu rozpatrywanych lat (fig. 1.1C). Natomiast najwięcej najwyższych stanów zwierciadła wody odnotowano we wszystkich analizowanych grupach w 2011 r. Rok 2010 jest drugim pod tym względem rokiem, z wyjątkiem najgłębszego rozpatrywanego systemu wodonośnego /C/, w którym zanotowano najmniej najwyższych stanów wód podziemnych w stosunku do całego sześćdziesięciolecia (fig. 1.2C).

Z kolei najwyraźniej rok 2010, jako drugi pod względem liczebności najwyższych położenia zwierciadła wody, zaznaczył się w systemie o zwierciadle swobodnym /A/, na co niewątpliwie miały wpływ wysokie stany wód powierzchniowych w tym roku i powódź na przełomie maja i czerwca głównych rzek Polski. Najwyższe stany wód podziemnych w systemie o swobodnym zwierciadle wód /A/ również były osiągane w rozpatrywanym roku w maju i czerwcu. Ze względu na to, że najpłytszy z analizowanych systemów podziemnych /A/ jest przeważnie w bezpośredniej więzi hydraulicznej z wodami powierzchniowymi, reakcja na powódź w tym systemie była największa. Oddziaływanie wysokich stanów wód powierzchniowych na głębsze poziomy wodonośne jest natomiast już znacznie słabsze (fig. 1.2B, C).

Analizując liczebność ekstremalnych stanów położenia zwierciadła wód podziemnych w poszczególnych miesiącach lat hydrologicznych 2010–2015, widać dużą różnorodność. Poszczególne lata różnią się istotnie od siebie. We wszystkich badanych systemach /A, B, C/ najniższe stany wód podziemnych występowały w kwietniu, maju i czerwcu, a najczęściej – w sierpniu, wrześniu i październiku (2015 i 2012 rok) oraz grudniu i styczniu (2010 rok) (fig. 2, 4 i 6). Z kolei najwyższe stany zwierciadła wód podziemnych występowały najczęściej w przypadku systemu o swobodnym zwierciadle wód /A/ od stycznia do czerwca oraz w sierpniu i wrześniu; w przypadku systemu o napiętym zwierciadle wód /B/ – od grudnia do sierpnia, natomiast w systemie najgłębszym spośród analizowanych /C/ – od lutego do czerwca i w sierpniu (fig. 3, 5, 7).

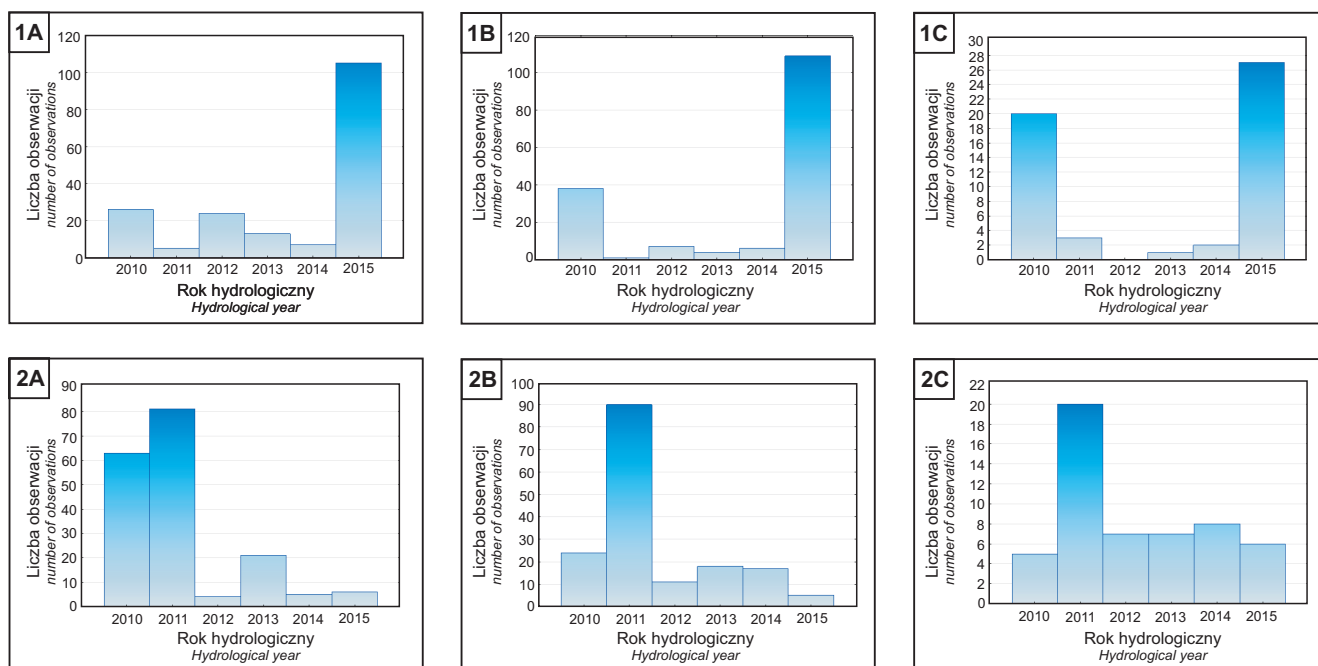


Fig. 1. Histogramy rozkładu wartości ekstremalnych w wieloleciu 2010–2015 (lata hydrologiczne)

1. Wartości maksymalne głębokości występowania wody podziemnej. 2. Wartości minimalne głębokości występowania wody podziemnej. A. System wód o zwierciadle swobodnym. B. System wód o zwierciadle napiętym. C. System wód o zwierciadle napiętym, głębszy

Distribution of extreme groundwater levels in hydrological years: 2010–2015

1. Maximum depths to groundwater levels. 2. Minimum depths to groundwater levels. A. Shallow groundwater system of unconfined aquifers. B. Groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m b.g.l. C. Groundwater system of confined aquifers with occurring deeper than 120 m b.g.l.

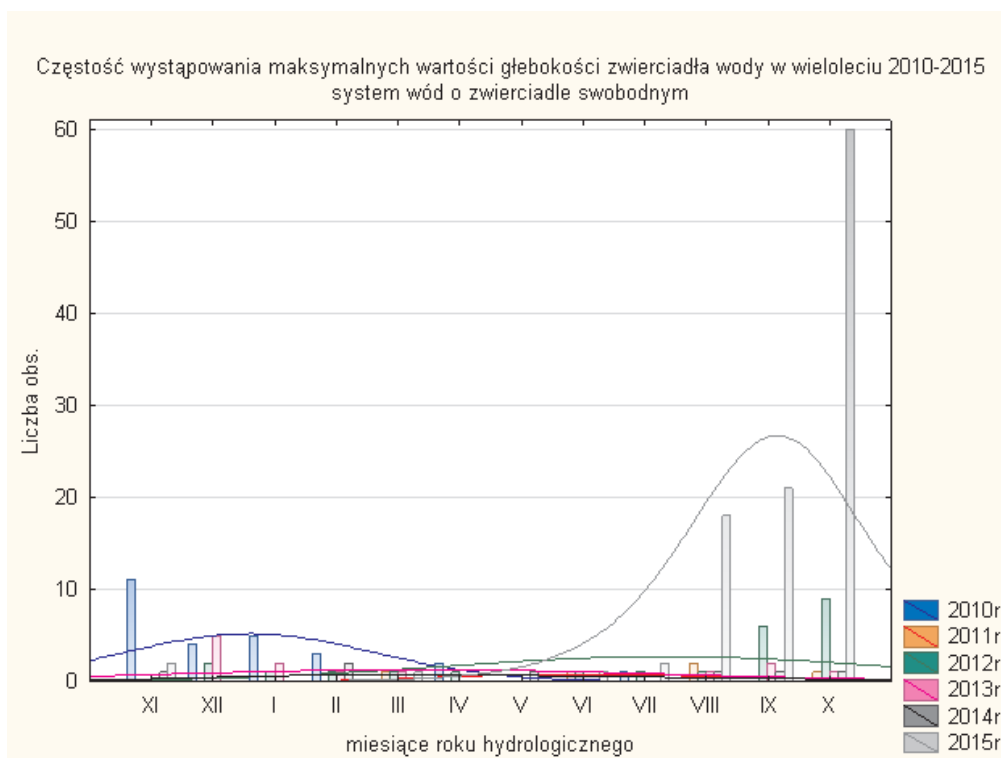


Fig. 2. Rozkład maksymalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle swobodnym /A/

