

**Aneta Afelt\***  
**Monika Oksiuta\*\***

## **OSIĄGANIE STANÓW EKSTREMALNYCH PRZEZ WODY PODZIEMNE**

### **Extremes of groundwater level fluctuation**

**Abstract.** The fluctuation of groundwater level in the period 1960-2000 for 49 measurement stations located in 19 catchements has been analysed. It was observed that extremes were achieved asynchronously in the period studied. Regional co-variability as regards the frequency of occurrence and the duration of extremes, as well as their multi-annual changes during the period studied has been found, in the following types of catchements: mountain, lowland and Mazurian Lakeland, coastal rivers (Pomeranian Lakeland) and, separately, aquifer horizons related to lake systems. No statistically significant tendencies in the changes of high and low levels of groundwater have been observed. The relationship of groundwater extremes to those of surface water is best defined in the upper segments of the mountain valleys. A statistically significant consistency of direction of groundwater and surface water level movements has been observed in the river valleys of lakeland catchements: the delay is at least one week. The fluctuation of extremes in the multi-annual period is periodic; it is consistent with the occurrence of periods of intense precipitation or its deficit.

**Słowa kluczowe:** wahanie wód podziemnych, cykliczność wahań, regionalna synchroniczność ekstremów wód podziemnych

**Key words:** groundwater fluctuation, periodicity of fluctuations, regional synchronicity of groundwater extremes

### **WSTĘP**

Wody podziemne w cyklu hydrologicznym są ogniwem o najmniejszej dynamice. Decyduje o tym izolacja od bezpośredniego zasilania oraz warunki hydrogeologiczne, sterujące kierunkiem i natężeniem ruchu wody. Są one jedno-

---

\* e-mail: akafelt@uw.edu.pl

\*\* e-mail: m.oksiuta@uw.edu.pl

częście zapleczem, z którego pochodzi zasilanie wód powierzchniowych w okresach bez alimentacji atmosferycznej. W ostatnich latach dużo uwagi poświęca się zmianom klimatycznym, które decydują o wielkości i rozkładzie zasilania atmosferycznego, co w konsekwencji wpływa na rytm wód freatycznych (Gutry-Korycka 1998, Chen i.in. 2004, Bates i.in. 2008, Marshall, Randhir, 2008).

Badania nad występowaniem płytkich wód podziemnych prowadzone są od dziesięcioleci. Jednym z kierunków jest analiza dynamiki ich zwierciadła, charakteryzująca zmienność nie tylko czasową, ale również przestrzenną (Konoplancew, Siemionow 1979). Podejmowano liczne próby klasyfikacji zmienności stanów wód podziemnych, poszukując prawidłowości w ich przebiegu sezonowym, wieloletnim czy przestrzennym. Do ważnych prac o charakterze regionalnym w Polsce należą publikacje Paszczyka (1973), Dynowskiej i Piertygowej (1978), Tomaszewskiego (1990), Chełmickiego (1991, 1993). Za syntezę tego kierunku badawczego można uznać podział obszaru kraju na makroregiony i regiony hydrogeologiczne (Paczyński 1995), do których m.in. odnoszone są prognozy hydrogeologiczne dla swobodnego zwierciadła wód podziemnych, sporządzane przez Państwową Służbę Hydrogeologiczną (Komunikaty i prognozy... 2009).

Cechą płytkich horyzontów wodonośnych jest z jednej strony bezwładność – rozciągnięte w czasie reagowanie na zasilanie, z drugiej jednak – zróżnicowany w następujących kolejno sezonach przebieg zmienności stanów lustra wody, na co zwraca uwagę Chełmicki (1991). Celem artykułu jest ocena wieloletniego przebiegu skrajnych stanów lustra płytkich wód podziemnych. Do analizy wytypowano 49 posterunków IMGW. Skrajne położenia lustra wody podziemnej badano jako wystąpienia zdarzenia, jego częstość, czas niezbędny do osiągnięcia i trwania stanu ekstremalnego oraz zmienność sezonową w odniesieniu do wielolecia 1961–2000.

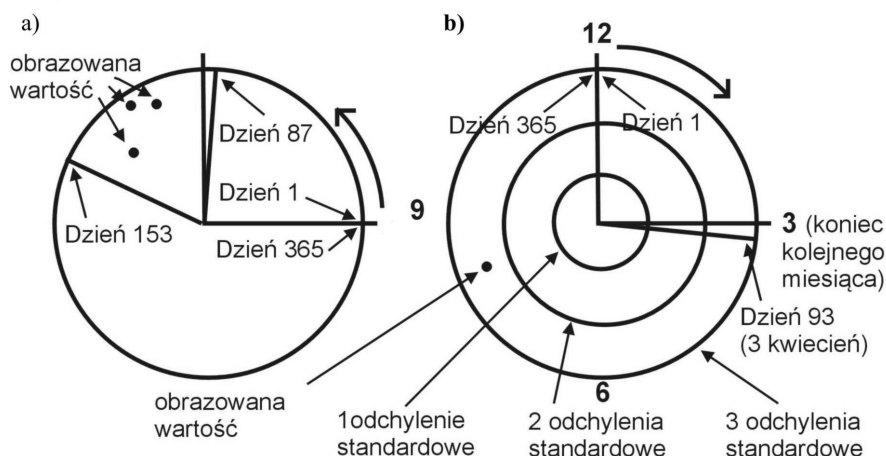
## METODY ANALIZY STANÓW WÓD PODZIEMNYCH

Stany ekstremalne wód freatycznych wskazują osiągnięcie w danym czasie przez warstwę wodonośną maksymalnej zasobności – co odpowiada stanowi WW (stan wody I rzędu) w roku hydrologicznym, WWW w wieloleciu (stan wody II rzędu), oraz osiągnięcia minimalnej zasobności – czyli odpowiednio NW i NNW. W celu wykrycia wieloletniej tendencji w przebiegu skrajnych stanów wód podziemnych, przeanalizowano przebieg zmienności rocznych stanów ekstremalnych (WW oraz NW). Istotność zdarzeń ekstremalnych w odniesieniu do wieloletniej zmienności zwierciadła wód podziemnych opisano następującymi charakterystykami: stan absolutny maksymalny WWW (wartość i data); czas trwania stanów wysokich od przekroczenia SWW oraz częstości

przekraczania wartości granicznej SWW. Analogiczne charakterystyki wieloletnie dotyczyły wartości minimalnych.

Podobieństwo synchronizacji ekstremalnych stanów zwierciadła wód podziemnych (osiągnięcia WWW oraz NNW) zilustrowano za pomocą metody Burna (1997), stosowaną oryginalnie do wyznaczenia podobieństwa regionalnej częstotliwości występowania wezbrań (De Michale, Rosso 2002). Jest to wykres kołowy promienisty ilustrujący za pomocą dwóch parametrów (rys.1): czas wystąpienia zdarzenia (jako miara kątowa – kąt pełny oznacza całkowity okres analizowany), zaś długość promienia określa osiągniętą wielkość (może go stanowić dowolna wartość względna lub bezwzględna). Wprowadzono niewielką modyfikację oryginalnej metody, przesuując początek układu współrzędnych na godzinę dwunastą, tak by końcowi każdego miesiąca w przybliżeniu odpowiadał punkt na zegarze oznaczający godzinę o tej samej cyfrze (np. punkt godziny pierwszej to 31 stycznia (rys.1)).

