

OCENA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH W MIĘDZYRZECZU KURÓWKI I BYSTREJ (REJON PUŁAW)

EVALUATION OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS BETWEEN THE KURÓWKA AND BYSTRA RIVERS (PUŁAWY REGION)

ROBERT ZDECHLIK¹, PAULA PIETRZAK¹

Abstrakt. Badania przeprowadzono w celu oceny warunków hydrogeologicznych pierwszego poziomu wodonośnego w rejonie na wschód od Puław, na obszarze międzyrzecza Kurówki i Bystrej. W ujęciu regionalnym wody podziemne krążą w obrębie pozostających w łączności hydraulicznej pięter wodonośnych: czwartorzędowego, czwartorzędowo-kredowego i kredowego, przy czym dominującą rolę odgrywa piętro kredowe. Rzeki ograniczające obszar mają charakter drenujący i determinują układ pola hydrodynamicznego. Podstawą oceny warunków hydrogeologicznych były własne badania terenowe, obejmujące w 200 studniach pomiary głębokości do zwierciadła wody oraz oznaczenie właściwości fizykochemicznych wód, a z wytypowanych studni dodatkowo pobór próbek do szczegółowych badań laboratoryjnych. Oznaczone w wodach ze wszystkich studni wartości właściwości fizykochemicznych (pH, PEW i temperatury) zasadniczo mieszczą się w zakresie dopuszczalnym dla wód do spożycia. Wyniki szczegółowych oznaczeń laboratoryjnych makro- i mikroskładników w wodach podziemnych wskazują na przewagę słabego stanu chemicznego (6 punktów), w porównaniu do stanu dobrego (2 punkty). W odniesieniu do normatywów dla wód do spożycia, kryteria spełniają wody z 3 punktów, podczas gdy w 5 punktach wymogi nie są spełnione.

Słowa kluczowe: warunki hydrogeologiczne, chemizm wód podziemnych, międzyrzecze Kurówki i Bystrej.

Abstract. The research was carried out to assess the hydrogeological conditions of the first aquifer in the area between the Kurówka and Bystra rivers, east of Puławy. In regional terms, groundwater circulates within the hydraulically connected Quaternary, Quaternary-Cretaceous and Cretaceous aquifers, with the Cretaceous aquifer playing a dominant role. Rivers that limit the area are of a draining nature, determining the system of the hydrodynamic field. The assessment of hydrogeological conditions was carried out based on own field tests including the measurement of the depth to groundwater table and the determination of physicochemical properties in 200 wells, and collecting additional water samples for detailed laboratory tests from selected wells. The values of physicochemical properties (pH, PEW and temperature), determined in the water from all wells, are generally within an acceptable range of values for drinking water. The results of detailed research on chemical composition of groundwater indicate the dominance of the poor chemical status (6 points) over the good chemical status (2 points). Based on the norms that determine the quality of water for human consumption, only 3 out of 8 points meet the requirements.

Key words: hydrogeological conditions, groundwater chemistry, interfluvium of the Kurówka and Bystra rivers.

WSTĘP

Prace badawcze objęły rejon na wschód od Puław, zlokalizowany na obszarze międzyrzecza Kurówki i Bystrej, a ich celem była ocena warunków hydrogeologicznych pierwsze-

go poziomu wodonośnego. Z uwagi na dominację w budowie geologicznej utworów kredowych, charakterystyka dotyczy głównie wodonośnego piętra kredowego, lecz w części północnej występuje zarówno kredowe, jak i czwartorzędowo-kredowe piętro wodonośne. Przeprowadzono kartowanie

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: robert.zdechlik@agh.edu.pl.

hydrogeologiczne, wykonując w przydomowych studniach kopanych pomiary głębokości do zwierciadła wód podziemnych, a także oznaczając podstawowe właściwości fizykochemiczne próbek wody. W dalszej kolejności z wytypowanych studni pobrano próbki wód do szczegółowych badań laboratoryjnych. Szeroki zakres oznaczanych parametrów pozwolił na dokonanie oceny stanu chemicznego wód podziemnych.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

LOKALIZACJA I WARUNKI ŚRODOWISKOWE

Objęte badaniami międzyrzecze Kurówki i Bystrej znajduje się w województwie lubelskim. Bezpośrednie ograniczenie stanowią rzeki: Wisła, Kurówka i Bystra (fig. 1). Kurówka i Bystra są prawobrzeżnymi dopływami Wisły, a ich