Monthly distribution of maximum depths of groundwater levels in individual hydrological years 2010–2015 – shallow groundwater system of unconfined aquifers /A/

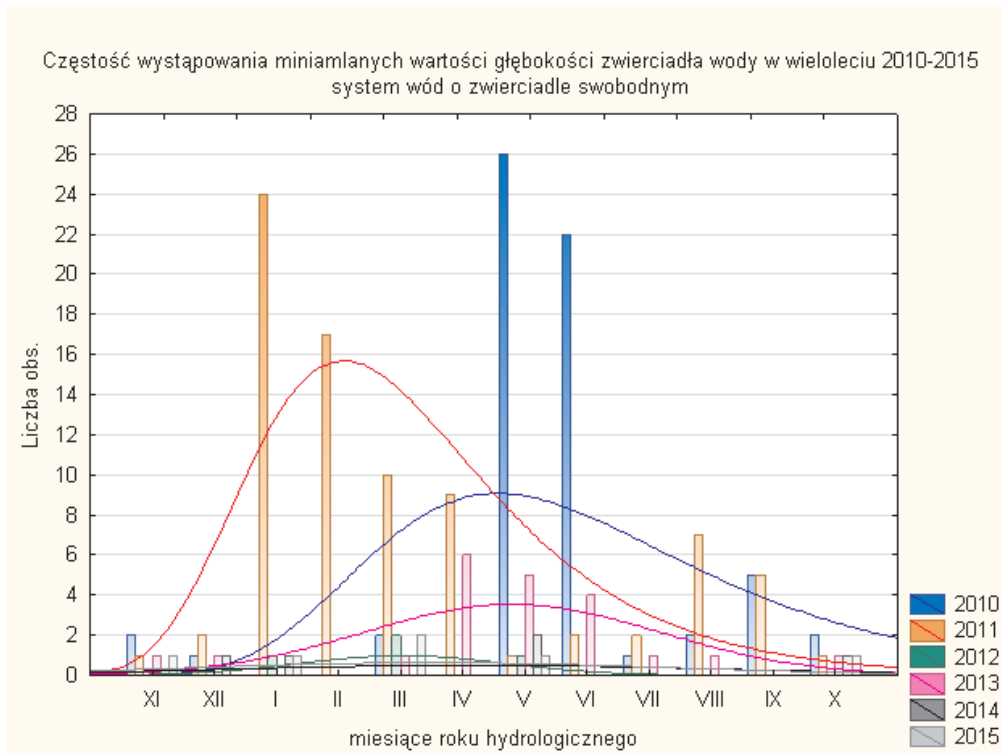


Fig. 3. Rozkład minimalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle swobodnym /A/

Monthly distribution of minimum depths of groundwater levels in individual hydrological years: 2010–2015 – shallow groundwater system of unconfined aquifers /A/

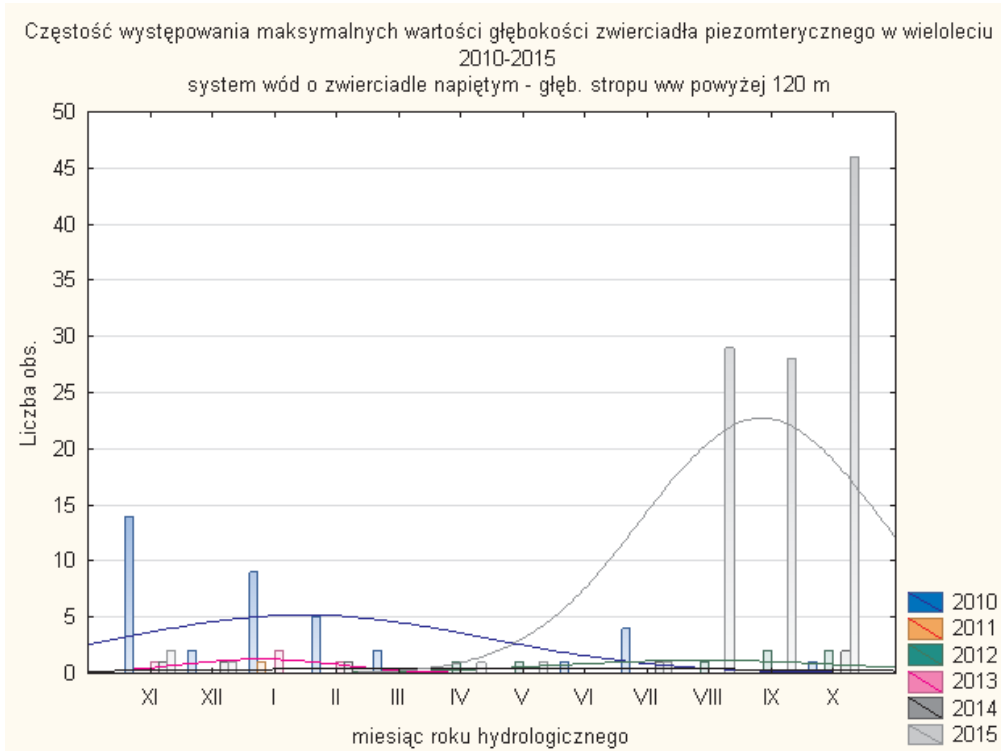


Fig. 4. Rozkład maksymalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle napiętym /B/

Monthly distribution of maximum depths of groundwater levels in individual hydrological years: 2010–2015 – groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m b.g.l. /B/

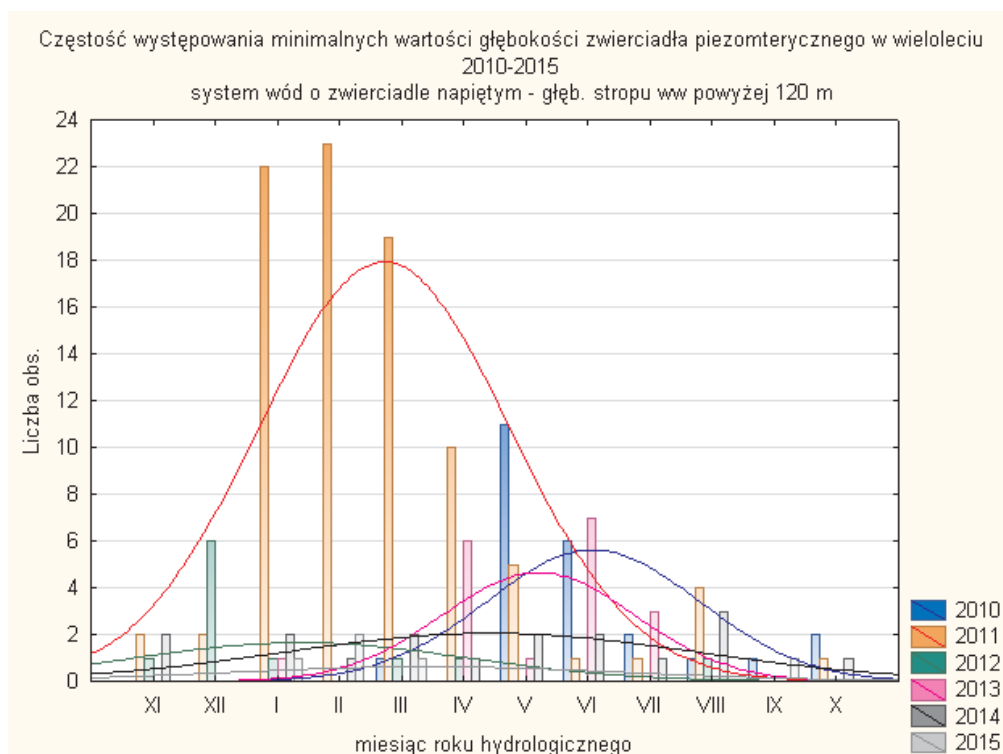


Fig. 5. Rozkład minimalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle napiętym /B/

