

## Stacja hydrogeologiczna monitoringu wód podziemnych I rzędu Sędów w południowo-wschodniej Polsce – wyniki i kierunki dalszych badań

The Sędów first-order hydrogeological station of groundwater monitoring in south-eastern Poland; results and directions of further research

Jan Prażak<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Stacja hydrogeologiczna I rzędu Sędów Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego funkcjonuje od lipca 1982 r. Aktualnie wchodzi w skład sieci krajowej monitoringu jednolitych części wód podziemnych (JCWPd). Obserwacjami i badaniami objęte są trzy poziomy wodonośne występujące do głębokości 200 m: czwartorzędowy, środkowojurajski i dolnojurajski (część górna i dolna). Podstawowym zadaniem stacji jest rozpoznanie warunków hydrogeologicznych i składu chemicznego wód podziemnych w profilu pionowym do głębokości 200 m. W czterech otworach obserwacyjno-badawczych codziennie mierzona jest głębokość do statycznego zwierciadła wody, a od 1991 r. jeden raz w roku badany jest także jej skład chemiczny. Wyniki badań pozwoliły na udokumentowanie wieloletnich i rocznych zmian stanów zwierciadła wód podziemnych oraz presji zanieczyszczeń geogenicznych i antropogenicznych na ich stan chemiczny. W najniższym poziomie dolnojurajskim występują wody ultrasłódkie o bardzo niskiej mineralizacji (<100 mg/l). Ustalenie ich wieku i genezy wymaga dodatkowych badań izotopowych (tryt, tlen).

**Abstract:** The Sędów first-order hydrogeological station of the Polish Geological Institute-National Research Institute has been operating since July 1982. Currently, it is part of the National Monitoring System of Groundwater Bodies (JCWPd). The research covers three aquifers occurring to a depth of 200 m: Quaternary, Middle Jurassic and Lower Jurassic (upper and lower parts). The main goal of the station is the identification of hydrogeological conditions and chemical composition of groundwater in the vertical section. Three groundwater monitoring wells provide daily data on the depth to the static water level, and since 1991, the groundwater chemical composition has been analysed once a year. The research results have allowed documenting multi-annual and annual variations in the groundwater level and the effect of geogenic and anthropogenic pollution on the chemical status. The lowermost, Lower Jurassic aquifer contains ultrafresh waters of very low values of total dissolved solids (<100 mg/l). Determination of their age and origin requires additional isotopic studies (tritium and oxygen).

**Słowa kluczowe:** monitoring, wody podziemne, wody ultrasłódkie

**Key words:** monitoring, groundwater, ultrafresh water

### WSTĘP

Stacja hydrogeologiczna I rzędu Sędów została założona przez Instytut Geologiczny (obecnie Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy) w 1982 r. Odwiercono wówczas trzy otwory hydrogeologiczno-badawcze (Lis 1982). Obserwacje stanów zwierciadła wody rozpoczęto w nich w lipcu 1982 r. Otwory nr 1 i 2 ujmuje wodę z poziomu dolnojurajskiego, a otwór nr 3 ujmuje wodę z poziomu środkowojurajskie-

go. Otwór nr 4, ujmujący wodę z poziomu czwartorzędowego, wykonano dopiero 13 lat później – w 1995 r. W roku 1991 otwory hydrogeologiczno-badawcze stacji włączono do sieci krajowej monitoringu jakości wód podziemnych, a od 2005 r. – do sieci monitoringu jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) (Kazimierski i in. 2005; Kazimierski i in. 2015). Długie ciągi obserwacyjne pozwalają na poznanie charakteru zmian stanów wód podziemnych w latach 1983-2015 r. oraz ich składu chemicznego w latach 1991-2015.

<sup>1</sup> – Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy Oddział Świętokrzyski w Kielcach  
e-mail: jan.prazak@pgi.gov.pl

ARTYKUŁ PROBLEMOWY

TEREN BADAŃ

Stacja Sędów położona jest w województwie świętokrzyskim, około 6,5 km na NNW od miasta Końskie, w zachodniej części miejscowości Sędów. Znajduje się w południowo-wschodniej części Polski na Wyżynie Małopolskiej, w dorzeczu Wisły, w zlewni II rzędu Pilicy, w jednolitej części wód podziemnych JCWPd nr 85 (według podziału Polski na 172 JCWPd). Na tle regionalizacji geologicznej jest to północno-zachodnie obrzeżenie permsko-mezozoiczne Gór Świętokrzyskich, a według regionalizacji hydrogeologicznej – część centralna Subregionu Środkowej Wisły wyżynnego (Paczyński, Sadurski (red.) 2007; Prażak 2007) (rys. 1).

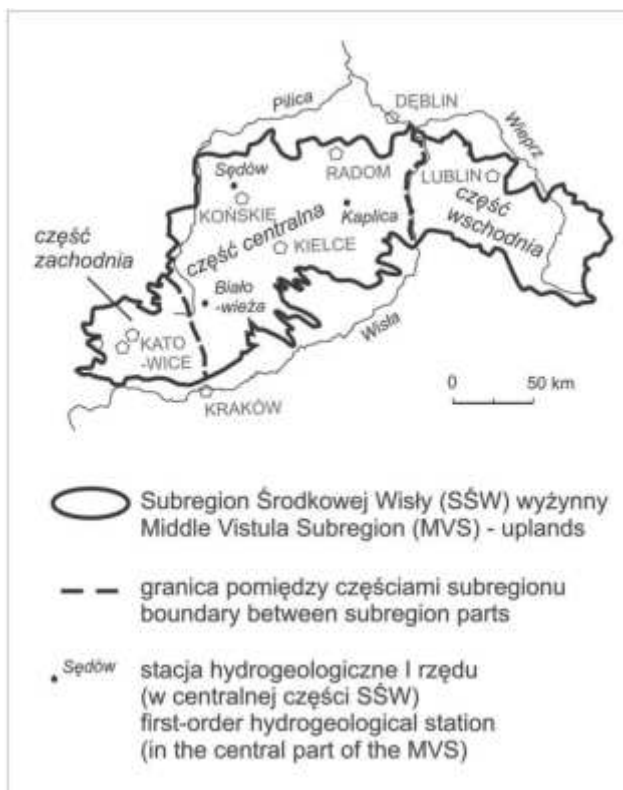
Budowa geologiczna

Północno-zachodnie obrzeżenie permsko-mezozoiczne Gór Świętokrzyskich w rejonie Sędowa zbudowane jest z utworów jury środkowej i dolnej. Występują one w lokalnej synklinie o osi zapadającej w kierunku NW (rys. 2). Jurę środkową (J2) reprezentują zalegające do głębokości 60 m piaskowce i piaskowce żelaziste z wtrą-

ceniami syderytu i przewarstwieniami iłów i mułowców. Podobnie, także w postaci piaskowców z przewarstwieniami mułowców, są wykształcone, zbadane do głębokości 200 m utwory jury dolnej. Nadległe osady czwartorzędowe o miąższości od kilku do kilkunastu metrów wypełniają doliny rzeczne i obniżenia pomiędzy licznymi garbami (wychodniami) starszego podłoża (rys. 2). Na wysoczyźnie są to głównie gliny zwałowe i piaski wodnolodowcowe, a w dolinach rzecznych – piaski i piaski ze żwirem. Na terenie samej stacji miąższość glin piaszczystych z przewarstwieniami piasków wynosi 12-13 m.