Zastosowano dwa warianty oceny zmienności zwierciadła wód podziemnych. Pierwszy, klasyczny wykres Burna, traktuje kąt pełny jako cały rok hydrologiczny. Datę (dzień i miesiąc) i wartość wystąpienia danego stanu przedstawia się w postaci odpowiednio umiejscowionego na polu diagramu punktu (rys.1). Rozkład przestrzenny danych na wykresie umożliwia ocenę istnienia sezonowości występowania danego zjawiska, tu rozrzutu wystąpienia stanów ekstremalnych w ciągu roku. W drugim wariantcie analizy kąt pełny określa całość zastosowanego okresu pomiarowego, którego początek



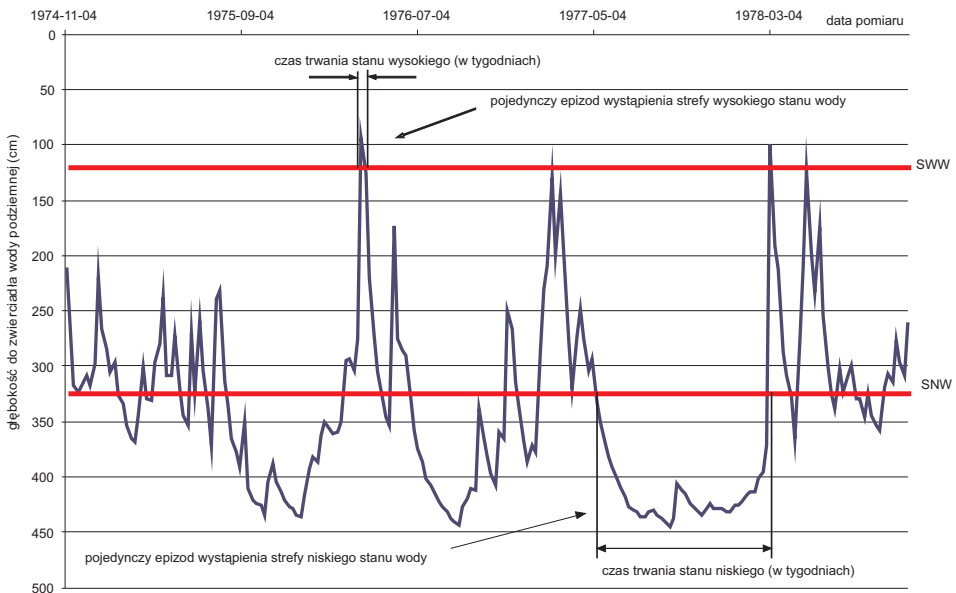
**Rys. 1.** Schemat interpretacji wykresów Burna, wersja klasyczna (a) i wersja zmodyfikowana (wg Burn 1997, Afelt, Oksiuta)

**Fig. 1.** Outline of interpretation of Burn graphs, (a) classical version and (b) modified version (after Burn 1997, Afelt, Oksiuta)

również znajduje się w punkcie godziny dwunastej. Tarcza wykresu rozdzielona została na poszczególne lata hydrologiczne – w tym przypadku analizowano synchroniczność (miesiąc i rok) osiągnięcia stanów ekstremalnych wód podziemnych.

Parametrem ilościowym zobrazowanym na wykresie Burna są stany ekstremalne wód podziemnych wyrażone ilością odchyień standardowych ( $1 \div n$ ) od SSW w wieloleciu, zaznaczone w postaci kolejnych, współśrodkowych okręgów, z których każdy odpowiada kolejnemu odchyleniu standardowemu. Zastosowanie miary względnej umożliwia ilościowe przedstawienie i porównanie wartości stanu ekstremalnego dla całej populacji, niezależnie od parametrów środowiskowych, jakie charakteryzują.

Częstość występowania i czas trwania w wieloleciu skrajnych stanów wód podziemnych została wyznaczona wg kryterium granicznego, oznaczającego stan wody II rzędu: SSW spośród corocznych stanów maksymalnych (WW) oraz analogicznie dla stanów minimalnych – SNW spośród NW (Kazimierski 2008). W celu wyznaczenia w wieloleciu wymienionych parametrów, przeprowadzona została dekompozycja poszczególnych serii pomiarowych na 2 odrębne zbiory (rys. 2): (1) stany wody  $\geq$ SSW oraz (2) stany wody  $\leq$ SNW, rozdzielone różnej długości okresami występowania lustra wód podziemnych



**Rys. 2.** Stany wód podziemnych w wieloleciu: separacja ciągu pomiarowego – wyznaczanie stanów charakterystycznych

**Fig. 2.** Groundwater levels in the multi-annual period: separation of measurement series – determination of characteristic levels

w przedziale pośrednim. W rezultacie uzyskano specyficzną dla poszczególnych serii pomiarowych, ale statystycznie porównywalną dla grupy, informację o liczbie epizodów kształtowania się lustra wód podziemnych w strefie stanów skrajnych (niskich, wysokich). Parametr częstości występowania to liczba epizodów z wystąpieniem stanu wód podziemnych jako okres nieprzerwanego położenia lustra wody w strefie stanów spełniających kryterium. Czas trwania odnosi się bezpośrednio do okresu, kiedy zwierciadło horyzontu wodonośnego nieprzerwanie położone jest w obrębie wyznaczonej strefy zmienności.

Do analizy zdarzeń ekstremalnych wód podziemnych wytypowano ogółem 49 posterunków, rozmieszczonych w obrębie 21 zlewni (tab.1, rys. 3), będących przedmiotem badań w ramach podzadania 2.2. Do opracowania wykorzystano dane z wielolecia 1961–2000 (wartości corocznych NW i WW), w tym dla lat 1971–1990 zestawiono pełne, jednorodnie statystycznie serie pomiarów stanów wód podziemnych (30 posterunków, usytuowanych w 17 zlewniach). Długość zestawionych ciągów pomiarowych jest wystarczająca do uzyskania wiarygodnych obliczeń statystycznych (Kazimierski i in. 2008). Przeważająca liczba posterunków niestety objęta jest programem pomiarowym z częstością raz w tygodniu, co nie gwarantuje pełnej i wiarygodnej informacji o dynamice ujmowanego horyzontu wodonośnego.

Posterunki pomiarowe reprezentują 3 makroregiony hydrogeologiczne (Paczyński i in. 1995): północno-zachodni (zlewnie: Iny, Regi, Wierzycy, Wda), północno-wschodni (zlewnie: Nurzca, Świdra, Utraty, Liwca, Skrwy Prawej, Kretyni, Rospudy, Pasłęki, Omulwi, Orzyca, Ełku, Czarnej Hańczy) oraz południowy (zlewnie: Soły, Skawy, Sanu, Wiśłoki, Białej Łądeckiej).

Położenie morfologiczne posterunków jest bardzo zróżnicowane – 16 o położeniu wierzchwinowym, 12 – stokowe i podstokowe oraz 11 w dolinach rzecznych różnej rangi i obniżeniach jeziornych. Głębokość do pierwszego zwierciadła wód podziemnych w grupie zawiera się w przedziale od 1 do 9 m p.p.t., przeważająco od 2 do 5 m. Posterunki pomiarowe reprezentują horyzonty wodonośne porowe (typowe dla obszarów o genezie polodowcowej) i porowo-szczelinowe (typowe dla obszarów górskich – makroregion południowy). Jedynie w grupie posterunków karpackich parametry hydrogeologiczne warstw wodonośnych można uznać za zbliżone (Pietryga 1971, 1975, Czeppe 1971, Duda i.in. 2006). Horyzont wód gruntowych jest tu wykształcony w obrębie okruchowych i różnoziarnistych osadów dolin rzecznych. Pozostałe posterunki ujmują wody podziemne w bardzo zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych. Warstwy wodonośne wykształcone są w osadach czwartorzędowych o zróżnicowanej litologii, często o niepełnej izolacji i zmiennym przestrzennie wykształceniu litologicznym (Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, Mapa Gleb Polski w skali 1:300 000). W grupie tej występują posterunki reprezentujące (tab. 1):

**Tab. 1.** Posterunki wód podziemnych IMGW: warunki hydrogeologiczne  
**Tab. 1.** Groundwater measurement stations of IMGW – hydrogeological conditions