Monthly distribution of minimum depths of groundwater levels in individual hydrological years: 2010–2015 – groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m b.g.l. /B/

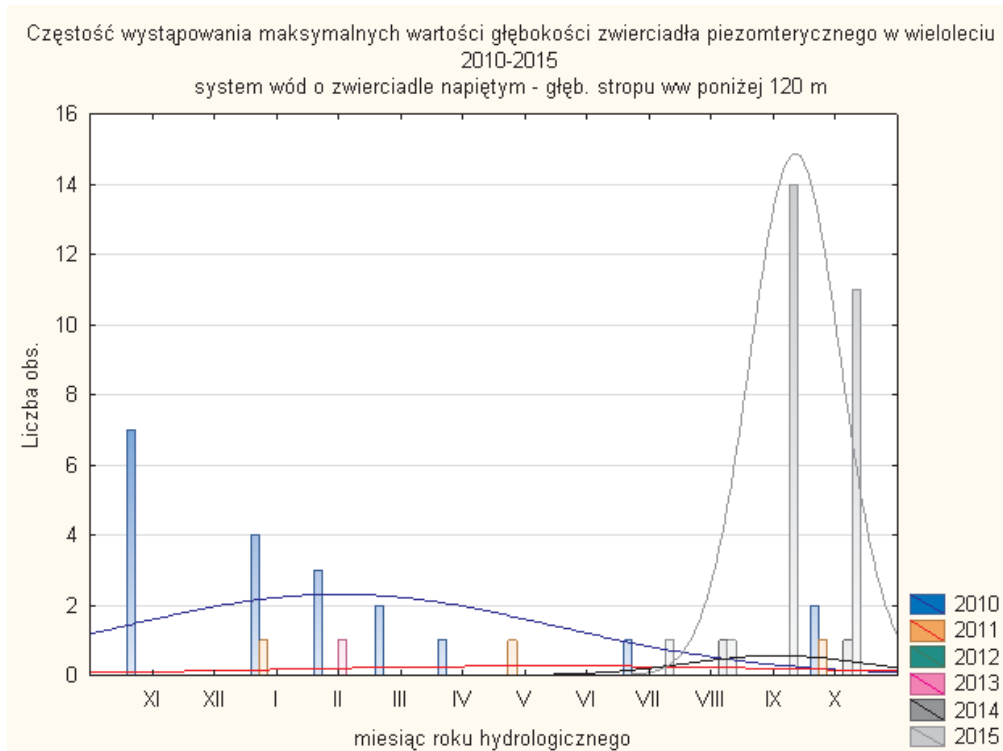


Fig. 6. Rozkład maksymalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle napiętym, głębszy /C/

Monthly distribution of maximum depths of groundwater levels in individual hydrological years: 2010–2015 – groundwater system of confined aquifers occurring deeper than 120 m b.g.l. /C/