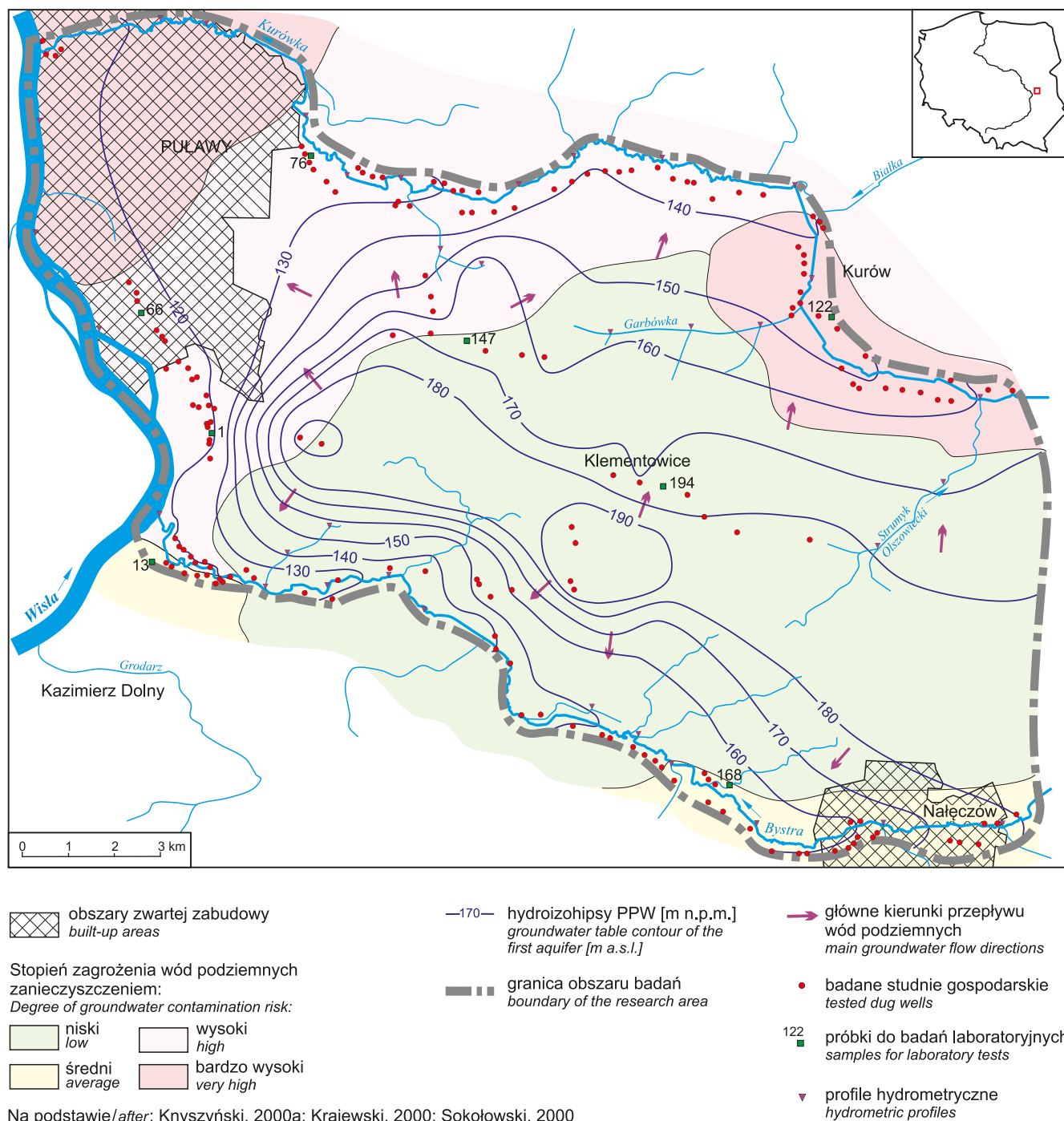


Fig. 1. Mapa warunków hydrogeologicznych w międzyrzeczu Kurówki i Bystrej (stan na wrzesień 2017 r.)