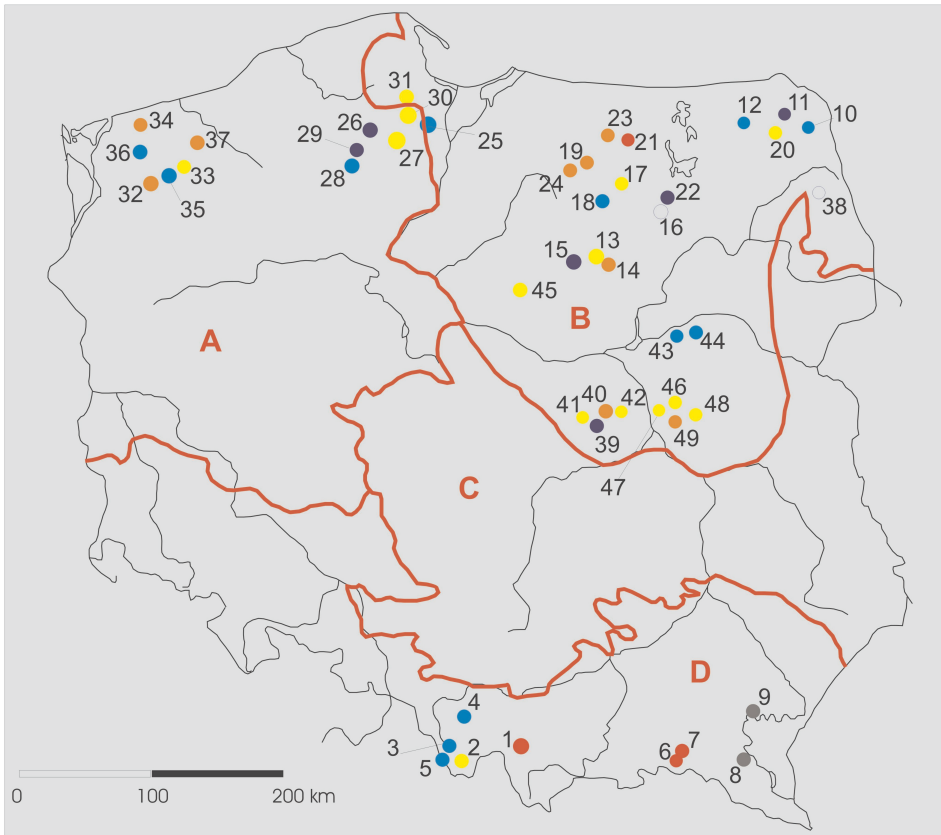
L.p.	Posterunek	Warunki hydrogeologiczne	Zlewnia topograficzna	Makroregion hydro-geologiczny	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
1	Skawa	dolina wypreparowana w skałach fliszowych, pokrywa zwietrzelinę frakcji głównie grubej	Skawa	D – południowy	
2	Sobolówka	dolina wciósowa wypreparowana w skałach fliszowych, cienka pokrywa zwietrzelinę	Soła		
3	Rajcza	dolina wypełniona zwietrzeliną okruchową frakcji grubej i średniej			
4	Żywiec	dolina wypreparowana w skałach litych, wypełnienie zwietrzeliną okruchową frakcji średniej i drobnej, duża domieszka materiału drobnociarnistego			
5	Rycerka Górna	dolina wypełniona zwietrzeliną okruchową frakcji grubej i średniej			
6	Wyszowatka	dolina o małym spadku i rozległym dnie, wypełniona zwietrzeliną skał fliszowych	Wisłoka		
7	Krępna	rozległa dolina o umiarkowanym spadku, wypełnienie materiałem wietrzeniowym o różnicowanej frakcji			
8	Czaszyn	dolina kręta, wypełniona różnicowaną frakcją zwietrzelinę fliszowej	Ośława		
9	Lutowiska	dolina wypełniona zwietrzeliną skał fliszowych, materiał o różnicowanej granulacji	San		
10	Stary Folwark	sady polodowcowe, liczne przewarstwienia serii o różnicowanej przepuszczalności, horyzont naglinowy, bezpośrednie zasilanie przez serię piasków	Czarna Hańcza		B – północno-wschodni
11	Suwałki	dolina wypełniona osadami fluwalnymi, strefa bocznego zasilania doliny Czarnej Hańczy z drenowanych horyzontów			
12	Czerwonny Dwór	osady polodowcowe, strefa morenowa, osady o dużym zróżnicowaniu litologicznym, ujmowany horyzont śródoglinowy	Elk		

		B – północno-wschodni	
13	Krzynówłoga Mała	osady polodowcowe, ujmowane 2 horyzonty – śródoglinowy i naglinowy, korzystne warunki zasilania powierzchniowego – warstwa piasków	Orzyc
14	Pszasznysz	osady polodowcowe, płytko występujący pierwszy naglinowy horyzont wodonośny, ujmowane 2 horyzonty	
15	Wieczfnia Kościelna	osady fluwialne wypełniające dolinę, nacinane horyzonty śródoglinowe	Omulew
16	Czarnia	osady modoglacjalne, duże zróżnicowanie wykształcenia litologicznego, horyzont naglinowy w obrębie osadów o zróżnicowanej przepuszczalności	
17	Jedwabno	ujęty horyzont podglinowy, rozległa warstwa wodonośna, ograniczone warunki zasilania bezpośredniego	Pasłęka
18	Wielbark	ujmowany horyzont śródoglinowy o dużym rozprzestrzenieniu, nadległa warstwa o niskiej przepuszczalności, dobra izolacja warstwy wodonośnej od bezpośredniego zasilania	
19	Tomaryny	ujmowane 2 horyzonty: naglinowy i śródoglinowy, korzystne warunki zasilania płytkich wód gruntowych przez piaski polodowcowe, niższy horyzont o stabilnych zasobach	Rospuda
20	Cimochy	płytki naglinowy horyzont wodonośny, korzystne warunki zasilania bezpośredniego	Krutynia
21	Nawiady	ujmowany głęboki horyzont podglinowy (18 m p.p.t.), ograniczone warunki zasilania	
22	Spychowo	ujmowany horyzont naglinowy	Łyna
23	Ukta	ujmowany horyzont śródoglinowy, warunki zasilania zróżnicowane różnorodnym wykształceniem litologicznym warstw nadległych	
24	Olsztyn-Dajtki	ujmowany horyzont śródoglinowy, ograniczone warunki zasilania bezpośredniego wkładkami gliny	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
25	Bobowo	strefa moreny czołowej, zróżnicowane warunki litologiczne z przewagą glin o nieciągłym wykształceniu przestrzennym	Wierzyca	A – północno-zachodni
26	Czarna Woda	typowy horyzont płytki, wykształcony w odkrytych piaskach zdeponowanych na glinie		
27	Śliwice	ujmowany horyzont śródglinowy, izolacja od góry niepełna – niejednorodne płyty gliny		
28	Brusy	ujmowany horyzont śródglinowy, dobrze izolowany, nie związany z lokalnym systemem drenażowym	Wda	
29	Korne	pierwszy horyzont wodonośny, wykształcony w zróżnicowanych utworach polodowcowych o niejednorodnym wykształceniu		
30	Leosia	zasilanie boczne z drenażu horyzontów nacinanych przez dolinę rzeczną		
31	Sierosław	ujmowany horyzont śródglinowy, dobrze izolowany nadległymi utworami trudoprzepuszczalnymi		
32	Lisowo	ujęte co najmniej 2 horyzonty wodonośne, górny bezpośrednio zasilany atmosferycznie o bardzo dobrej przepuszczalności, niższy śródglinowy	Ina	
33	Łobez	wody typowe dla osadów fluwialnych dolin rzecznych w ściśłym związku z wodami powierzchniowymi oraz zasilanie boczne z horyzontów drenowanych w wyniku wcięcia erozyjnego doliny Regi		
34	Czaplin Wielki	ujęte co najmniej 2 horyzonty wodonośne, górny o zróżnicowanym wykształceniu warunków zasilania	Rega	
35	Węgorzyno	płytki naglinowy horyzont wodonośny		
36	Taczały	rozległy horyzont wodonośny, naglinowy, o zróżnicowanym wykształceniu litologicznym wodonośca, liczne wkładki gliny		
37	Resko	ujęty horyzont śródglinowy, dobrze izolowany od bezpośredniego zasilania		