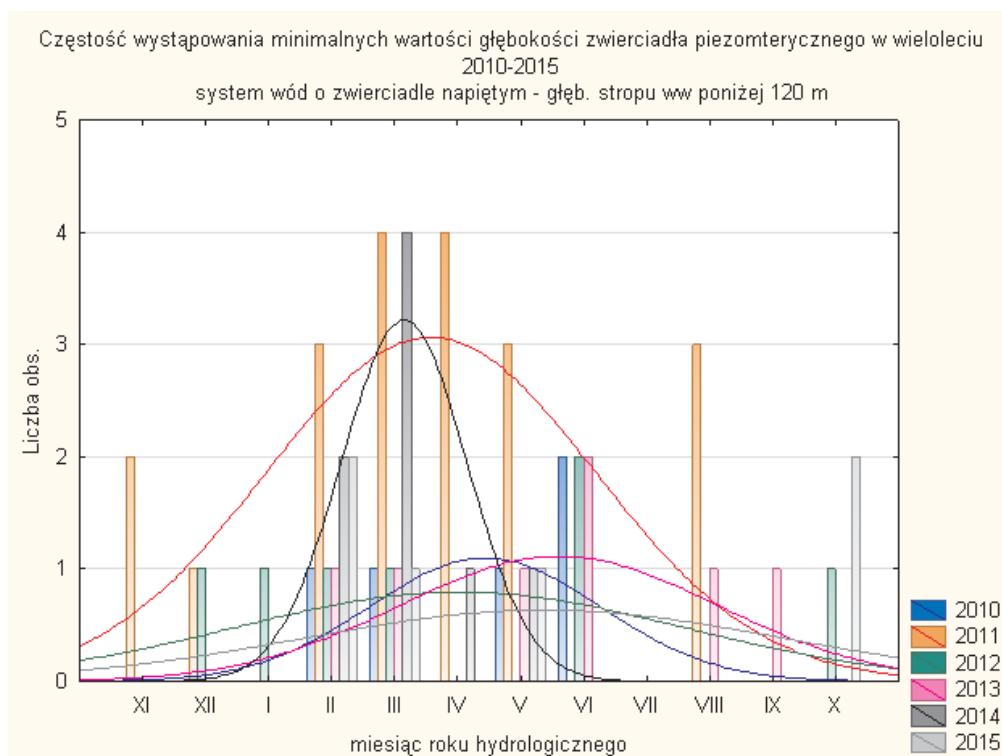


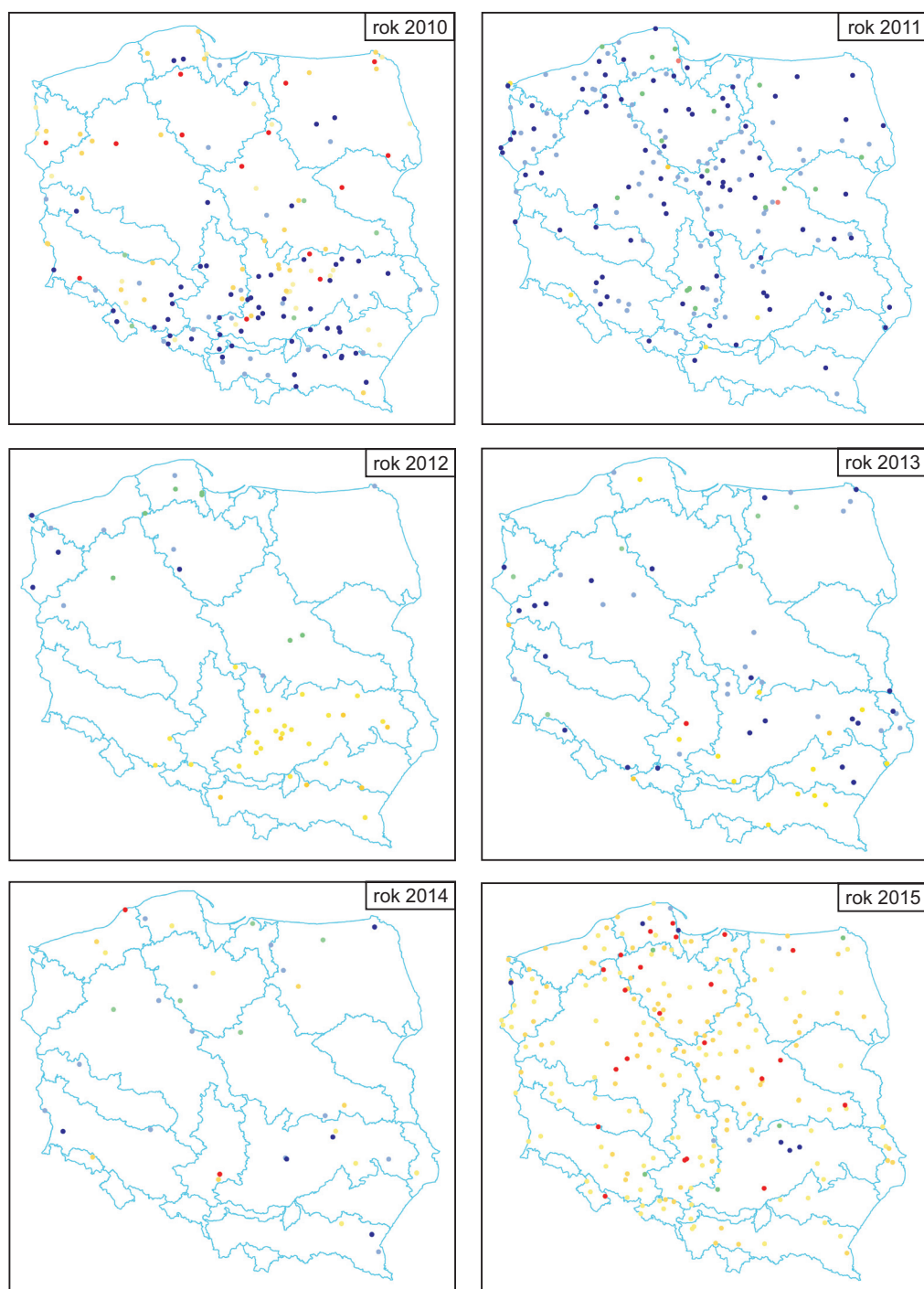
Fig. 7. Rozkład minimalnych wartości głębokości występowania zwierciadła wody w miesiącach roku hydrologicznego w poszczególnych latach wielolecia 2010–2015 – system wód o zwierciadle napiętym, głębszy /C/

Monthly distribution of minimum depths of groundwater levels in individual hydrological years: 2010–2015 – groundwater system of confined aquifers occurring deeper than 120 m b.g.l. /C/

ANALIZA OBSZAROWA ZMIAN SYTUACJI HYDROGEOLOGICZNEJ W LATACH 2010–2015

Analizując zmiany sytuacji hydrogeologicznej w latach 2010–2015 na podstawie występowania ekstremalnych stanów wód podziemnych, uwagę zwraca zmienność przestrzenna występowania stanów ekstremalnych wód podziemnych (fig. 8). W 2010 r. najwyższe stany wód podziemnych stwierdzono przede wszystkim w południowej części Polski, co było wyraźnie związane z intensywnymi opadami i powodzią na obszarze górnej Wisły i Odry (Walczykiewicz, 2011; Tokarczyk, 2011). Jednocześnie, w regionie dolnej Odry, północnej części regionu Warty i północnej części regionu Narwi, Pregoly i Niemna (regionalizacja wg Paczyński, Sadurski, 2007) zanotowano wyłącznie minimalne stany zwierciadła wód podziemnych. Na uwagę zasługuje fakt, że w regionie środkowej Wisły wystąpiła mozaika występowania przeciwnych ekstremów, co oznacza, że sytuacja hydrogeologiczna lokalnie była bardzo zróżnicowana, a jednocześnie ulegała znaczącym zmianom. We wszystkich analizowanych systemach wodonośnych /A, B, C/ największe głębokości zwierciadła wody dominowały bowiem w październiku (pierwszym miesiącu roku hydrologicznego 2010), a najmniejsze odpowiednio w czerwcu (fig. 2–7). W 2011 r. obraz staje się bardziej jednoznaczny – maksymalne stany wód dominują wyraźnie na obszarze całego kraju, minimalne zdarzają się sporadycznie (fig. 8). Warto zwrócić uwagę, że wysokie stany wód podziemnych w 2011 r., które wystą-

piły głównie od stycznia do kwietnia, nie są jedynie konsekwencją sytuacji meteorologicznej i hydrologicznej w maju i czerwcu 2010 r., ale przede wszystkim warunków atmosferycznych przełomu lat hydrologicznych 2010/11. Po falach powodziowych na przełomie maja i czerwca wody podziemne, które w strefach oddziaływania rzek uległy podpiętrzeniu, zaczęły opadać począwszy od pierwszej dekady czerwca w zlewni Odry, a w zlewni Wisły proces ten rozpoczął się o ok. 10 dni później (Komunikat PSH nr 3a/2010). Czerwiec ostatecznie okazał się być miesiącem o sumie opadów w skali kraju poniżej normy. Następne miesiące: lipiec, sierpień były miesiącami o opadach wyższych od średniej, ale ewapotranspiracja w tych miesiącach też była znacząca. Wrzesień był suchy – w wielu punktach obserwacyjnych sieci zwierciadło wód podziemnych zaczęło opadać. Październik i grudzień były w skali kraju miesiącami wilgotnymi. Grudzień był wyjątkowo chłodny, co przy znacznych opadach atmosferycznych sprawiło, że w całej Polsce występowała pokrywa śnieżna o grubości do 1 m. W styczniu nastąpiło gwałtowne ocieplenie, co spowodowało wystąpienie zjawisk roztopowych oraz duże dobowe przyrosty stanów na rzekach. Lokalnie woda wystąpiła z koryt rzecznych i notowano podtopienia (Biuletyn PSHM nr 12(97), 13(98), 1(99)). W wodach podziemnych w 2011 r. w osiągnięciu maksimum liczebności występowania najmniejszych wartości głęboko-



Niskie stany wód podziemnych:

Low groundwater levels:

- w systemie wodonośnym o swobodnym zwierciadle wody
shallow groundwater system of unconfined aquifers
- w systemie wodonośnym o napiętym zwierciadle wody
groundwater system of confined aquifers with a depth to aquifer up to 120 m below ground level
- w systemie wodonośnym o napiętym zwierciadle wody, głębszym
groundwater system of confined aquifers with a depth to aquifer larger than 120 m below ground level

□ region hydrogeologiczny
hydrogeological region

Wysokie stany wód podziemnych:

High groundwater levels:

- w systemie wodonośnym o swobodnym zwierciadle wody
shallow groundwater system of unconfined aquifers
- w systemie wodonośnym o napiętym zwierciadle wody
groundwater system of confined aquifers with a depth to aquifer up to 120 m below ground level
- w systemie wodonośnym o napiętym zwierciadle wody, głębszym
groundwater system of confined aquifers with a depth to aquifer larger than 120 m below ground level

Fig. 8. Lokalizacja punktów sieci obserwacyjno-badawczej, w których w latach 2010–2015 stwierdzono występowanie ekstremalnych stanów wód podziemnych

Spatial distribution of monitoring points with the extreme groundwater levels in individual hydrological years of 2010–2015