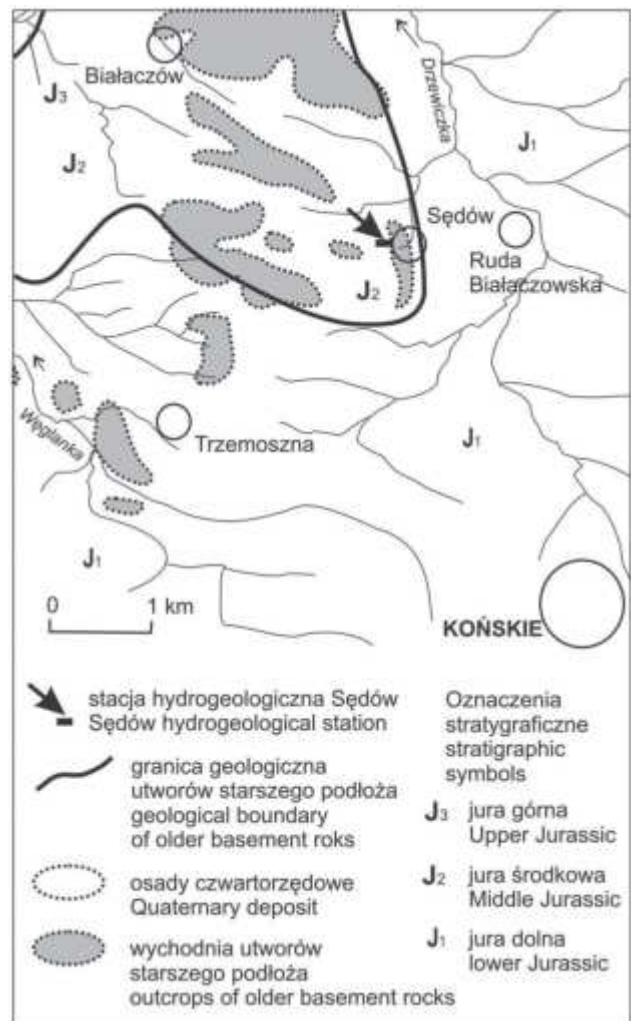
Warunki hydrogeologiczne

W rejonie stacji występują środkowojurajski i dolnojurajski poziom wodonośny oraz pokrywający je nieciągły



Rys. 1. Położenie stacji hydrogeologicznej I rzędu Sędów w Subregionie Środkowej Wisły

Fig. 1. Sędów first-order hydrogeological station in the Middle Vistula Subregion

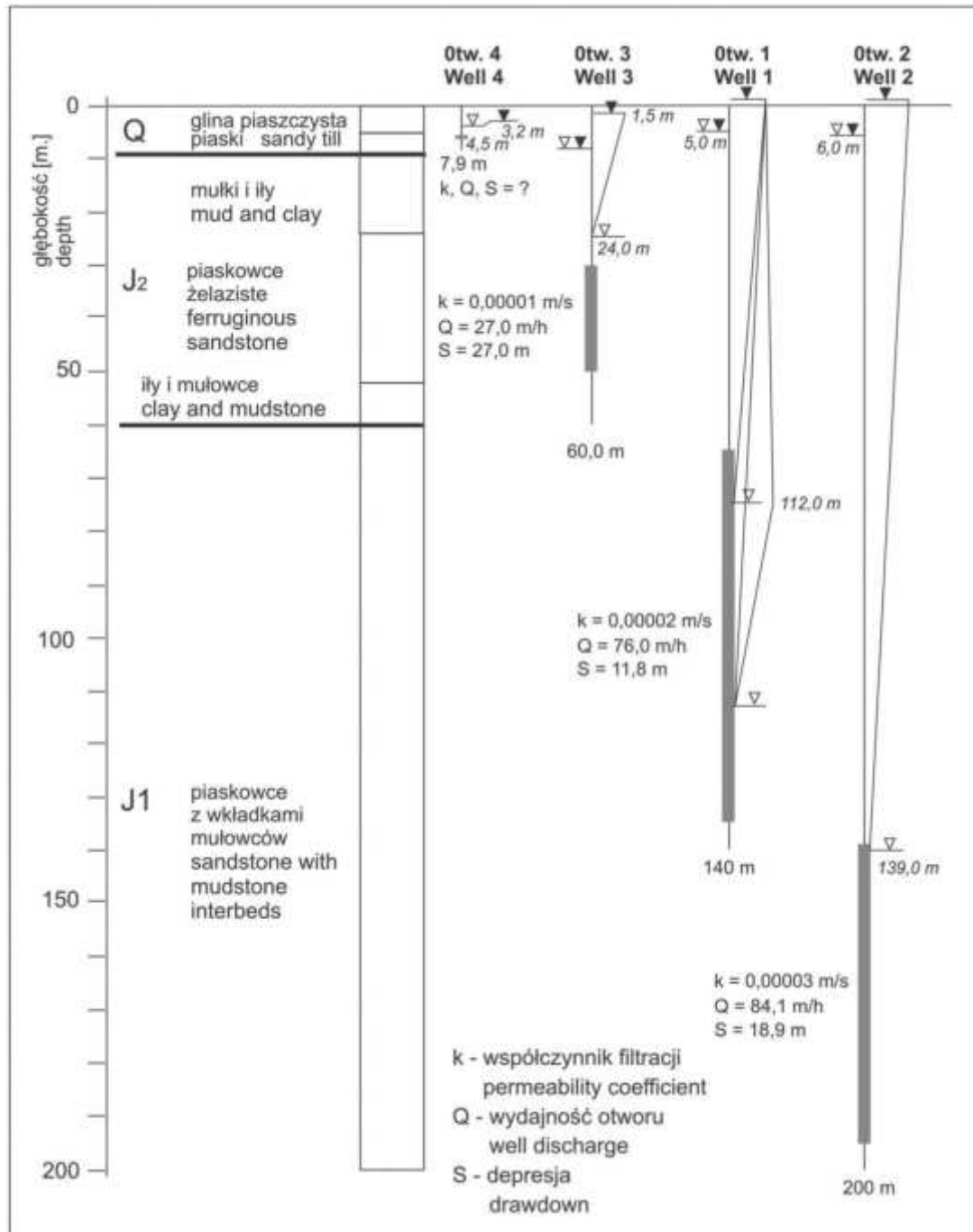


Rys. 2. Szkic geologiczny rejonu stacji hydrogeologicznej Sędów

Fig. 2. Geological sketch-map in the Sędów hydrogeological stations region

poziom czwartorzędowy. Podstawowe znaczenie użytkowe dla zaopatrzenia ludności w wodę mają jednak tylko poziomy jurajskie. Poziom czwartorzędowy jest eksploatowany wyłącznie studniami kopanymi. Zwierciadło wody w piaskach czwartorzędowych (ośrodek porowy) ma charakter swobodny. W piaskowcach środkowo- i dolnojurajskich (ośrodek szczelinowo-porowy) zwier-