		B – północno-wschodni	
38	Bystre	ujęty płytki horyzont, ale o zróżnicowanych warunkach zasilania powierzchniowego	Nurzec
39	Brwinów	płytkie wody gruntowe, zróżnicowane warunki przepuszczalności powierzchniowej i zasilania	Utrata
40	Komorów	płytki rozległy horyzont wodonośny, dobre warunki zasilania, ale zróżnicowane przestrzennie parametry przepuszczalności	
41	Milanówek	płytkie wody podziemne, niezolowany pierwszy horyzont wodonośny	Liwiec
42	Piastów	ujmowane wody śródoglinowe, niewielki wpływ horyzontu naglinowego, stabilne warunki hydrogeologiczne	
43	Jadów	płytkie wody naglinowe wykształcone w luźnych pisakach, bardzo dobre warunki zasilania atmosferycznego	Skrwa Prawa
44	Palpin	wody naglinowe, dobre warunki zasilania atmosferycznego	
45	Studzieniec	ujmowane głębokie wody śródoglinowe, jednolity i rozległy horyzont wodonośny, ograniczone warunki zasilania atmosferycznego	Świder
46	Człekówka	płytki naglinowy horyzont wodonośny w piaskach fluwioglacjalnych	
47	Jabłonna	płytkie wody bez izolacji od powierzchni, bardzo dobra przepuszczalność	Świder
48	Jaźwiny	ujmowane wody gruntowe naglinowe, warunki przepuszczalności powierzchniowej bardzo zróżnicowane	
49	Puznówka	płytkie wody gruntowe bez izolacji od powierzchni, bardzo dobra przepuszczalność utworów powierzchniowych, duże wahania zwierciadła wód podziemnych	



Amplituda ekstremalnych stanów wód podziemnych (1960-2000) [cm]:

- <150 cm
- 151-250
- 251-350
- 351-450
- 451-600
- >600

Oznaczenia:

- Posterunek pomiarowy IMGW

Makroregiony hydrogeologiczne wg Paczyńskiego (1995)

- A** - północno-zachodni
- B** - północno-wschodni
- C** - centralny
- D** - południowy

**Rys. 3.** Posterunki pomiarowe wód podziemnych IMGW wykorzystane w opracowaniu (numeracja zgodna z tabelą 1)

**Fig. 3.** Groundwater measurement stations of IMGW used in the paper (numeration as in Table 1)

- jeden nie izolowany horyzont wodonośny – z reguły naglinowy, do głębokości 5 m do lustra wody, z reguły w utworach piaszczystych o różnej genezie;
- co najmniej 2 horyzonty wodonośne, często naglinowy i śródglinowy / podglinowy, głębokość do lustra wody do 9 m;

- horyzont wytworzony w obrębie osadów dolin rzek ponadlokalnych lub w sąsiedztwie jezior, zasilanych bocznice z kilku warstw wodonośnych, często pozostający w silnym związku ze stanami wód powierzchniowych, głębokość do lustra wody od 1 do 5 m.

## WYNIKI BADAŃ

### Zmienność rocznych ekstremów wód podziemnych w wieloleciu

W wieloletnim przebiegu stanów ekstremalnych pierwszego rzędu (WW oraz NW) stwierdzono bardzo duży rozrzut wartości podstawowych miar statystycznych. Typowa jest silna zmienność przebiegu WW w wieloleciu (odchylenie standardowe od 30 do nawet 80), niska korelacja stanów niskich i wysokich oraz dla poszczególnych punktów pomiarowych z reguły odseparowane zbiory wartości NN i WW w wieloleciu. Na przebieg wieloletni stanów silnie oddziałują lokalne uwarunkowania obiegu wody.

Stwierdzono małą zmienność wieloletnią WW, która charakteryzuje wody aluwialne w sąsiedztwie koryt rzecznych: Łobez, Lutowiska, Skawa, Żywiec, Rajcza. Wyrównany jest również przebieg niskich stanów wód podziemnych w wieloleciu, co wynika nie tyle z relacji do stanu wód powierzchniowych, ile z dodatkowego bocznego zasilania w obrębie osadów aluwialnych przez nacięte erozyjnie głębsze, a więc również stabilniejsze w zasobach wody śródglinowe. Dodatkowo, przebieg wieloletni zmienności WW oraz NW dla poszczególnych posterunków wykazuje silny związek statystyczny ( $R=0,5\div 0,7$ ). Średnia amplituda roczna stanów I rzędu w stosunku do maksymalnej z wielolecia przyjmuje wartości w zakresie  $0,7\div 1,2$ , co potwierdza małą zmienność wieloletnią ekstremów, przy dużej powtarzalności stanów ekstremalnych wód podziemnych.

W pozostałych przypadkach stwierdzono brak istotnej statystycznie współzmienności przebiegu WW oraz NW w wieloleciu.

Grupą wyróżniającą się silną korelacją są posterunki ujmujące płytkie horyzonty wodonośne o szybkiej reakcji na zasilanie atmosferyczne: stwierdzono dużą zmienność sezonową w zakresie WW w wieloleciu (brak autokorelacji) przy mniej zmiennych stanach niskich. Posterunki ujmujące ten typ horyzontu wodonośnego wykazują duże podobieństwo przebiegu WW w wieloleciu ( $R=0,7\div 0,8$ ), nieco słabsze zaś dla NW ( $R=0,5\div 0,6$ ).

Najsilniejszy związek statystyczny stwierdzono w wieloletnim przebiegu NW dla horyzontów ujmujących wody śródglinowe ( $R=0,7\div 0,9$ ).

W ujęciu przestrzennym, jako grupa wyłania się zespół posterunków Pojezierza Mazurskiego wykazująca dużą zbieżność przebiegu NW. Średnia amplituda roczna w relacji do maksymalnej w wieloleciu przyjmuje wartości  $0,6\div 0,3$ ,

co wskazuje na przewagę zmienności długookresowej stanów ekstremalnych nad corocznymi. Decydujące znaczenie ma tu stabilizacja niskich stanów wód podziemnych przez duży udział jezior w strukturze hydrograficznej regionu.

W przebiegu wieloletnim nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji do ukierunkowanej zmiany przebiegu wysokich ani stanów niskich wód podziemnych. Zmienność przebiegu w wieloleciu sezonowych wartości wysokich stanów wód podziemnych jest istotną statystycznie cechą skorelowaną dla 218 powiązań, podczas gdy dla przebiegu ciągu stanów NW jest to tylko 118 powiązań spośród ok. 950 dla analizowanej populacji.

### **Synchroniczność osiągnięcia przez wody podziemne stanu ekstremalnego**

Najprostszym wskaźnikiem synchroniczności dynamiki wód podziemnych jest analiza terminów stwierdzenia stanów WWW oraz NNW we wspólnym wieloleciu. Data (rok i miesiąc) osiągnięcia najwyższego stanu wód podziemnych w analizowanej populacji jest zróżnicowana (rys.4), sezonowo stany WWW zdecydowanie przeważają w półroczu chłodnym (81%). Szczegółowo, zwiększoną liczbą zdarzeń charakteryzuje się okres roztopowy od 15.03 do 14.04 (40%). Drugi, pod względem liczebności, sezon osiągnięcia stanów najwyższych wody podziemne uzyskują w styczniu i lutym. Trzecią grupę stanowią maksima letnie (19%), najczęściej notowane w lipcu jako reakcja na intensywne zasilanie opadowe. Tylko raz w analizowanym 20-leciu stan ekstremalny wystąpił jesienią.

Wartość stanu ekstremalnie wysokiego jest w wieloleciu powtarzalna dla poszczególnych posterunków. Bardzo dobry przykład stanowi posterunek Rajcza położony w Beskidzie Żywieckim; stan WWW w latach 1971–1990 wystąpił trzykrotnie: w styczniu, w końcu lipca i w ostatnich dniach sierpnia w różnych latach hydrologicznych. Jest to efektem dużej, sezonowej dynamiki horyzontu wodonośnego będącego w obrębie doliny w ścisłym związku hydraulicznym z wodami rzecznyymi (Pietryga 1971). Dwukrotnie wystąpiło maksimum również w Wyszowatce – także w Karpatach (początek i koniec marca) oraz Cimochach na Pojezierzu Mazurskim (listopad i kwiecień). W ostatnim przypadku horyzont wodonośny, podobnie jak w Rajczy, charakteryzuje się dużą sezonową zmiennością, wynikającą z niskiej retencyjności warstwy wodonośnej (bardzo dobrze przepuszczalne piaski fluwiogłacjalne o niewielkiej miąższości), zasilanego tylko drogą bezpośredniej alimentacji atmosferycznej.