ści zwierciadła wód zaobserwowano pewne przesunięcie czasowe – w naj płytszym systemie o swobodnym zwierciadle /A/ najczęściej punktów z ekstremum wartości zanotowano już w styczniu, w systemie o zwierciadle napiętym /B/ w lutym, a w najgłębszym z rozpatrywanych systemów /C/ – w marcu i kwietniu (fig. 2–7). W 2012 r. w skali kraju wyróżnia się południowy obszar, głównie z regionem środkowej Wisły, gdzie pod względem wartości ekstremalnych wyznaczonych dla całego analizowanego sześćdziesięciu lat 2010–2015 występują wyłącznie najniższe stany zwierciadła wody

i obszar północno-zachodni o przeciwnej tendencji, w którym obserwuje się najwyższe stany wód podziemnych (fig. 8). Wskazuje to na silne oddziaływanie zróżnicowanych czynników meteorologicznych na tych obszarach, w kształtowaniu sytuacji hydrogeologicznej. W latach 2012, 2013 i 2014 stany wód podziemnych osiągają stosunkowo mało stanów ekstremalnych (fig. 8). W 2013 r. na północy Polski ilościowo przeważają stany najwyższe, na południu – najniższe (fig. 8). Na 2015 r. przypada natomiast intensywny rozwój zjawiska suszy, której przejawem jest stwierdzona na

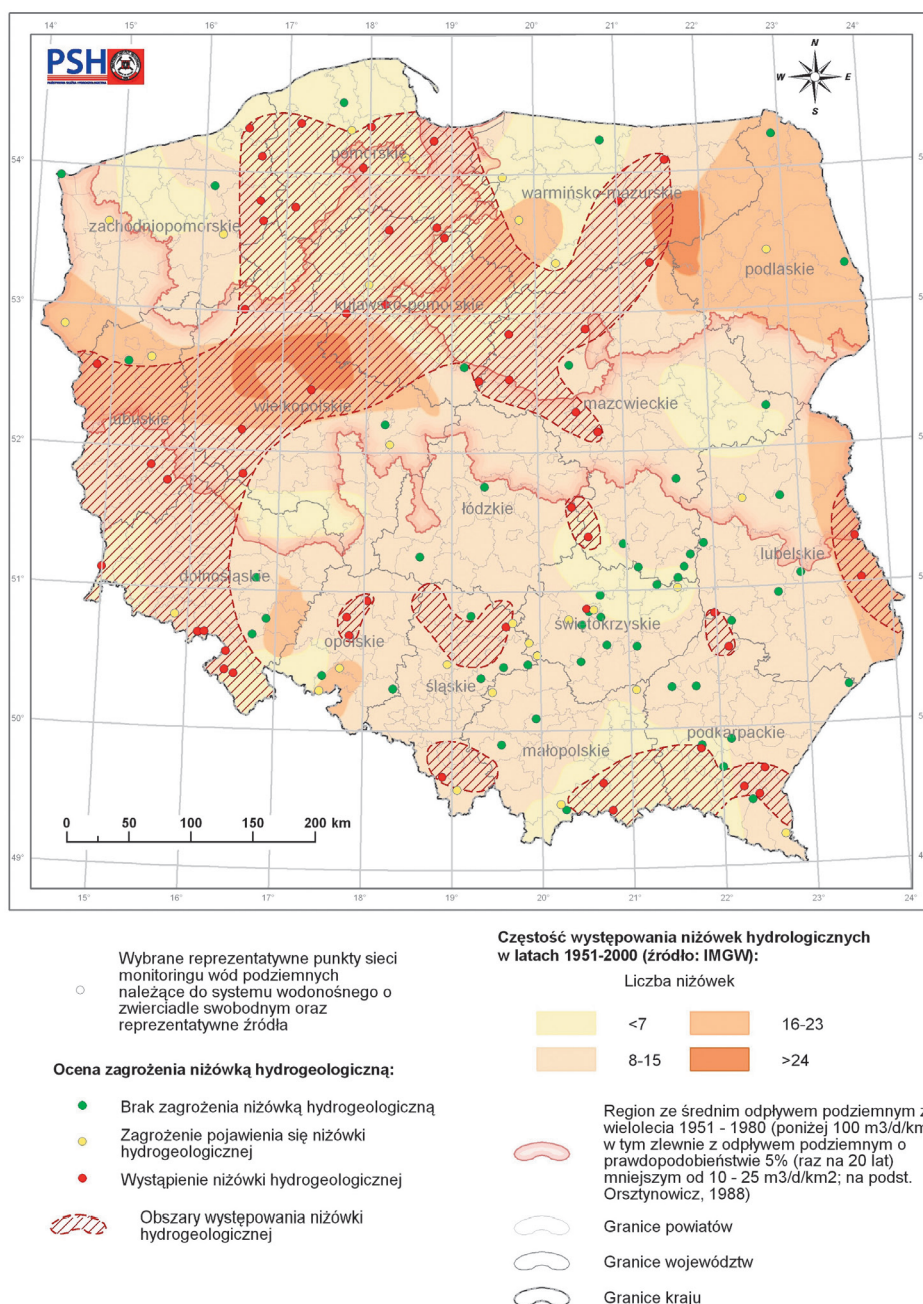


Fig. 9. Mapa z zaznaczonymi obszarami występowania zjawiska niżówki hydrogeologicznej we wrześniu 2015 r. (Komunikat PSH nr 5a/2015)

Map presenting areas of low groundwater levels in September 2015 (PSH Report No. 5a/2015)

znacznym obszarze kraju niżówka hydrogeologiczna. Najintensywniejszy jej przebieg odnotowano na terenie woj. kujawsko-pomorskiego, pomorskiego oraz w północnej części woj. wielkopolskiego i mazowieckiego (Ostrzeżenie PSH nr 1/2015, 2/2015; Komunikat PSH nr 5a/2015) (fig. 9). Przyczyną niskich stanów w płytkich wodach podziemnych był deficyt opadów atmosferycznych na znacznym obszarze kraju, który wystąpił w sezonie letnim i jesiennym. Rok 2015 jest najbardziej suchym rokiem ze wszystkich analizowanych lat, we wszystkich badanych systemach wodonośnych /A, B, C/. Praktycznie na całym obszarze kraju występują wyłącznie ekstremalnie niskie stany zwierciadła wód

podziemnych. Wyjątkiem jest centralno-północna część Regionu środkowej Wisły i pojedyncze punkty na północy Polski (fig. 8). Z przeanalizowanych danych wynika, że wartości minimalnych głębokości zwierciadła wód podziemnych zaczęły być osiągnięte najwcześniej, tj. w lipcu, w najgłębszym z analizowanych systemów /C/, a następnie w sierpniu w płytszych systemach wodonośnych /A, B/. Tak samo kulminację liczebności największych głębokości zwierciadła wód odnotowano w najgłębszym systemie we wrześniu, czyli o miesiąc wcześniej w stosunku do dwóch pozostałych systemów wodonośnych (fig. 2, 4 i 6).

PORÓWNANIE WIELOLECIA 2010–2015 Z DŁUŻSZYMI OKRESAMI OBSERWACJI

W celu zbadania na ile wartości ekstremalne wyznaczone dla lat 2010–2015 były znaczące w szerszej skali czasowej, wyliczono podstawowe miary statystyczne dla zbiorów punktów sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych, reprezentujących wydzielone typy systemów wodonośnych dla badanego okresu 2010–2015 (w układzie lat hydrolo-

gicznych) i równoległe w całym okresie obserwacji (do dnia 31 października 2015 r. – końca roku hydrologicznego 2015) (tab. 2 i 3).