ciadło wody jest najczęściej napięte przez niespękanne bloki skalne oraz lokalne, nieciągłe wkładki ilów i mułowców. Profil hydrogeologiczny samej stacji pokazano na rys. 3. Współczynniki filtracji poziomów jurajskich są w nim zbliżone i wynoszą od 0,00001 do 0,00003 m/s (0,9-2,6 m/24 h) (Lis 1982).



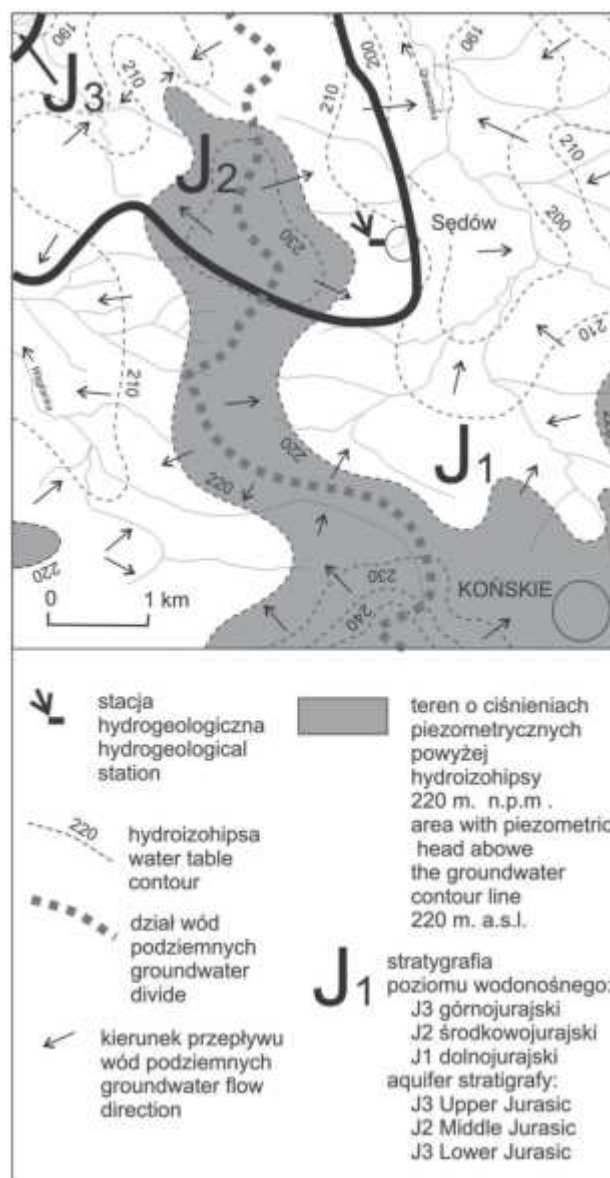
Rys. 3. Profil hydrogeologiczny stacji Sędów  
Fig. 3. Hydrological profile of the Sędów monitoring station

## ARTYKUŁ PROBLEMOWY

W profilu hydrogeologicznym stacji nie ma regionalnych warstw izolujących. Poziomy jurajskie są utworami lądowo-morskimi. Rozdzielające wodonośne piaskowce przewarstwienia ilów i mułowców są nieciągłe i występują tylko lokalnie. Ciśnienia piezometryczne w poziomie czwartorzędowym są wyższe około 1,5-2 m od ciśnień w poziomie środkowojurajskim. Poziomy środkowojurajski i dolnojurajski zasilane są z poziomu czwartorzędowego, a na okolicznych wychodniach bezpośrednio przez infiltrację efektywną opadów atmosferycznych (rys. 2). Rozkład ciśnień piezometrycznych w dolno- i środkowojurajskim ośrodku szczelinowo-porowym jest bardzo skomplikowany. Ciśnienia piezometryczne w najniższej leżącym poziomie dolnojurajskim są wyższe około 2 m od ciśnień w poziomie czwartorzędowym i około 3 m od ciśnień w poziomie środkowojurajskim. Okresowo kształtują się nawet powyżej powierzchni terenu. Obszary ich zasilania o ciśnieniach piezometrycznych wyższych niż na terenie stacji (powyżej hydroizohipsy 220 m n.p.m.) występują na położonych od niej na zachód wzgórzach, przez które z południa na północ biegnie dział wód podziemnych pomiędzy zlewniami Węglanki i Drzewiczki oraz na południu w rejonie Końskich (rys. 4). Zasilanie poziomów jurajskich odbywa się tam przez infiltrację efektywną opadów atmosferycznych w strefie wychodni ich warstw wodonośnych lub poprzez nadległy, nieciągły poziom czwartorzędowy. Funkcję lokalnego drenażu wód podziemnych pełnią uprzednio wymienione rzeki i ich dopływy.

### WYNIKI BADAŃ

Pomiary głębokości zwierciadła wody w otworach obserwacyjno-badawczych stacji w okresie od początku funkcjonowania stacji w 1982 r. do 1 kwietnia 2007 r. były wykonywane jeden raz w tygodniu, a od 1 kwietnia 2007 r. są już prowadzone codziennie, z tym że od 2011 r. dodatkowo wykonywane są co godzinę pomiary automatyczne. Badania własności chemicznych wody poziomu środkowojurajskiego [J2], górnej części poziomu dolnojurajskiego [J<sub>1</sub>(a)] i dolnej części poziomu dolnojurajskiego [J<sub>1</sub>(b)] są prowadzone w ramach państwowego monitoringu środowiska (sieć krajowa) od 1991 r., a poziomu czwartorzędowego [Q] – dopiero od 1995 r. Analizy fizyczno-chemiczne próbek wody jeden raz w roku wykonuje Centralne Laboratorium Chemiczne PIG-PIB.