Zakres zmienności odchylenia standardowego WWW wynosi od niespełna 2 (marzec, Wyszowatka) aż do niemal 7 (lipiec, Śliwice) (rys.4). Stany ekstremalnie wysokie o genezie roztopowej wyróżniają się zbliżoną wartością 3 od-

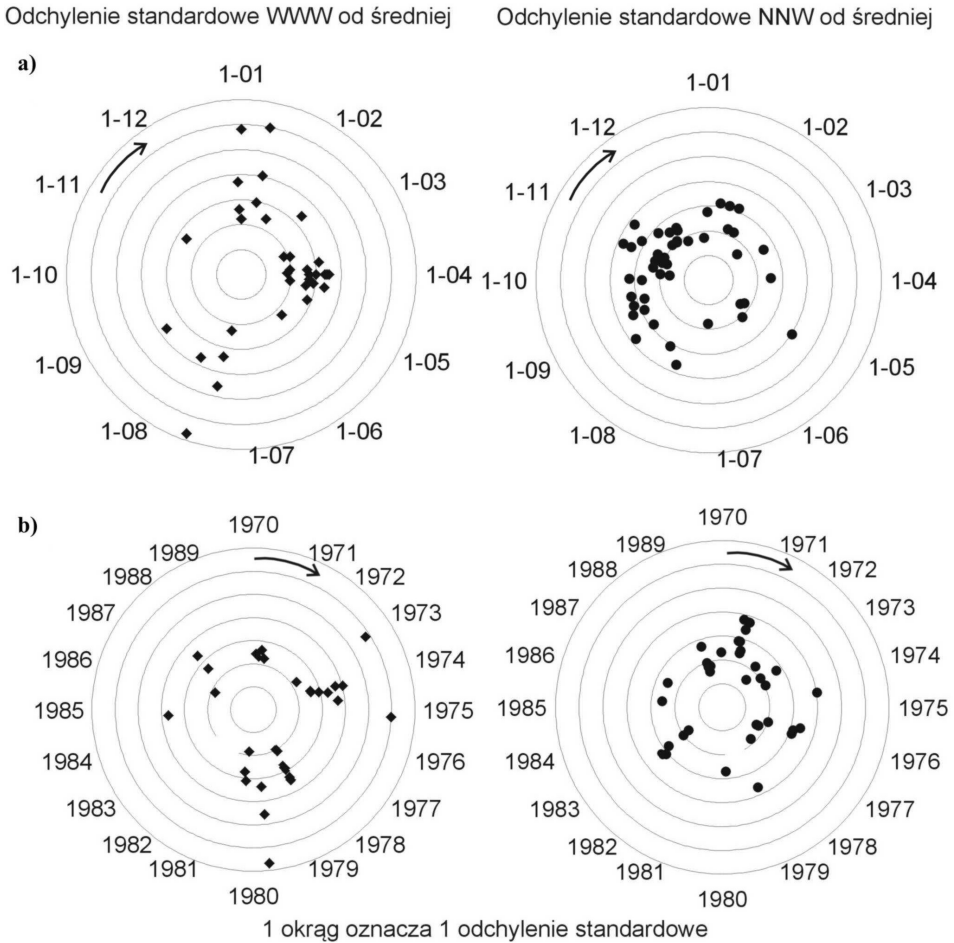
chyłeń standardowych. Niska wartość odchylenia standardowego w tej grupie świadczy o częstym, powtarzalnym w wieloleciu cyklu występowania wysokich stanów wód podziemnych o zbliżonych wartościach WW.

Nie stwierdzono również wyraźnej synchroniczności wystąpienia stanów WWW wód podziemnych w zakresie daty wystąpienia w wieloleciu. Zasadniczo, jako przeważające wyróżnia się dziesięciolecie 1971–1980 (80%), w tym tylko w roku hydrologicznym 1979 wystąpiło 30% wszystkich stanów WWW w analizowanej grupie, a w roku 1975 – 19%. W tym samym okresie przeważają również niskie wartości odchylenia standardowego – od 2 do 4. Wysokie odchylenie standardowe powiązane jest z wystąpieniem stanu ekstremalnego poza krótkimi okresami kumulacji najczęstszego występowania WWW; najwyższa bezwzględna wartość stanu ekstremalnie wysokiego została stwierdzona w 1980 r. (Śliwice), a kolejne w 1976 r. (Spychowo) i 1974 r. (Żywiec).

Analogicznie, daty wystąpienia minimalnych stanów wód podziemnych nie wykazują w badanej grupie sezonowych i regionalnych prawidłowości (rys.4). Współmienność sezonowa jest znacznie mniejsza niż w przypadku stanów maksymalnych – NNW występował w wieloleciu we wszystkich porach roku, rozkładając się nieomal po równo między półrocze chłodne (XI-IV) (44%) i ciepłe (V-X) (56%). Okres stanów ekstremalnie niskich przeważa w populacji od sierpnia do stycznia (80%), na co największy wpływ mają czynniki atmosferyczne: rytm zasilania opadowego, ewapotranspiracja. Na wystąpienie niskich stanów wód podziemnych w okresie letnim wpływa również stan retencji w okresie poprzedzającym (Konoplancew, Siemionow 1979). Minima zimowe dodatkowo są uwarunkowane odcięciem zasilania w wyniku przemarznięcia strefy aeracji.

Miary względne stanów NNW populacji są zdecydowanie niższe niż dla WWW (rys.4), zakres zmienności wynosi od 1,5 do 4 odchyłeń standardowych. Wyższa wartość odchylenia standardowego przypada na schyłek ciepłej pory roku oraz jesień.

Również tu kilkakrotnie w wieloleciu występują powtarzalne wartości stanu NNW, ale w odróżnieniu grupują się w obrębie pojedynczego roku (dwu- do czterokrotne), lub w wieloleciu w zbliżonych porach roku (rys.4). W jednym przypadku – w Piastowie (Nizina Mazowiecka) taka sama wartość minimalna (NNW) występuje aż 4 razy – w listopadzie i 3-krotnie w styczniu w tym samym roku hydrologicznym, de facto świadcząc o długookresowym deficycie lokalnego zasilania. Trzykrotnie stan NNW powtórzył się w Rajczy (Karpaty), Studzieńcu (Nizina Mazowiecka) i Jabłonnej (Nizina Mazowiecka), z czego na ostatnich dwóch wartości te obserwowano bezpośrednio po sobie we wrześniu i październiku. W Rajczy ten sam stan minimalny był notowany w październiku i listopadzie, ale w roku 1973 (2 obserwacje) i 1983. Dwukrotnie w krótkim odstępie czasu, taka sama wartość stanów NNW wystąpiła na następujących



**Rys. 4.** Dzień roku (a) i rok w wieloletnim wystąpieniu ekstremalnego stanu wód podziemnych, 30 posterunków pomiarowych IMGW, lata 1971–1990

**Fig. 4.** Day of the year (a) and year in the multi-annual period (b) of the occurrence of the extreme of groundwater level, 30 IMGW measurement stations, years 1971–1990

posterunkach: Czerwony Dwór (Pojezierze Mazurskie), Wieczfnia Kościelna (Pojezierze Mazurskie), Jażwiny (Nizina Mazowiecka), Lisowo (Pojezierze Pomorskie), Czaplina Wielka (Pojezierze Pomorskie) i Węgorzyno (Pojezierze Pomorskie). Tylko na posterunku Czarnia (Pojezierze Mazurskie) stan NNW wystąpił w różnych latach i miesiącach (maj i grudzień).

Synchroniczności czasowej i regionalnej stany minimalne wód podziemnych nie wykazują (rys.4.). W dwudziestoleciu 1971–1990 wyższa częstość występowania stanów NNW miała miejsce w latach 70' (62%). W latach 1971, 1977 i 1989 minima wystąpiły równocześnie w 4 posterunkach wód gruntowych. Naj-

niższy zaobserwowany stan NNW w Żywcu (Karpaty) wystąpił w 1975 r. Zbliżone stany minimalne były notowane na początku (Węgorzyno – Pojezierze Pomorskie i Jadów – Nizina Mazowiecka) lub w końcu lat 70' (Stary Folwark – Pojezierze Mazurskie).

Zestawienie lat wystąpienia ekstremalnych stanów wysokich i niskich wskazuje brak regionalnych prawidłowości w rozkładzie tej cechy (rys.4). Bezpośrednie następowanie w kolejnych latach wystąpienia naprzemiennego NNW i WWW, bez nawiązania do nawet najbliższych położonych posterunków czy zbliżonych parametrów hydrogeologicznych, świadczą o przewadze czynników lokalnych kształtujących wystąpienie wartości ekstremalnej w wieloleciu.