Rozpatrując całościowo analizowane systemy wodonośne, maksymalne wartości głębokości zwierciadła wody w badanych przedziale 6 lat, były bardzo zbliżone do warto-

Tabela 2

Maksymalne głębokości zwierciadła wód podziemnych w punktach sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych reprezentatywnych dla poszczególnych systemów wodonośnych

The maximum depths to groundwater levels in monitoring points representing various groundwater systems

Okres obserwacji /system wodonośny/	Liczba punktów	Min. [m]	Maks. [m]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
cały okres obserwacji /A/	180	1,03	45,20	8,94	94,60
2010–2015 /A/	180	0,63	45,00	8,63	97,06
cały okres obserwacji /B/	165	0,66	45,67	8,65	80,40
2010–2015 /B/	165	0,58	45,67	8,45	84,75
cały okres obserwacji /C/	53	1,38	79,90	18,82	87,69
2010–2015 /C/	53	1,08	74,00	16,23	87,97

Tabela 3

Minimalne głębokości zwierciadła wód podziemnych w punktach sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych reprezentatywnych dla poszczególnych systemów wodonośnych

The minimum depths to groundwater levels in monitoring points representing various groundwater systems

Okres obserwacji /system wodonośny/	Liczba punktów	Min. [m]	Maks. [m]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
cały okres obserwacji /A/	180	-0,70	43,93	8,29	126,05
2010–2015 /A/	180	-0,70	43,93	8,45	121,83
cały okres obserwacji /B/	165	-1,30	38,39	7,66	100,31
2010–2015 /B/	165	-1,30	38,39	8,03	98,15
cały okres obserwacji /C/	53	-0,20	72,64	16,10	98,36
2010–2015 /C/	53	0,66	72,64	16,19	94,32

ści notowanych w całym okresie obserwacyjnym (tab. 2). To samo dotyczy wartości minimalnych (tab. 3). W przypadku maksymalnych głębokości do zwierciadła wody (susza) średnia amplituda wahań dla analizowanego wielolecia jest nieznacznie niższa niż dla całego okresu obserwacji, natomiast w odniesieniu do minimalnych głębokości jest odwrotnie. Pod względem amplitud najbardziej odbiegał wartościami od całego okresu obserwacyjnego system najgłębszy.

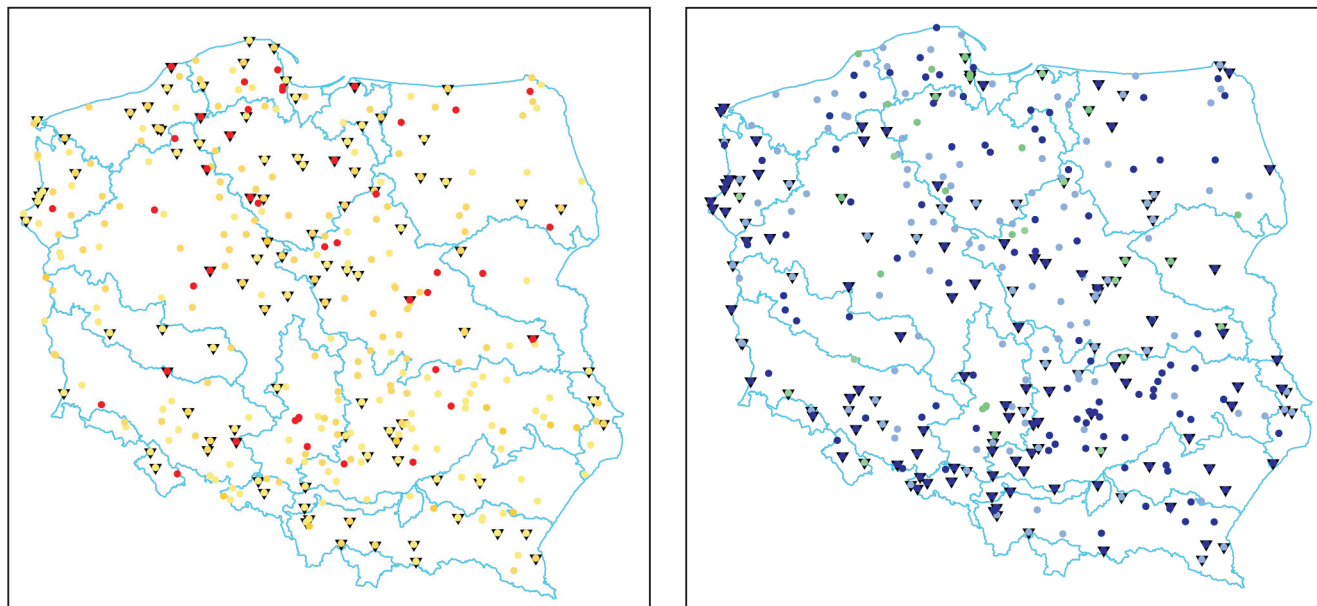
Cechą wyróżniającą analizowany przedział 2010–2015 jest fakt występowania w części punktów, w tym stosunkowo krótkim okresie 6 lat, zarówno ekstremalnych stanów wysokich, jak i niskich, przy czym dla niektórych z nich odnotowano równocześnie ekstremum (minimum lub maksimum) dla całego okresu obserwacji w danym punkcie. Na figurze 10 czarnymi trójkątami zaznaczono te punkty, w których ekstremum wyznaczone dla lat 2010–2015, jest jednocześnie ekstremum dla całego okresu obserwacji.

Analizując cały okres obserwacji sieci monitoringowej, na 180 punktów reprezentujących system wodonośny o zwierciadle swobodnym, aż 114 punktów osiągnęło stany ekstremalne w latach 2010–2015, w tym 82 – stany minimalne, a 60 – stany maksymalne. W zbiorze analizowanych punktów 28 osiągnęło zarówno ekstrema górne, jak i dolne. Są to przede wszystkim punkty o względnie krótkim okresie obserwacji – włączone do sieci monitoringu ok. 10 lat temu (woj. śląskie) lub mające ok. 15 lat obserwacji (woj. wielko-

polskie). Tym niemniej, są wśród nich również punkty o długim okresie obserwacji, głównie w północno-zachodniej części kraju (np. II/532/1 i II/798/1 – woj. pomorskie; II/417/1 – woj. zachodniopomorskie), w których ekstrema z lat 2010–2015 są jednocześnie ekstremami nawet z trzydziestoletniego okresu obserwacji (fig. 11).

Biorąc pod uwagę fakt, że okres obserwacji w sieci różni się znacząco w przypadku poszczególnych analizowanych punktów i charakteryzuje się dużą rozpiętością – najdłuższe obserwacje sięgają 1976 r., osiągając blisko 40 lat, a najkrótsze – tylko ok. 10 lat, w dalszej analizie okres 2010–2015 porównano z wieloleciem 1996–2015 (lata hydrologiczne), przy czym analizą objęto wyłącznie punkty o pełnym okresie obserwacji w tym dwudziestoleciu. Zmniejszyło to liczbę analizowanych punktów do 309. Analogicznie, jak poprzednio rozdzielono również stany ekstremalne, odrębnie poddając analizie maksymalne oraz minimalne wartości głębokości występowania zwierciadła wody podziemnej w punktach obserwacyjno-badawczych (fig. 12, 13).