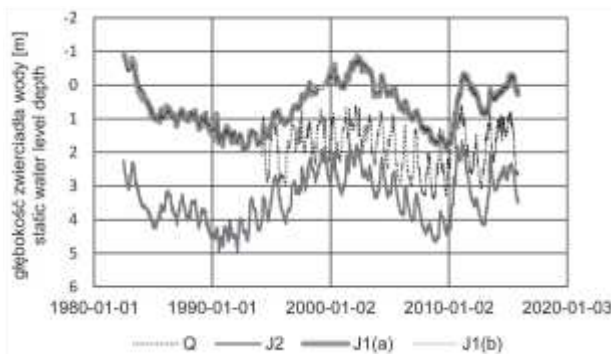
Rys. 4. Szkic hydrogeologiczny rejonu stacji hydrogeologicznej Sędów

Fig. 4. Geological sketch-map in the Sędów hydrogeological station region

Wyniki pomiarów zwierciadła wody w otworach i analiz chemicznych wprowadzane są do bazy monitoringu wód podziemnych.

### Zwierciadło wód podziemnych

Długie ciągi obserwacyjne pomiarów głębokości zwierciadła wody w otworach stacji hydrogeologicznej pozwalają na ocenę wzajemnych zależności hydraulicznych pomiędzy zalegającymi na różnych głębokościach poziomami wodonośnymi. Wieloletnie i roczne zmiany zwierciadła wody odzwierciedlają charakter zachodzą-



**Rys. 5.** Ciśnienia piezometryczne wody w obserwowanych poziomach wodonośnych na stacji hydrogeologicznej Sędów  
**Fig. 5.** Piezometric head in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station

cych w nich zmian retencji (przy zwierciadle swobodnym) lub zasobów sprężystych (przy zwierciadle napiętym). Wyniki pomiarów stanu zwierciadła wody w otworach stacji pozyskano z platformy integracyjnej PSH (państwowej służby hydrogeologicznej) i przedstawiono je w postaci graficznych wykresów (rys. 5). Zaznacza się na nich wyraźna cykliczność wieloletnich i rocznych zmian ciśnień piezometrycznych, podobna we wszystkich obserwowanych poziomach wodonośnych. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że w poziomach środkowojurajskim [J2] oraz w górnej i dolnej części poziomu dolnojurajskiego [J<sub>1</sub>(a)], [J<sub>1</sub>(b)] cykl zmian wieloletnich (od max do max) rozpoczął się tuż przed lipcem 1982 r. (początek obserwacji) i trwał około 20-21 lat, do 2002 r. Minimum cyklu w poziomie środkowojurajskim zaznaczyło się w 1991 r., a w głęb-

szym poziomie dolnojurajskim – nieco później, bo dopiero w 1993 r. Amplituda wahań zwierciadła wody w skali całego cyklu wynosiła odpowiednio 3,19 m w poziomie środkowojurajskim, 2,91 m w górnej części poziomu dolnojurajskiego i 2,81 m w dolnej części poziomu dolnojurajskiego (tab. 1). Kolejny cykl trwa od 2002 r. do dzisiaj, z tym że w latach i 2011 i 2015 zaznaczyły się w nim dwa maksima sugerujące zamknięcie cyklu (rys. 5). Obserwacje zwierciadła wody w poziomie czwartorzędowym [Q] rozpoczęto się dopiero w drugiej połowie cyklu 1982-2002. Z tego też względu porównanie zakresu zmian stanów zwierciadła wód podziemnych w cyklu 1982-2002 jest możliwe tylko dla poziomów jurajskich. Zakres zmian w poziomie czwartorzędowym oceniono natomiast w odniesieniu do całego okresu jego obserwacji w latach 1995-2015 (tab. 1).

Ciśnienia piezometryczne wyrażające się poziomem zwierciadła wody w otworach obserwacyjno-badawczych ujmujących badane poziomy wodonośne są różne. W cyklu 1982-2002 najwyższe ciśnienia piezometryczne występowały w poziomie dolnojurajskim i były niemal identyczne w jego górnej i dolnej części. Okresowo stabilizowały się nawet do 0,87 m powyżej powierzchni terenu. Zakres zmian stanów zwierciadła wody wynosił w nich od odpowiednio 2,91 i 2,81 m. W wyżej leżącym poziomie środkowojurajskim ciśnienia piezometryczne były niższe, lecz zakres ich zmian w cyklu był nieco większy i wynosił 3,19 m. Swobodne zwierciadło wody w poziomie czwartorzędowym było wyższe od ciśnień

**Tabela 1.** Zakres wieloletnich zmian zwierciadła wody w obserwowanych poziomach wodonośnych stacji hydrogeologicznej Sędów

**Table 1.** Range of multi-annual groundwater level variations in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station

Wielolecie Multi-annual period	Zakres wieloletnich zmian zwierciadła wody [m] Range of multi-annual groundwater level variations											
	poziom czwartorzędowy Quaternary aquifer			poziom środkowojurajski Middle Jurassic aquifer			poziom dolnojurajski część górna Lower Jurassic aquifer, upper part			poziom dolnojurajski część dolna Lower Jurassic aquifer, lower part		
	otwór nr 4 well No 4			otwór nr 3 well No 3			otwór nr 1 well No 1			otwór nr 2 well No 2		
	max	min.	Z*	max	min.	Z*	max	min.	Z*	max	min.	Z*
<b>Cykl Cycle 1982-2002</b>				1,76	4,95	3,19	-0,87	1,94	2,91	-0,87	1,94	2,81
<b>1995-2015</b>	0,69	3,38	2,79									

\*Z – zakres zmian w wielolecia.  
Range of multi-annual variations.

piezometrycznych w poziomie środkowojurajskim i niższe niż w poziomie dolnojurajskim. Zakres zmian zwierciadła wody w latach 1995-2015 wynosił w nim 2,79 m (tab. 1, rys. 5).

Zakres zmian rocznych był bardzo zmienny. Niemniej można zauważyć, że największe (około 2,5 m) miały miejsce w poziomie czwartorzędowym, około 1 m w poziomie środkowojurajskim i około 0,5 m w górnej i dolnej części poziomu dolnojurajskiego. Zaznacza się więc wyraźna prawidłowość, według której wielkość rocznych zmian zwierciadła (ciśnięć piezometrycznych) wody zmniejszają się wraz z głębokością poziomów wodonośnych.

### Chemizm wód podziemnych

Badania składu chemicznego wody są prowadzone w ramach monitoringu wód podziemnych (sieć krajowa). W poziomie czwartorzędowym występują wody typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ , sporadycznie  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl-Ca}$ . W poziomie środkowojurajskim dominuje natomiast typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ , z tym że okresowo pojawia się typ  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$ , a w ostatnich latach 2014-2015 – również typ  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ . W niższym poziomie dolnojurajskim (w części górnej i dolnej) typów wody nie ustalano ze względu na zbyt dużą różnicę % mval anionów i kationów w bilansie jonowym (>5%). Są to bowiem, jak opisano w dalszej części artykułu, wody ultrasłódkie, o bardzo małej mineralizacji i wykonanie ich analizy z większą dokładnością bilansu jonowego jest trudne.