Częstość występowania nieprzerwanego stanu wody odpowiednio wysokiego i niskiego w dwudziestoleciu (1971–1990) analizowano w przedziałach: do 10 epizodów – statystycznie co 2 lata następuje przekroczenie kryterium granicznego; jeśli wystąpi 10–20 epizodów – w każdym roku wystąpi maksymalnie 1-krotny okres stanu skrajnego wód, zaś gdy jest więcej niż 20 epizodów – stan ekstremalny zdarza się co najmniej 2 razy w roku.

W rozkładzie przestrzennym, częstość występowania wysokich stanów wody podziemnej (>SWW) wskazuje na wyraźną odmienność dla horyzontów wytworzonych we fliszu karpackim (duża częstości przekroczeń SSW) w stosunku do pozostałego obszaru (rys.5). Równie często kryterium graniczne spełnione było tylko dla jednego posterunku spoza makroregionu południowego – Jabłonna, dorzecze Świdra ujmującego wody w obrębie aluwii doliny Wisły. Niska częstość przekroczeń SSW charakteryzuje horyzonty dobrze izolowane od powierzchni oraz położone w sąsiedztwie zbiorników wodnych. Najogólniej, dla wód podziemnych obszarów nizinnych i pojeziernych typowe jest wystąpienie jednego okresu wysokich stanów zwierciadła w roku (rys.5).

Częstość nieosiągnięcia średniego niskiego stanu wód podziemnych (<SNW) jest znacznie bardziej zróżnicowana regionalnie (rys.5). Charakterystyczne w obszarach nizinnych i pojeziernych jest nieosiągnięcie SNW średnio co 2 lata. Taki rytm stwierdzono dla głębszych horyzontów wodonośnych – o małej zmienności stanów wody w wieloleciu oraz sąsiedztwa zbiorników wodnych. W przypadku płytkich i nieizolowanych horyzontów wodonośnych o położeniu wierzchowinowym – np. w obrębie najwyższej wyniesionych partii zlewni (strefa występowania cieków niskiego rzędu) częstość występowania niskich stanów wód podziemnych wzrasta średnio do częściej niż 1 w roku. W makroregionie południowym stany niskie wód podziemnych występują w wieloleciu średnio nie częściej niż jednokrotnie w roku.

Miarą uzupełniającą częstość jest najdłuższy czas ciągłego trwania stanów niskich (<SNW) oraz wysokich (>SWW) (rys.5). Długi czas trwania stanów wysokich stwierdzono jako typowy dla horyzontów wykształconych w osadach młodoglacjalnych obszarów pojeziernych. Jako czynniki sterujące długością

trwania podwyższonych stanów wysokich można wskazać przestrzenne powiązanie horyzontów wodonośnych oraz powiązanie z systemem wód jeziornych. Sytuacja ta sprzyja również występowaniu długotrwałych okresów nieprzerwanego wystąpienia niskich stanów wód podziemnych (rys.5).

Czas trwania wysokich stanów wód podziemnych wyraźnie skraca się w obrębie dolin rzecznych, zaś wydłuża w sąsiedztwie zbiorników retencyjnych oraz głębszych, izolowanych horyzontów. Najkrótszy czas trwania wysokich stanów wód podziemnych charakteryzuje wody porowo-szczelinowe w Beskidach oraz nieizolowanych łatwo przepuszczalnych utworów porowych, co wynika z szybkiej alimentacji opadowej, ale również bardzo niskiej retencyjności. Zbliżony czas trwania wysokich stanów wody charakteryzuje zlewnie położone w Polsce północnej i północno-zachodniej (Pojezierze Pomorskie). Dla środkowej części kraju typowa jest różnorodność czasu trwania wysokich stanów wody w zależności od typu horyzontu wodonośnego – im głębiej występuje zwierciadło wody, tym dłuższy czas trwania stanu maksymalnego.

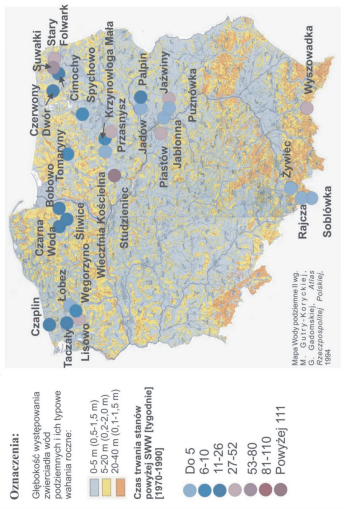
Specyfiką wysokich stanów wód podziemnych jest z reguły rozłączność daty wystąpienia stanu ekstremalnego WWW i najdłuższego czasu trwania wysokich stanów.

Niskie stany wód podziemnych (<SNW) utrzymują się w innym rytmie czasowym (rys.5). Statystycznie najkrócej (1–2 miesiące) niskie stany trwają w obrębie fliszu karpackiego. Przeciętnie wynosi 19–24 tygodni, ekstremalnie w 12 posterunkach trwa 5–6 miesięcy nieprzerwanie. Najdłużej utrzymują się niskie stany wód podziemnych w strefie wierzchowinowej, oddalonych od dolin głównych rzek. Stwierdzono zbieżność czasu trwania niskich stanów wód podziemnych w obszarach młodoglacjalnych (zlewnie Pojezierza Mazurskiego oraz dorzecza Wkry). Co więcej, terminy wystąpienia NNW w wieloleciu w przeważającej liczbie pokrywają się z najdłuższym czasem trwania niskiego stanu zwierciadła wód podziemnych.

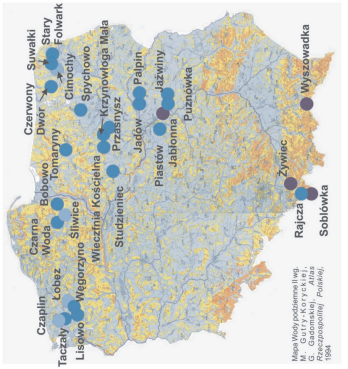
Czas trwania wysokich i niskich stanów wody podziemnej różni się (rys.5). Zarysowana jest przewaga występowania długich okresów niskich stanów wód podziemnych. Typowe są relatywnie krótsze okresy występowania wysokich stanów wód podziemnych (najczęściej o genezie roztopowej): lata 1971, 1975, 1981, 1982, 1988. Wyraźnie odróżniają się od innych regionów wysokie stany wód podziemnych w zlewniach nizinnych (Urata, Liwiec, Skrwa Prawa), gdzie dekada lat 80. charakteryzuje się wzrostem częstości i skróceniem czasu trwania, jednak brak im synchroniczności. Zlewnie pojezierne wyróżniają się występującym synchronicznie okresem wysokich stanów wód podziemnych, ale zróżnicowanym lokalnie czasem trwania. Region beskidzki wyraźnie odbiega od pozostałych pod względem częstości i czasu trwania stanów ekstremalnych, silnie wewnętrznie zsynchronizowanych (rys.5).



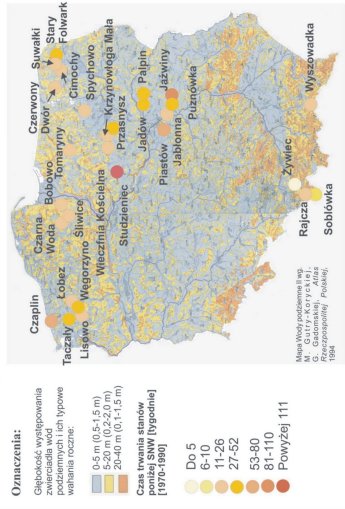
B. Maksymalny czas trwania stanu przekroczenia SWW



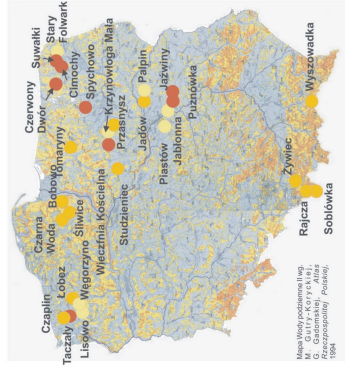
A. Częstość: przekroczenia stanu SWW



stanu nieosiągnięcia SNW



nieosiągnięcia stanu SNW



Rys. 5. Częstość wystąpienia ekstremalnych stanów wód podziemnych i ich najdłuższy czas trwania w okresie 1971–1990  
 Fig. 5. Frequency of occurrence of extreme groundwater levels and their longest duration in the period 1971–1990

W zakresie utrzymywania się niskich stanów wody podziemnej (<SNW) typowa jest duża synchroniczność terminów wystąpienia w latach: 1972–74, 1976–78, 1983–84, 1989–90. W drugiej połowie lat 80-tych stwierdzono wydłużenie czasu trwania niskich stanów wód podziemnych w zlewniach Świdra i Czarnej Hańczy.