Z analizy opracowanego w ten sposób materiału wynika, że rok 2015 był rokiem wyjątkowo „suchym” nie tylko w latach 2010–2015, ale również w całym analizowanym dwudziestoleciu. Charakteryzował się znaczącą liczbą punktów (26–43%), w których zanotowano ekstremalnie niskie położenia zwierciadła wód we wszystkich trzech analizowanych grupach punktów. Z kolei rok 2011 zaznacza się wyraźnie



▼ ekstremum niskich stanów dla lat 2010–2015 jest jednocześnie ekstremum dla całego okresu obserwacji w danym punkcie
in this point the extreme groundwater levels occurred in multi-term 2010–2015 is equates the extremum of the whole period of monitoring observation

Pozostałe objaśnienia jak na figurze 8
Other explanations as in Figure 8

Fig. 10. Rozkład przestrzenny punktów obserwacyjno-badawczych, w których stwierdzono występowanie ekstremalnych stanów wód podziemnych w latach 2010–2015 w odniesieniu do całego okresu obserwacji

Location of the monitoring points in which the extreme groundwater levels occurred in the period 2010–2015, taking under consideration the whole period of monitoring observation

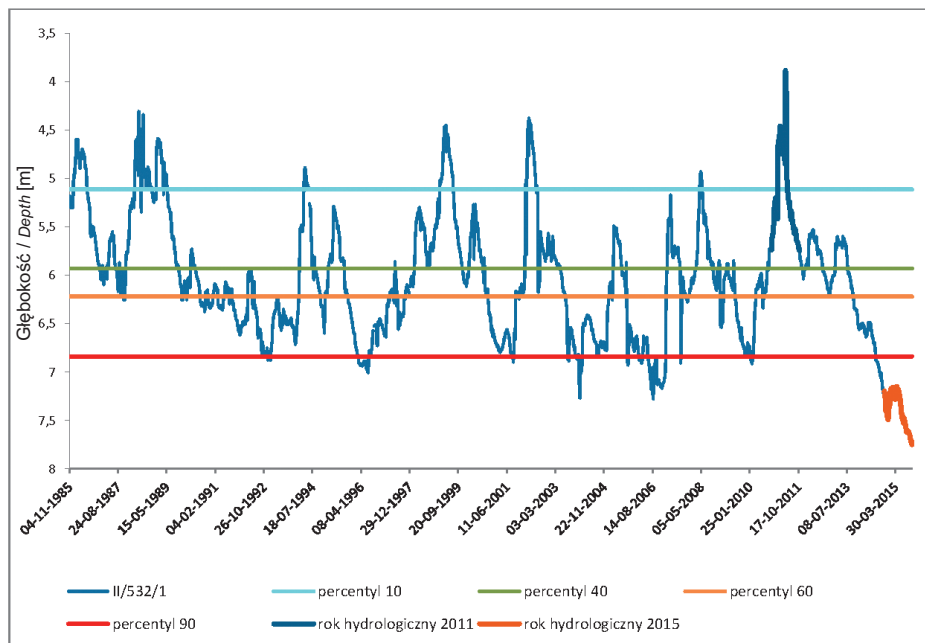


Fig. 11. Wykres obserwacji położenia zwierciadła wody w punkcie sieci obserwacyjno-badawczej nr II/532/1 (stacja hydrogeologiczna: Rzeczenica, woj. pomorskie)

Graph of groundwater levels at monitoring point No. II/532/1 (hydrogeological station: Rzeczenica, Pomeranian Voivodeship)

jako rok „mokry” – tym niemniej, udział punktów osiągających ekstremum w tym roku jest zdecydowanie mniejszy niż w przypadku roku 2015 (15–23%). Największą procentową liczbę punktów osiągającą ekstremum w latach 2011 i 2015 odnotowano w przypadku systemu o zwierciadle napiętym /B/. Jednocześnie w systemie najgłębszym /C/ udział roku 2015 w ekstremalnie najniższych stanach wód (fig. 12C), a roku 2011 odpowiednio – w najniższych (fig. 13C), jest

stosunkowo najmniejszy. Zwraca jednak uwagę, że reakcja na podniesienie się zwierciadła wody w 2011 r. jest bardziej rozłożona w czasie w tej grupie punktów i przenosi się w znacznie większym stopniu na kolejne lata (znacznie wyższy procent udziału maksymalnych stanów wód w latach 2012 i 2013 w porównaniu z pozostałymi systemami). Z kolei 2010 jako rok ekstremalnie wysokich stanów wód podziemnych w systemie najgłębszym /C/ nie zaznaczył się w ogóle (0%).

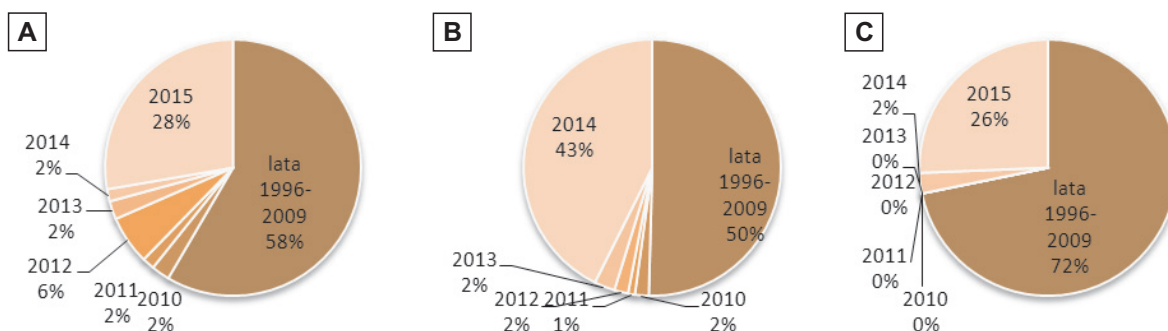


Fig. 12. Częstość osiągania maksymalnych głębokości zwierciadła wód podziemnych w wieloleciu 1996–2015 (lata hydrologiczne) – wyliczono wyłącznie na podstawie punktów o pełnym okresie obserwacji 1996–2015

A. System wód o zwierciadle swobodnym (liczebność: 135 punktów). **B.** System wód o zwierciadle napiętym (liczebność: 135 punktów). **C.** System wód o zwierciadle napiętym, głębszy (liczebność: 39 punktów)

Frequency of occurrence of maximum depths to the groundwater level in a period 1996–2015 (hydrological years) – calculated exclusively for the monitoring points with complete time series in 1996–2015

A. Shallow groundwater system of unconfined aquifers (number of monitoring points: 135). **B.** Groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m b.g.l. (number of monitoring points: 135). **C.** Groundwater system of confined aquifers occurring deeper than 120 m b.g.l. (number of monitoring points: 39)

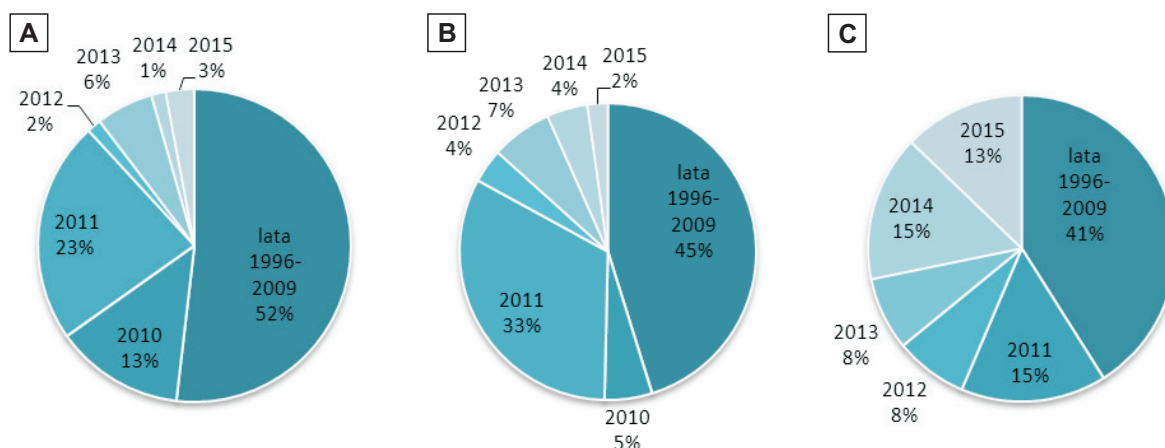


Fig. 13. Częstość osiągnięcia minimalnych głębokości zwierciadła wód podziemnych w wieloleciu 1996–2015 (lata hydrologiczne) – wyliczono wyłącznie na podstawie punktów o pełnym okresie obserwacji 1996–2015