Map of hydrogeological conditions between the Kurówka and Bystra rivers (as of September 2017)

źródła znajdują się poza obszarem badań. Miasto Puławy znajduje się w północno-zachodniej części rozpatrywanego rejonu, przy ujściu Kurówki do Wisły. Przy ujściu Bystrej do Wisły jest położona miejscowość Bochothnica, natomiast w południowo-wschodniej części jest zlokalizowany Nałęczów.

Rzędne terenu wahają się od 114 do 220 m n.p.m. W ujęciu fizycznogeograficznym (Kondracki, 1998; Solon i in., 2018) obszar zasadniczo jest położony w obrębie mezoregionu Płaskowyżu Nałęczowskiego, graniczącego od północy z Wysoczyzną Lubartowską oraz od strony zachodniej z Małopolskim Przełomem Wisły. W południowej części Płaskowyżu Nałęczowskiego charakterystyczne jest występowanie płątów pokrywy lessowej z licznymi dolinami i wąwozami. Obszar nizinny w północnej części międzyrzecza jest lekko pofałdowany, miejscami zwydmiony, z nielicznymi obniżeniami i dolinami (Harasimiuk i in., 2017). W południowo-wschodniej części terenu występują nieliczne wzgórza, podczas gdy część północna ma charakter równiny. Licznie występują obszary objęte ochroną przyrodniczą: Kazimierski Park Krajobrazowy, Zespół Przyrodniczo-Krajobrazowy wzdłuż rzeki Bystrej, obszary specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000 (Puławy, Przełom Wisły w Małopolsce, Płaskowyż Nałęczowski). Przeważają głównie grunty rolne, niewielki fragment na północ od Puław to obszar leśny. Nieliczne eksploatowane wyrobiska, głównie piasku, znajdują się w rejonie Kurowa. W okolicach Kazimierza Dolnego i Bochothnicy są natomiast nieczynne kamieniołomy opok i wapieni.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Najstarsze utwory stwierdzone w międzyrzeczu Kurówki i Bystrej to mułowce i piaskowce z nielicznymi przewarstwieniami iłowców i łupków węglistych, ukształtowane w górnym karbonie. Powyżej nich występują utwory jury środkowej i górnej (wapień pelityczny i oolitowy oraz organodetrytyczny). Najstarszymi utworami odsłaniającymi się na powierzchni są natomiast datowane na górny mastrycht opoki, margle i wapień, których miąższość osiąga 250 m. Utwory kredowe odsłaniają się na powierzchni terenu jedynie w południowo-zachodniej części obszaru (Żarski, 1998). Utwory paleogenu to gezy, wapień i margle. Ich miąższość na Płaskowyżu Nałęczowskim wynosi 72 m. Na powierzchni odsłaniają się przede wszystkim na zboczach doliny Bystrej w okolicach Wąwolnicy i Nałęczowa, rzadziej na wschód od doliny Wisły na obrzeżach Puław (Buraczyński i in., 2006, 2013). Utwory eocenu środkowego i dolnego są reprezentowane przez piaski i mułki glaukonitowe, o miąższości do ok. 10 m, zalegające pod osadami czwartorzędowymi oraz na stropie paleocenu dolnego. Jedynie w zboczach doliny Kurówki w okolicy Końskowoli odsłaniają się na powierzchni (Harasimiuk i in., 1998, 2017).

Plejstocenyjskie osady czwartorzędowe zostały ukształtowane w efekcie procesów glacialnych. Występują gliny zwałowe, żwiry, głązy i piaski moren czołowych (niewysokie wzniesienia w północnej części obszaru), piaski i żwiry wodnolodowcowe (w dolinie Kurówki), o miąższości