### **Związek zwierciadła wód podziemnych z drenażem powierzchniowym**

Lustro wód podziemnych w zakresie wieloletniej zmienności stanów wody układa się we wszystkich kontrolowanych posterunkach powyżej rzędnej profilu zamykającego zlewnię (wg rzędnej 0 wodowskazu). Nie można jednak założyć *a priori*, że oznacza to bezpośrednie drenowanie ujmowanych horyzontów przez wody powierzchniowe. Można wydzielić następujące relacje:

- bezpośredni związek hydrauliczny (m.in. Rycerka Górna, Sobolówka, Rajcza, Lutowiska, Łobez);
- pośredni związek lateralny (boczny) w wyniku nacięcia erozyjnego przez dolinę rzeczną w strefie tarasów i krawędzi erozyjnych, ujmowane są głębokie śródglinowe horyzonty wodonośne (m.in. Wielbark, Olsztyn-Dajtki, Resko, również Czaszyn);
- strefa formowania stałej sieci rzecznej, cieków niskiego rzędu (1–3 wg klasyfikacji Strahlera) w strukturze hydrograficznej, z reguły ujmowane wody podziemne pierwszego i drugiego horyzontu (m.in. Krzynoługa Mała, Czerwony Dwór, Bobowo);
- obszary ubogie w stałą sieć rzeczną, wyróżniające się dużą przepuszczalnością oraz swobodnym płytkim zwierciadłem wody podziemnej (m.in. Człękówka);
- posterunki położone w sąsiedztwie zbiorników wodnych (np. Nawiady, Spychowo, Stary Folwark).

Współmienność w przebiegu stanów wód powierzchniowych i podziemnych analizowano dla 4 profili zamykających zlewnie topograficzne (rys.3): Łobez-Rega (profil Łobez), Rajcza-Soła (profil Soła), Czaszy-Osława (profil Szczawne) oraz Człękówka-Świder (profil Wólka Mładzka). Dla każdej z par uzyskano istotny statystycznie współczynnik korelacji (0,48-0,64) między przebiegiem zmienności stanów wód powierzchniowych (sprowadzonych do średniej wartości tygodniowej na dzień pomiaru stanu wód podziemnych) oraz dla posterunku Czaszyn, gdzie dysponowano serią pomiarów codziennych.

Dla horyzontu wodonośnego wykształconego w osadach aluwialnych erozyjnej doliny rzeki młodoglacjalnej, reprezentowanego przez profilu Łobez, typowa jest duża zbieżność terminów wystąpienia kolejnych krótkookresowych

maksimów. Przyrost stanów wód podziemnych jest zdecydowanie mniejszy w jednostce tygodniowej. Stwierdzono opóźnienie reakcji wód podziemnych na zmianę stanu wód powierzchniowych wynoszącą około 1 tygodnia. W zakresie niskich stanów wody podziemnej i powierzchniowej charakterystyczny jest stabilny, mało zmienny stan wód, wynikający z zasilania bocznego z drenowanych przez dolinę erozyjną horyzontów wodonośnych wykształconych w obrębie sąsiadującej wysoczyzny.

Profil Rajcza reprezentuje warunki przepływu wody w obrębie bardzo łatwo przepuszczalnych osadów zwietrzelinowych, charakteryzujących się dużą dynamiką stanów wód powierzchniowych i podziemnych. Soła płynie w erozyjnej dolinie wypełnionej bardzo dobrze przepuszczalnym kompleksem osadów pochodzenia wietrzeniowego. Przepływ wody ma charakter nie tylko powierzchniowy, ale również zachodzi w obrębie osadów korytowych (Pietryga, 1971). Zastosowanie w takich warunkach hydrogeologicznych procedury sprowadzenia codziennych wartości stanów wód powierzchniowych do średniego stanu tygodniowego prowadzi do zafałszowania rzeczywistej zależności zmian stanów wód podziemnych w stosunku do powierzchniowych.

Tygodniowy krok pomiarowy jest niewystarczający i wymaga dysponowania codziennymi pomiarami stanów wód podziemnych i powierzchniowych. Skonfrontowanie jednoczasowych stanów wód powierzchniowych w Rajczy i podziemnych z posterunku Rycerka Górna (12 km powyżej Rajczy) wskazuje na występowanie pełnej dobowej synchroniczności występowania wysokich stanów wód. Zakres amplitudy w trakcie intensywnego zasilania opadowego może być nawet porównywalny. Równie dynamicznie następuje szczytowanie zasobów wód podziemnych po osiągnięciu stanu maksymalnego, co ma związek ze słabą retencyjnością osadów zwietrzelinowych.

Peryferyczne położenie posterunku względem osi doliny powoduje znaczące zmiany dynamiki stanów wód podziemnych względem wód rzecznych (posterunek Czaszyn, rzeka Osława). Lustro wód podziemnych charakteryzuje się stabilizacją rzędnych w czasie oraz słabym związkiem statystycznym ze stanami wód rzecznych (tu dla średniej ruchomej 14-dniowej wód powierzchniowych). Wznios wody następuje po łagodnej krzywej wznoszącej, opóźnienie WW względem Osławy wyniosło średnio 1–2 tygodnie.

Dodatni, istotny statystycznie, związek stwierdzono również w przebiegu wystąpienia wysokich stanów wód powierzchniowych i podziemnych dla horyzontów eksponowanych bezpośrednio na zasilanie atmosferyczne, pomimo braku bezpośredniego związku hydraulicznego z rzeką o randze lokalnej bądź regionalnej. Przykładowo, posterunek Człkówka ujmuje płytkie naglinowe wody w obrębie wysoczyzny, bez związku hydrodynamicznego z doliną Świdra. Współczynnik korelacji dla przebiegu zmienności tygodniowej wód podziemnych i powierzchniowych wynosi 0,43. Charakterystyczna jest współzmiennność

stanów wód, zgodność kierunku ruchu zwierciadła oraz zbieżność terminów wystąpienia okresowych stanów skrajnych (WW i NW) z opóźnieniem 1–2 tygodni. Czas zasilania płytkich, nieizolowanych wód gruntowych jest zbieżny w stosunku do czasu formowania wezbrania o czasie trwania powyżej 1 tygodnia.

## PODSUMOWANIE

Stany ekstremalne wód podziemnych I rzędu (NW i WW) w czterdziestolecu 1961–2000 nie wykazują istotnej statystycznie tendencji do zmiany przebiegu w wieloleciu. Stwierdzono większy rozrzut wartości stanów wysokich oraz mniejszą zmienność NW w populacji. Współmienność wieloletniego przebiegu NW i WW dla posterunku występuje sporadycznie. Nie stwierdzono synchroniczności w występowaniu stanów ekstremalnych II rzędu w dwudziestolecu 1971–1990. Lokalnie, ekstremalne wystąpienie WWW jest niezależne względem maksymalnego czasu trwania stanów wysokich, zaś terminy wystąpienia NNW w przeważającej mierze są współmienne z wystąpieniem najdłużej trwającego okresu stanów niskich.

Zbiorcza analiza częstości i czasu trwania skrajnych stanów wód podziemnych w dwudziestolecu 1971–1990 wskazuje cykliczność następujących po sobie okresów podwyższonych stanów wód podziemnych oraz niskich, nie ujawnia jednak synchroniczności ponadregionalnej.