Mineralizacja wody badanych poziomów wodonośnych (suma jonów:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  i Fe) mieści się w granicach od 23 do 820 mg/l i wykazuje wyraźną strefowość wraz z jej zmniejszaniem wraz z głębokością (rys. 6).

Największą mineralizację ma woda poziomu czwartorzędowego, mniejszą – woda poziomu środkowojurajskiego, a najmniejszą – woda poziomu dolnojurajskiego (tab. 2). Wyraźna tendencja do wzrostu mineralizacji w czasie zaznacza się tylko w poziomach czwartorzędowym i środkowojurajskim, z tym że w poziomie czwartorzędowym jest większa, natomiast w górnej i dolnej części poziomu dolnojurajskiego utrzymuje się na podobnym poziomie przez cały okres prowadzenia badań (rys. 6).

Wyniki badań składu chemicznego wody wykazały,

że o jej jakości i przydatności do spożycia przez ludzi decydują przede wszystkim zawartość żelaza ogólnego pochodzenia geogenicznego oraz zbyt niski odczyn pH związany z kwaśnym (krzemionkowym) środowiskiem skalnym (rys. 7 i 8).

Zawartość żelaza ogólnego w wodzie badanych poziomów wodonośnych jest bardzo zmienna: od 0,22 do 18,63 mg/l. W poziomie czwartorzędowym wynosi od 3,95 do 6,76 mg/l, w poziomie środkowojurajskim – 1,05-8,68 mg/l, w górnej części poziomu dolnojurajskiego – od 0,22 do 18,6 mg/l, a w jego dolnej części – od 0,22 do 18,19 mg/l. Słaby stan chemiczny wody, wyrażający się zawartością żelaza ogólnego powyżej 5 mg/l, występuje okresowo tylko w poziomie dolnojurajskim, a ekstremalnie duża jego zawartość, przekraczająca 18 mg/l, wystąpiła tylko w pojedynczych analizach chemicznych (rys. 7).

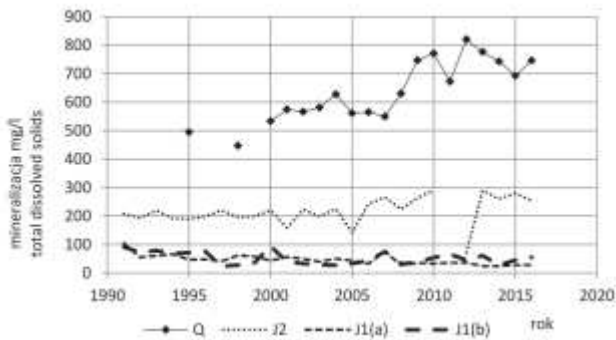
Odczyn pH wody z otworów stacji kształtuje się w granicach od 5,28 do 7,51; od 6,61 do 7,51 w poziomie czwartorzędowym, od 6,47 do 7,36 w poziomie środkowojurajskim, od 5,28 do 7,19 w górnej części poziomu dolnojurajskiego i od 5,72 do 7,19 w dolnej części poziomu dolnojurajskiego, z tym że najczęściej było on <6,5, przez co woda miała słaby stan chemiczny (rys. 8).

Pozostałe z badanych składników wody występują w ilościach określonych dla jej dobrego stanu chemicznego. Wyjątek stanowi tylko podwyższona sporadycznie zawartość cynku pochodząca prawdopodobnie z antropogenicznego zanieczyszczenia wód podziemnych.

Związki azotu w wodach podziemnych są typowym zanieczyszczeniem rolniczym pochodzącym z nawożenia gnojowicą i nawozami syntetycznymi pól uprawnych w rejonie stacji hydrogeologicznej. Należą do nich jon amonowy, azotyny i azotany.

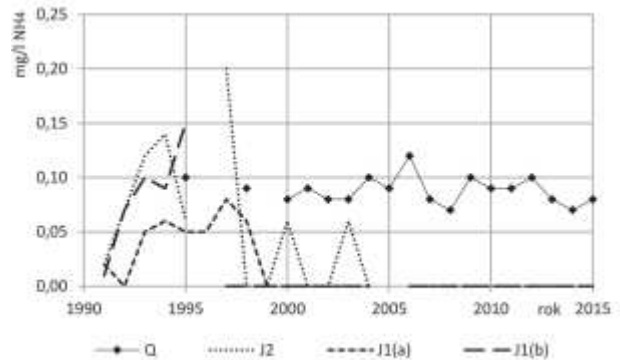
Jon amonowy od 1998 r. dominuje w poziomie czwartorzędowym w ilości od 0,07 do 0,12 mg/l. Wcześniej, w latach 1991-1997, w podobnych i większych ilościach występował sporadycznie także w starszych poziomach jurajskich (rys. 9).

Azotyny występują głównie w poziomie środkowojurajskim. W latach 1991-2006 ich ilość nie przekraczała 0,10 mg/l, a od 2007 r. zaznacza się wyraźny wzrost ich zawartości do 0,39 mg/l. W poziomie czwartorzędowym i poziomie dolnojurajskim jest ich brak lub występują



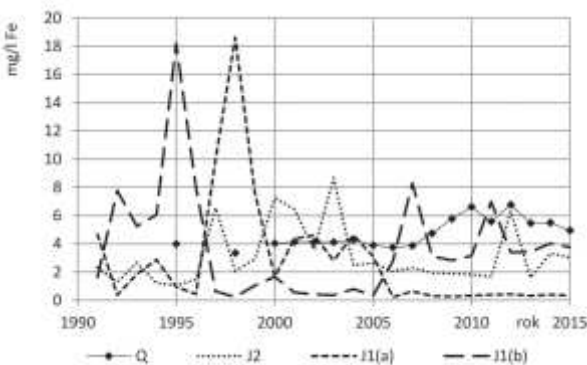
**Rys. 6.** Mineralizacja wody poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 6.** Water mineralization in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



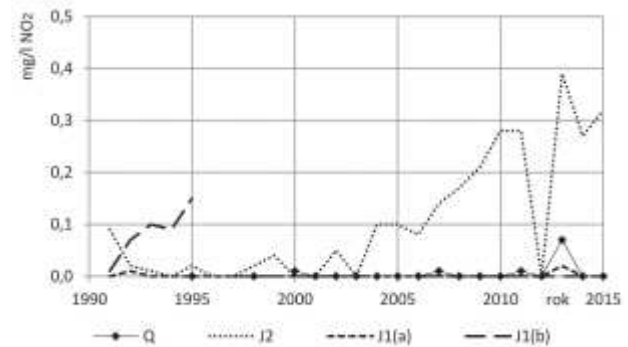
**Rys. 9.** Jon amonowy ( $\text{NH}_4^+$ ) w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 9.** Ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ) content in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