A. System wód o zwierciadle swobodnym (liczebność: 135 punktów). B. System wód o zwierciadle napiętym (liczebność: 135 punktów). C. System wód o zwierciadle napiętym, głębszy (liczebność: 39 punktów)

Frequency of occurrence of minimum depths to the groundwater level in a period 1996–2015 (hydrological years) – calculated exclusively for the monitoring points with complete time series in 1996–2015

A. Shallow groundwater system of unconfined aquifers (number of monitoring points: 135). B. Groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m b.g.l. (number of monitoring points: 135). C. Groundwater system of confined aquifers occurring deeper than 120 m b.g.l. (number of monitoring points: 39)

WNIOSKI

Wielolecie 2010–2015 wyróżnia się na tle dłuższych okresów obserwacji występowaniem ekstremalnych zjawisk hydrologicznych. W wyniku zaistniałej sytuacji meteorologicznej w 2010 r. miała miejsce jedna z największych powodzi ostatniego stulecia, a w 2015 r. rozwinęła się na znacznym obszarze kraju susza. Te skrajne zdarzenia znajdują odzwierciedlenie w stanach wód podziemnych. W wydzielonych typach systemów wodonośnych /A, B, C/ stwierdzono zróżnicowaną reakcję wód podziemnych na sytuację hydrologiczno-meteorologiczną. W wyniku analizy ustalono, że w skali kraju w wodach podziemnych w badanych latach ekstremum najwyższych stanów przypada na 2011 r., a w 2015 r. zaobserwowano dominującą tendencję do wy-

stępowania stanów najniższych. W systemie o swobodnym zwierciadle wody /A/ niskie stany wód są związane z występowaniem niżówki hydrogeologicznej. Aktualne prognozy PSH wskazują na możliwość dalszej propagacji czasowej i obszarowej tego niekorzystnego z punktu gospodarczego i ekologicznego (ekosystemów zależnych od wód podziemnych) zjawiska. Prowadzone cyklicznie obserwacje położenia zwierciadła wód, uzupełnione o analizę zmian sytuacji meteorologicznej i hydrologicznej, umożliwiają badanie zaistniałych zdarzeń ekstremalnych i ich prognozowanie, co ma kluczowe znaczenie w podejmowaniu działań mających na celu efektywne łagodzenie skutków suszy i podtopień.

LITERATURA

- BIULETYNY Państwowej Służby Meteorologiczno-hydrologicznej – nr 12(97), nr 13(98), nr 1(99), IMGW, Warszawa.
- KOMUNIKAT o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej w kraju nr 2a/2010, PSH, PIG-PIB, Warszawa.
- KOMUNIKAT o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej dla obszaru, w którego obrębie stwierdzono występowanie stanu zagrożenia hydrogeologicznego nr 3a/2010, PSH, PIG-PIB, Warszawa.
- KOMUNIKAT o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej dla obszaru, w którego obrębie stwierdzono występowanie stanu zagrożenia hydrogeologicznego nr 5a/2015, PSH, PIG-PIB, Warszawa.
- OSTRZEŻENIE państwowej służby hydrogeologicznej nr 1/2015. PSH, PIG-PIB, Warszawa.
- MITRĘGA J., 2013 — Kryteria doboru punktów do prognoz i komunikatów państwowej służby hydrogeologicznej [mat. niepublik.]. Arch. PSH, PIG-BIP, Warszawa.
- OSTRZEŻENIE państwowej służby hydrogeologicznej nr 2/2015. PSH, PIG-PIB, Warszawa.
- PACZYŃSKI B., 2002 — Systemy nieprzeobrażonych antropogenicznie zwykłych wód podziemnych Polski. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **400**: 37–55.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 — Hydrogeologia regionalna Polski, t. I – Wody słodkie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- TOKARCZYK T., 2011 — Analiza przebiegu sytuacji meteorologicznej i hydrologicznej oraz skutków powodzi 2010 w dorzeczu Odry. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB.
- WALCZYKIEWICZ T., 2011 — Monografia powodzi – Wisła maj– czerwiec 2010. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB.

SUMMARY

The variability of meteorological conditions causes groundwater levels changing in short- and long-term natural cycles. Within the past six hydrological years, extreme hydrological events, including both floods and droughts, were recorded in Poland. These extreme events have affected groundwater levels. Both the amplitude of fluctuations (range) and dynamics of observed changes in the groundwater levels were exceptionally high during the considered period.

The analysis of extreme groundwater levels during the period was undertaken based on data from the national groundwater monitoring network of the Polish Geological Institute – National Research Institute, from locations identified as representative for undertaking a systematical national assessment of hydrogeological situation by the Polish Hydrogeological Survey. Furthermore, the selected observation points were grouped into three classes representing different hydrogeological systems:

- Class A: points representing a shallow groundwater system of unconfined aquifers and/or locally confined aquifers with a piezometric pressure up to 10 m above the aquifer's top.
- Class B: points representing groundwater system of confined aquifers occurring down to a depth of 120 m below ground level.
- Class C: points representing the groundwater system of confined aquifers occurring deeper than 120 m below ground level.

The analysis was carried out for nearly 400 monitoring points, including 180 locations tested within class A, 165 within class B, and 53 within class C. Statistical calculations indicate that the greatest number of points with the maximum groundwater levels were not during the 2010 flood but in 2011 – *i.e.* more than half a year after the flood. Furthermore, for all the three groups of the monitoring points, representing different types of hydrogeological systems /A, B, C/, 2015 was the year when the highest number of the lowest groundwater levels were observed. It seems interesting that the second year with the highest number of the lowest

groundwater levels was 2010. The study also reveals the dependence between the groundwater levels and the hydrogeological systems – the deeper the system, the greater the number of the lowest groundwater levels at the monitoring points in 2010 (despite the flood) compared with the other years of investigated period. The greatest number of the highest groundwater levels in all groups /A, B, C/ was recorded in 2011. The second year with this respect is 2010, with exception of the deepest hydrogeological system /C/, where there was the lowest number of the highest groundwater levels in 2011, compared with the other years from the entire six-years' period. Year 2010, as the second-highest in the number of the highest groundwater levels, is marked most clearly in system/class A. This is undoubtedly due to both high water levels in the major rivers of Poland, and the flood that occurred in May and June that year. The flood impact on deeper systems /B, C/ is much weaker.

Apart from extreme years of 2011 and 2015, there is a significant heterogeneity in occurrences of the lowest and the highest groundwater levels in the country. For example, in 2010, the highest groundwater levels were found mainly in southern Poland, which was related to intensive rainfalls and a flood in the upper Vistula and Odra rivers. At the same time, the lowest groundwater levels were recorded in the region of the lower Odra River, northern parts of the Warta region, and the Narew, Pregolya and Nemunas regions. It is worth noting that a mosaic of opposite extreme levels occurred in the region of the middle Vistula River at that time, which means that the hydrogeological situation was highly variable and changing on local scales.

A comparative analysis of the periods of 2010–2015 and 1996–2015 was also performed. This shows that 2015 was an extremely 'dry' year, not only during the last six years, but also during the last 20 years, whereas 2011 was extremely 'wet'. However, the number of monitoring points with extreme levels during that year was significantly lower than in 2015. It might raise concerns because the 2015 drought has continued and, according to the latest forecast, it may intensify in the nearest months.