Na podstawie częstości występowania oraz czasu trwania wysokich stanów wód podziemnych w latach 80-tych oraz silnego związku korelacyjnego wyodrębnia się region niżowy (zlewnie Utraty, Liwca, Skrzy Prawej, Świdra). Zlewnie północnej i północno-wschodniej części kraju charakteryzuje duże podobieństwo zmienności stanów wód podziemnych ( $R=0,8-0,5$ ), co wynika głównie z charakteru budowy geologicznej – młodych struktur czwartorzędowych, o dużym zróżnicowaniu wykształcenia litologicznego i warunków występowania wód podziemnych. Samodzielną, homogeniczną grupę stanowi makroregion hydrogeologiczny południowy – obejmujący zasięgiem obszary górskie. Typowa jest niska retencyjność, szybka reakcja na zasilanie oraz podobieństwo przebiegu stanów I rzędu, potwierdzone silną istotną statystycznie korelacją ( $R=0,6-0,7$ ).

W wieloletnim przebiegu stanów wysokich wód podziemnych stwierdzono silną, istotną statystycznie korelację ( $R>0,6$ ) dla posterunków reprezentujących obszar nizinny i Pojezierza Mazurskiego oraz nieco słabszy związek tych regionów z Pojezierzem Pomorskim ( $R=0,5$ ). Nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji co do kierunku wieloletniej zmienności wysokich stanów wód podziemnych.

Występowanie niskich stanów wody w wieloleciu jest cechą zindywidualizowaną dla poszczególnych posterunków. Stąd mała współzmiennność przebiegu NW w obrębie wydzielonych zlewni. Cechą nadrzędną wszystkich posterunków jest niski współczynnik zmienności rzędnej lustra NW.

Relacja stanów ekstremalnych wód podziemnych w stosunku do wód powierzchniowych jest najlepiej zarysowana w górnych odcinkach dolin górskich. W obrębie dolin rzecznych zlewni pojeziernych stwierdzono zgodność kierunku ruchu oraz opóźnienie w reakcji na wznios stanu wody powierzchniowej wynoszące około 1 tygodnia. Dla posterunków położonych w obrębie wierzchowiny czas reakcji na zasilanie atmosferyczne jest opóźniony o podobny rząd wielkości. W przypadku horyzontów śródglinowych opóźnienie reakcji na zmiany zasilania jest zróżnicowane, np. w przypadku posterunku Resko wynosi minimum 7 tygodni.

Jakkolwiek wystąpienie stanu ekstremalnego zwierciadła płytkich wód podziemnych jest uzależnione od wielu czynników środowiskowych (budowa geologiczna, rzeźba powierzchni topograficznej, system drenażu hydrograficznego, rozkład w czasie i wielkość zasilania atmosferycznego), tak okresy przewagi stanów wysokich i niskich mają charakter cykliczny. W wieloleciu dobrze wpisują się w okresy wzmożonego zasilania atmosferycznego bądź jego deficytu (Susze w Polsce... 2006, Fal 2004).

Brak ponadlokalnej synchroniczności w przebiegu oraz zróżnicowaniu czasu trwania skrajnych stanów wód, przebieg sezonowych ekstremów wód podziemnych, sugeruje ogólny wniosek o przewadze regionalnych i lokalnych czynników kształtowania dynamiki wód podziemnych. Wysokie stany zwierciadła wody podziemnej są szybko kompensowane odprowadzeniem nadmiaru zasobów – w przeważającej ilości analizowanych posterunków tempo opadania zwierciadła wody jest zbliżone do przyrostu stanów. Zostało to również stwierdzone lokalnie w dorzeczu górnej Odry w trakcie nawalnych opadów w 1997 r. (Wierzbicka, Chmielewska 2000). Zaś w okresach ograniczonego zasilania bądź jego deficytu – obniżanie zwierciadła wody podziemnej jest procesem długotrwałym.

Osiąganie stanu ekstremalnego (WWW, NNW) jest cechą zindywidualizowaną oraz powtarzalną w wieloleciu, zbieżnymi regionalnie parametrami dynamiki wód podziemnych są czas trwania stanów niskich bądź wysokich oraz statystyczna częstość występowania w wieloleciu.

## Literatura

- Bates, B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008, *Climate Change and Water, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, s. 210.
- Burn D., H., 1997, Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of Hydrology*, 202, s. 212–230.
- Chełmicki W., 1991, *Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce*, UJ, Rozprawy Habilitacyjne 218, Kraków, s. 136.
- Chełmicki W., 1993, The Annual Regime of Shallow Groundwater Levels in Poland, *Ground Water*, 31, 3, s. 383–388.
- Che Z., Grasby S.E., Osadetz K.G., 2004, Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada, *Journal of Hydrology*, 290, s. 43–62.
- Czepe Z., (red.), 1976, Wartości środowiska geograficznego dorzecza Białej Dunajcowej i zagadnienia jego ochrony, *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej PAN*, tom V, Kraków.
- De Michale C., Rosso R., 2002, A multi-level approach to flood frequency regionalisation, *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(2), s. 185–194.
- Duda R., Zdechlik R., Paszkiewicz M., 2006, Kilka uwag o modelowaniu matematycznym zlewni Raby, *Geologos* 10, str. 47–56.
- Dynowska I., Pietrygowa Z., 1978, Wieloletnie fluktuacje zwierciadła wód gruntowych w dorzeczu górnej Wisły, *Czasopismo Geograficzne*, t. XLIX, z. 2, PWN, Warszawa-Wrocław.
- Fal B., 2004, Czy niżówki ostatnich lat są zjawiskiem wyjątkowym? *Gazeta Obserwatora IMGW*, nr 3, str. 16–18.
- Gutry-Korycka M., 1998, Długookresowe tendencje obiegu wody w zlewni nizinnej Utraty, *Acta Geographica Lodzenia*, nr 74, Łódź, s. 49–60.
- Komunikaty i prognozy Państwowej Służby Hydrogeologicznej*, 2009, Prognoza hydrogeologiczna stanu wód podziemnych będących pod bezpośrednim wpływem zjawisk meteorologiczno-hydrologicznych, okres od 01.04.2009 – 30.06.2009, nr 1b/2009. PIG, Warszawa, s.1–12.
- Konoplancew A.A., Siemionow S.M., 1979, *Prognozowanie i kartograficzne odwzorowanie reżimu wód podziemnych*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, s. 1–235.
- Marshall E., Randhir T., 2008, Effect of climate change on watershed system: a regional analysis, *Climatic Change*, 89, s. 263–280.
- Paczyński B., (red.) 1995, *Atlas hydrogeologiczny Polski*, PIG, Warszawa.
- Paszczyk J., 1973, Analiza wahań wód podziemnych w obszarze wschodnim Polski, *Przegląd Geograficzny*, t. XLV, z. 3, Warszawa, s. 599–611.
- Pietryga Z., 1960, Stosunki hydrologiczne na odcinku doliny Wisły km 80–98, w okresie 1947–1957, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, z. 4a, ss. 19–44.
- Pietryga Z., 1962, Wpływ suszy jesiennej 1959 roku na poziom wód gruntowych na obszarze Polski południowej, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, PIHM, Wyd. Komunikacji i Łączności, z. 50 (4/1962), ss. 19–38.

- Pietryga Z., 1971, *Związek wezbrań wód dolinowych z wezbraniem rzecznyymi na przykładzie górnej Wisły*, PIHM, Wyd. Łączności i Komunikacji.
- Pietryga Z., 1975, *Odptyw podziemny w ogólnym obiegu wody w Karpatach na przykładzie dorzecza Skawy*, *Materiały Badawcze*, Seria: Specjalna Nr 5, IMGW, Warszawa, ss. 251.
- Susza w Polsce – 2006 rok* (przyczyny, natężenie, zasięg, wnioski na przyszłość), 2006, Raport Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Tomaszewski J.T., 1990, *Charakter wahań zwierciadła górnego poziomu wód podziemnych*, *Studia Geograficzne XLIX*, Wyd. Uniw. Wrocławskiego, Wrocław.
- Wierzbicka B., Chmielewska I., 2000, *Zmiany położenia zwierciadła płytkich wód gruntowych w południowo-zachodniej części kraju w czasie letniej powodzi w 1997 r. i w następnym półroczu*, *Gospodarka Wodna*, Nr 7 (619), Warszawa, s.254–260.