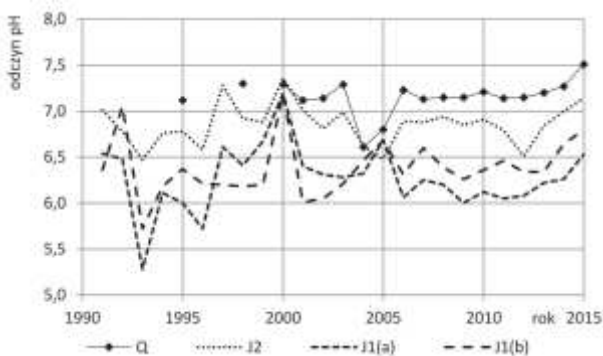
**Rys. 7.** Zawartość żelaza ogólnego w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 7.** Total iron content in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



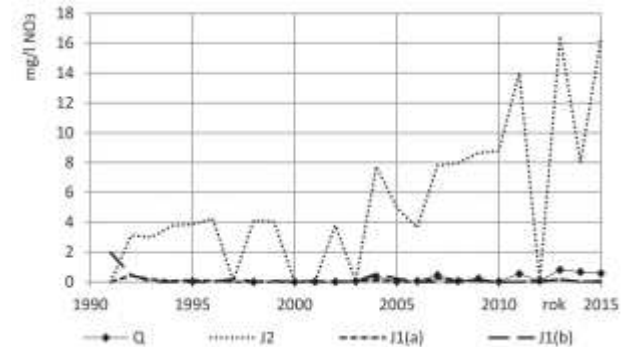
**Rys. 10.** Azotyny ( $\text{NO}_2^-$ ) w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 10.** Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) content in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



**Rys. 8.** Odczyn pH wody poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 8.** Water pH in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



**Rys. 11.** Azotany ( $\text{NO}_3^-$ ) w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 11.** Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) content in water in the Sędów hydrogeological station

**ARTYKUŁ PROBLEMOWY**

w ilościach śladowych. Wyjątek stanowią lata 1991-1995, kiedy sporadycznie pojawiały się także w dolnej części poziomu dolnojurajskiego (rys. 10).

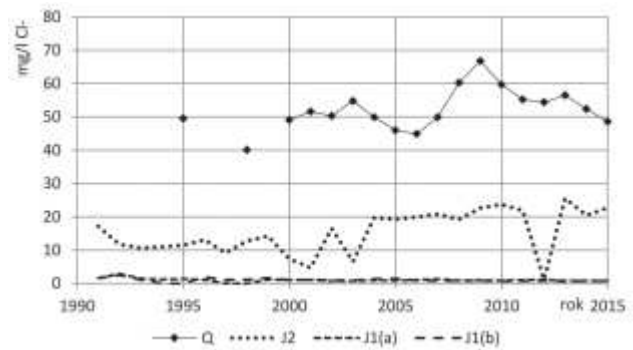
Azotany w ilościach znaczących występują tylko w poziomie środkowojurajskim. Do 2003 r. ich ilość nie przekraczała 5 mg/l. Ich wyraźny wzrost zaznaczył się dopiero od 2004 r., z tym że ich ilość nigdy nie przekroczyła 17 mg/l. Zdarzają się jednak lata, w których nie stwierdzono ich wcale (rys. 11).

Wskaźnikiem presji na chemizm wód podziemnych są również chlorki i siarczany. W największych ilościach występują one w wodzie poziomu czwartorzędowego: chlorki – od 40 do 67 mg/l, siarczany – od 65 do 152 do mg/l. Znacznie mniejsze ich stężenia występują w niżej leżącym poziomie środkowojurajskim: chlorki – od 1 do 26 mg/l, siarczany – od 4 do 37 mg/l. W głębszym poziomie dolnojurajskim w części zarówno górnej, jak i dolnej ich ilość jest natomiast śladowa. Zawartość chlorków nie przekracza w nim 3 mg/l, a siarczanów 10 mg/l (rys. 12 i 13).

W wodzie poziomów czwartorzędowego i środkowojurajskiego wyraźnie zaznacza się zmienność zawartości chlorków i siarczanów w czasie. W przypadku chlorków można się dopatrywać zaledwie niewielkiej tendencji do ich wzrostu. Wyrażna jest natomiast tendencja do wzrostu zawartości siarczanów, która jest znacznie większa w poziomie czwartorzędowym aniżeli w poziomie środkowojurajskim.

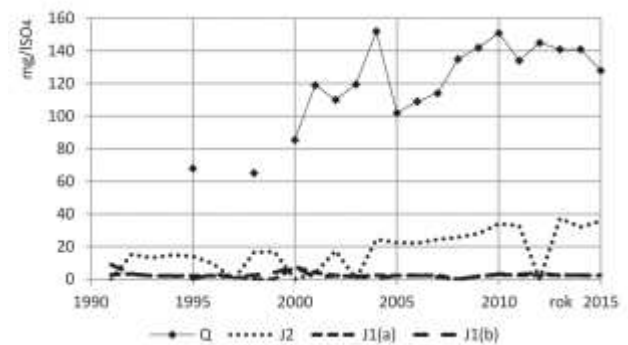
**DYSKUSJA WYNIKÓW**

Wieloletnie zmiany położenia zwierciadła wody odzwierciedlają stan retencji lub zasobów sprężystych wód



**Rys. 12.** Chlorki (Cl-) w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 12.** Chloride (Cl-) content in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station



**Rys. 13.** Siarczany (SO42-) w wodzie poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów

**Fig. 13.** Sulphate (SO42-) content in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station

podziemnych obserwowanych poziomów wodonośnych. Udokumentowany na stacji Sędów wieloletni ich cykl rozpoczął się tuż przed 1982 r. (początek obserwacji) i trwał 20-21 lat, aż do 2002 r. Zakres zmian zwierciadła (ciśnien piezometrycznych) wód podziemnych wynosi

**Tabela 2.** Mineralizacja i przewodnictwo elektryczne wody badanych poziomów wodonośnych stacji hydrogeologicznej Sędów  
**Table 2.** Mineralization and electrical conductivity of water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station

Własność wody od – do  Water parameters	Poziom czwartorzędowy Quaternary Aquifer		Poziom środkowojurajski Middle Jurassic aquifer		Poziom dolnojurajski część górna Lower Jurassic aquifer, upper part		Poziom dolnojurajski część dolna Lower Jurassic aquifer, lower part	
	otwór nr 4 well No 4		otwór nr 3 well No 3		otwór nr 1 well No 1		otwór nr 2 well No 2	
	min.	max	min.	max	min.	max	min.	max
Mineralizacja Total dissolved solids mg/l	447	820	72	291	24	105	23	94



w nim około 3 m. Odpowiada on cyklowi C (1981-2002) zarejestrowanemu w położonej kilkadziesiąt km na wschód sąsiedniej stacji hydrogeologicznej Kaplica (Prażak 2013a). Amplituda rocznych zmian ciśnień piezometrycznych zmniejsza się wraz z głębokością. Kształtują się one od około 2,5 m w poziomie czwartorzędowym, około 1,0 m w poziomie środkowojurajskim i około 0,5 m w najniższym położonym poziomie dolnojurajskim.

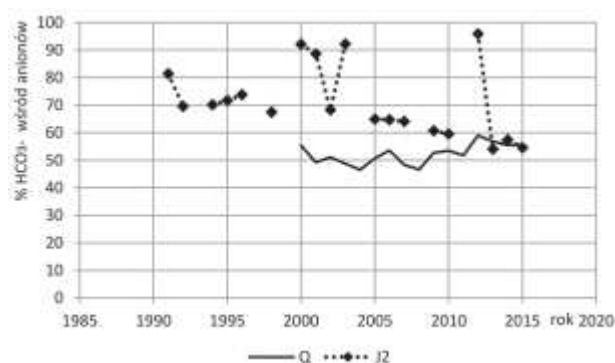
Wyniki badań składu chemicznego i wybranych własności fizycznych wody wskazują na wyraźną strefowość hydrochemiczną wód podziemnych w rejonie stacji. Wyraża się ona zarówno mineralizacją wód podziemnych, jak i skutkami presji zanieczyszczeń z powierzchni terenu w rejonie badań.

Mineralizacja wody w najbardziej wrażliwym na zanieczyszczenie poziomie czwartorzędowym wynosi od 447 do 820 mg/l i jest nieco większa od niższej leżącego poziomu środkowojurajskiego o mineralizacji od 141 do 291 mg/l (w 2012 r. było to 72 mg/l). Takie wartości mineralizacji są zbliżone do spotykanych w strefie aktywnej wymiany wód słodkich w centralnej części Subregionu Środkowej Wisły wyżynnego, która jest szacowana na około 150 m (Kos 2002). Poniżej, w poziomie dolnojurajskim, mineralizacja wody jest znacznie mniejsza. W górnej części poziomu w przelocie 64-134 m wynosi ona od 24 do 105 mg/l, a w części dolnej w przelocie 139-165 m – od 23 do 94  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Podobnie niską mineralizację mają okresowo wody źródeł wypływających z rumoszu kambryjskich piaskowców kwarcytowych na zboczach Łysogór (kilkadziesiąt kilometrów na wschód od terenu badań), lecz występują one tam tylko w górnej części profilu hydrochemicznego (Michalik 2008; Jasik, Małek 2013). Ustalenie przyczyn niskiej mineralizacji wód poziomu dolnojurajskiego w Sędowie i ich genezy w świetle istniejących danych jest trudne. Będzie ono możliwe dopiero na podstawie dalszych obserwacji rozszerzonych o badania izotopowe wieku wód podziemnych.

Wieloletnie badania składu chemicznego wód podziemnych wykazują wyraźną presję zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Wstępnie można ją ocenić na podstawie wskaźnika wodorowęglanowego. Zawartość  $\text{HCO}_3^-$  w sumie mval anionów  $>80\%$  wskazuje na skład chemiczny zbliżony do naturalnego, 60-80% na wody słabo zanieczyszczone, 40-60 średnio zanieczyszczone, a  $<40\%$  na wody silnie zanieczyszczone (Prażak 2013b). W świetle

tej klasyfikacji wody poziomu czwartorzędowego są średnio zanieczyszczone i wskaźnik wodorowęglanowy utrzymuje się w nich na podobnym poziomie. Wody niższej leżącego poziomu środkowojurajskiego do 2012 r. miały skład chemiczny zbliżony do naturalnego lub były słabo zanieczyszczone, wykazując stałą tendencję spadkową wskaźnika, a od 2013 są już średnio zanieczyszczone (wskaźnik  $<60\%$ ) wody (rys. 14). Dla górnej i dolnej części poziomu dolnojurajskiego wskaźnika wodorowęglanowego nie obliczono. Woda z nich ma bardzo niską mineralizację, a błąd bilansu jonowego przekracza 5%.

Na zmianę naturalnego składu chemicznego wód podziemnych najbardziej wpływają pochodzące z ognisk zanieczyszczeń chlorki, siarczany i azotany. Ich procentowy udział wśród anionów wzrasta kosztem odsetka zawartości wodorowęglanów. W przypadku chlorków i siarczanów ich zawartość maleje wraz z głębokością. Najwyższa ich ilość występuje w wodzie poziomu czwar-



Rys. 14. Wskaźnik wodorowęglanowy wody poziomów wodonośnych badanych na stacji hydrogeologicznej Sędów  
Fig. 14. Bicarbonate index in water in the monitored aquifers of the Sędów hydrogeological station

torzędowego, znacznie mniejsza jest w wodzie niższego poziomu środkowojurajskiego, a w wodzie najniższego poziomu dolnojurajskiego jest już tylko śladowa. Oznacza to, że głębokość migracji tych składników wody w rejonie stacji nie przekroczyła jeszcze głębokości 60 m.

W przypadku związków azotu zaznacza się ich znaczne zróżnicowanie wraz z głębokością. Jon amonowy występuje stale w wodzie poziomu czwartorzędowego. W latach 1991-2004 pojawiał się także sporadycznie w wodzie poziomu środkowojurajskiego, a w latach 1991-1995 – w wodzie poziomu dolnojurajskiego. Pochodził on prawdopodobnie z zanieczyszczeń rolniczych na pobliskich wychodniach starszego podłoża. Po 2000 r.

## ARTYKUŁ PROBLEMOWY

część okolicznych pól przestała być uprawiana i nawożona, co skutkowało zmniejszeniem zanieczyszczenia. Znaczące ilości azotynów i azotanów występują tylko w poziomie środkowojurajskim ze stałą tendencją do wzrostu aż do roku 2012. Na pytanie, czy będą ulegać zmniejszeniu, odpowiedzą dopiero dalsze badania. W niższej leżącym poziomie dolnojurajskim ilość ich jest natomiast praktycznie znikoma ( $<2 \text{ mg/l NO}_3$ ), co oznacza, że zanieczyszczenie azotanami, podobnie jak chlorkami i siarczanami, nie dotarło do tego poziomu.

Podwyższone zawartości żelaza i wartości odczynu pH są naturalnymi własnościami wody badanych na stacji poziomów wodonośnych. Żelazo w wodach podziemnych jest pochodzenia geogenicznego. Jego zawartość powyżej  $5 \text{ mg/l}$  jest własnością regionalną wody i okresowo występuje we wszystkich poziomach, powodując okresowo ich słaby stan chemiczny.

Niski odczyn  $\text{pH} < 6,5$ , będący także przyczyną słabego stanu chemicznego wody, obserwujemy niemal stale w przypadku poziomu dolnojurajskiego. Można przypuszczać, że jego przyczyną może być krzemionkowy (kwaśny) ośrodek skalny, lecz ostateczne wyjaśnienie tego problemu nastąpi dopiero po ustaleniu wieku i genezy badanych wód.

### KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Stacja hydrogeologiczna jest elementem monitoringu wód podziemnych jednolitych części wód podziemnych. W czterech otworach obserwacyjno-badawczych stacji nadal będą prowadzone pomiary głębokości zwierciadła wody w otworach, a w ramach monitoringu diagnostycznego i operacyjnego badany będzie skład chemiczny wody ujętych poziomów wodonośnych: czwartorzędowego, środkowojurajskiego oraz górnej i dolnej części poziomu dolnojurajskiego do głębokości 200 m. Będą w nich obserwowane sezonowe i wieloletnie cykle zmian zwierciadła (ciśnięć piezometrycznych) oraz tendencje (trendy) do zmian składu chemicznego występujących w nich wód podziemnych.

Ze względu na udokumentowane dotychczasowymi badaniami, specyficzne cechy wód podziemnych poziomu dolnojurajskiego, tj. występowanie w nim wód bardzo niskiej mineralizacji ( $<100 \text{ mg/l}$ ), i potrzebę wyjaśnienia ich genezy wskazane jest rozszerzenie badań o co najmniej dwukrotne badania izotopowe (tryt, tlen).

Podczas dalszych badań szczególną uwagę należy zwrócić na fakt, że ujęte na stacji poziomy wodonośne nie są od siebie izolowane ciągłymi warstwami nieprzepuszczalnymi. Naturalny profil hydrochemiczny stacji hydrogeologicznej Sędów można bardzo łatwo zaburzyć podczas pompowań oczyszczających otworów obserwacyjno-badawczych. Wskazane jest zatem, aby pompowania prowadzić małymi wydajnościami, niezbędnymi do oczyszczenia otworu w celu pobrania próbek wody.

### PODSUMOWANIE

Obserwacje hydrogeologiczne stanów zwierciadła wód podziemnych na stacji hydrogeologicznej Sędów Państwowego Instytutu Geologicznego–Państwowego Instytutu Badawczego rozpoczęto w lipcu 1982 r., a monitoring jakości wód podziemnych (obecnie monitoring jednolitych części wód podziemnych) – w 1991 r. Badaniami objęte są wody podziemne do głębokości 200 m.

Wyniki pomiarów głębokości ustalonego zwierciadła wody w czterech otworach obserwacyjno-badawczych stacji pozwoliły na poznanie wieloletnich i rocznych zmian położenia zwierciadła wody (ciśnięć piezometrycznych) w obserwowanych poziomach wodonośnych. Udokumentowano w nich niemal cały cykl wieloletni (1982-2002) i charakter dalszych zmian w trwającym do dzisiaj kolejnym cyklu.

Analiza wyników badań składu chemicznego wód podziemnych wykazała że, ich mineralizacja na terenie stacji maleje wraz z głębokością. W poziomie dolnojurajskim wody są ultrasłódkie, a ich mineralizacja spada okresowo nawet do  $23 \text{ mg/l}$ . Wyjaśnienie przyczyn tak niskiej mineralizacji wód podziemnych w dolnej części profilu hydrochemicznego wymaga dodatkowych badań izotopowych, niezbędnych do ustalenia ich wieku i genezy.

Wyniki badań dobrze pokazują charakter migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu i ich wpływ na skład chemiczny wód podziemnych. Szczególnie wyraźnie wyraża się ona obecnością w nich chlorków, siarczanów i związków azotu oraz tendencjami do zmian ich zawartości w wodzie badanych poziomów wodonośnych. Udokumentowana presja zanieczyszczeń obejmuje poziom czwartorzędowy i poziom środkowojurajski (do głębokości 60 m). W górnej i dolnej części niższej leżącego poziomu dolnojurajskiego wymienione składniki chemiczne wody występowały tylko w ilościach śladowych lub nie

było ich w ogóle.

Stan chemiczny badanych wód jest zmienny. Okresowo jest słaby, lecz tylko ze względu na ich naturalne właściwości: zawartość żelaza powyżej 5 mg/l i odczyn pH <6,5. Źródłem żelaza w tym rejonie są piaskowce żelaziste i okoliczne rudy żelaza występujące w środkowojurajskim poziomie wodonośnym. Niski odczyn wynika natomiast z krzemionkowego (kwaśnego) ośrodka skalnego wód podziemnych.

#### BIBLIOGRAFIA

- Jasik M., Małek S., 2013 – *Quality assessment of spring from the area of the Łysogóry Mts. in Świętokrzyski National Park in 2010*. Folia Forestalia Polonica, series A, vol. 55 (1), s. 27-32.
- Kazimierski B., Kuczyńska A., Leśniak P., Herbich P., Skrzypczyk L., Sadurski A., 2015 – *Weryfikacja programu monitoringu wód podziemnych dostosowanego do Ramowej Dyrektywy Wodnej, Dyrektywy Wód Podziemnych i raportowania w systemie WISE wraz z określeniem zakresów regionalnych tła chemicznego i weryfikacją wartości progowych dobrego stanu chemicznego wód podziemnych. Etap II: opracowanie zweryfikowanego programu monitoringu wód podziemnych w układzie dorzeczy na lata 2016-2021*.
- Kazimierski B., Cabalska J., Godziński T., Janica R., Kochanowski J., Komorowski W., Mikołajczyk A., Nałęcz T., Rudzińska, Zapaśnik T., Świeszcakowski W., 2005 – *Program monitoringu jednolitych części wód podziemnych na terenie Polski*. Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, opracowanie archiwalne.
- Kos M., 2002 – *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000 ark. 740 Końskie*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Lis E., 1982 – *Dokumentacja hydrogeologiczna dla stacji I-go rzędu obserwacji wód podziemnych z utworów jury dolnej – liasu i jury środkowej – doggeru w rejonie Sędowa (województwo piotrkowskie, gmina Białaczów)*. Przedsiębiorstwo Geologiczne w Kielcach, opracowanie archiwalne.
- Michalik A., 2008 – *The use of chemical and cluster analysis for studying spring water quality in Świętokrzyski National Park*. Polish J. of Environ. Stud., vol. 17, no. 3, s. 357-362.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – *Hydrogeologia Polski tom I wody słodkie*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Prażak J., 2007 – *Subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna*. [w:] *Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I – wody słodkie*, red. B. Paczyński, A. Sadurski, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Prażak J., 2013a – *Changes in groundwater storage, Kamienna drainage basin, southeastern Poland*. Annales Societatis Poloniae, vol. 3, s. 149-159.
- Prażak J., 2013b – *Bicarbonate and calcium-magnesium hydrochemical indicators for the assessment of human impact on the groundwater chemistry – a case study from the Holy Cross Mts. Region (Poland)*. Geological Quarterly, 57 (1), s. 135-140.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych, Dz.U. RP 2016, poz. 85.