od 2 do 10 m (Żarski, 1998; Buraczyński i in., 2013; Harasimiuk i in., 2017), lokalnie także piaski i mułki płaskowyżów (plateau) kemowych (na wschód od miejscowości Brzozowa Gać) oraz piaski i żwiry kemów (północna część obszaru). Do osadów czwartorzędowego nierozdzielonego zalicza się piaski, żwiry i głązy rezydualne, o miąższości do 2,5 m, występujące na południe od doliny Kurówki, a także lessy na stokach skarpy Wisły i w okolicach Nałęczowa. Piaski eoliczne, o miąższości do 3 m, dobrze wysortowane, występują w północno-zachodniej części obszaru, wzdłuż wschodniej części doliny Wisły, oraz na południu, w okolicy doliny Bystrej. Najmłodszymi utworami są osady holocenu, występujące głównie w dolinach rzek. Są to piaski, mułki ilaste i mułki rzeczne tarasów zalewowych, piaski i mułki deluwialne, namuły piaszczyste, mułkowate, pyłowate, a także torfiaste i humusowe den dolinnych i zagłębień, mułki rzeczno-jeziorne oraz torfy.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W obrębie międzyrzecza Kurówki i Bystrej występuje 8 jednostek hydrogeologicznych, dla których jednostkowe zasoby dyspozycyjne wahają się od 100 do 300 m³/24h/km²: 2bCr₃II, 3abCr₃III, 4abCr₃III, 5aCr₃II, 6abCr₃II, 9aCr₃III, 11abCr₃III oraz 12abCr₃II (Knyszyński, 2000a, b; Krajewski, 2000; Sokołowski, 2000). Charakteryzują się one całkowitym brakiem izolacji od powierzchni terenu lub występowaniem bardzo cienkiej warstwy utworów słabo przepuszczalnych.

Międzyrzecze należy do makroregionu lubelsko-radomskiego i regionu kredy lubelskiej (Kleczkowski i in., 1978). Obszar objęty badaniami leży w północnej części górnokredowego porowo-szczelinowego głównego zbiornika wód podziemnych (GZWP) nr 406 Niecka Lubelska, o powierzchni blisko 7477 km². Ponadto rejon badań stanowi fragment obszaru występowania jednolitej części wód podziemnych (JCWPd) nr 88, o powierzchni 2179,7 km², o dobrym stanie ilościowym i chemicznym, w obrębie której wydzielono trzy piętra wodonośne – lokalnie występujące czwartorzędowe, związane z doliną Wisły czwartorzędowo-kredowe oraz występujące na przeważającej części obszaru piętro kredowe (JCWPd88, 2019). Nie wyróżniono natomiast wodonośnego piętra paleogeńskiego, pomimo obecności utworów zaliczanych do tego wieku.

Bezpośrednio w międzyrzeczu Kurówki i Bystrej stwierdzono występowanie dwóch pięter – czwartorzędowo-kredowego i kredowego. Czwartorzędowo-kredowe piętro wodonośne występuje jedynie w północnej części międzyrzecza, na obszarze zlewni Kurówki, zajmując niewielką powierzchnię. Warstwa wodonośna, o miąższości do 150 m, zbudowana jest z piasków, żwirów, margli i opok. Współczynnik filtracji przyjmuje wartości z zakresu od 0,02 do 0,8 m/h, a wodoprzewodność – od 100 do 300 m²/h. Utwory wodonośne występują na głębokościach do 10 m i zasilane są w sposób lateralny wodami podziemnymi, a w dolinie Wisły przy jej wysokich stanach – wodami powierzchniowymi. Bazę drenażu stanowi Wisła. Wody tego piętra reprezentują typ hydrogeochemiczny HCO₃-Ca (JCWPd88, 2019).

Kredowe piętro wodonośne jest zbudowane z utworów kredy piszącej, margli i opok. Zwierciadło wody ma charakter swobodny, miejscami naporowy. Warstwa wodonośna osiąga miąższości od 100 do 150 m i występuje na głębokościach od 20 do 120 m. Ośrodek ma charakter szczelinowy, współczynnik filtracji przyjmuje wartości z zakresu od 0,04 do 0,6 m/h, a wodoprzewodność – od 50 do 200 m²/h. Piętro charakteryzuje się brakiem izolacji, jedynie miejscowo na powierzchni terenu występują utwory słabo przepuszczalne. Wody piętra kredowego reprezentują typy: HCO₃-Ca, HCO₃-SO₄-Ca-Mg oraz HCO₃-Ca-Mg. Zasilanie zachodzi wskutek infiltracji opadów atmosferycznych (bezpośrednio lub przez przesączanie), natomiast bazą drenażu wód podziemnych jest Wisła wraz z dopływami (JCWPd88, 2019).

Na przeważającej części międzyrzecza Kurówki i Bystrej w wodach podziemnych występują podwyższone stężenia żelaza i manganu. Lokalnie stwierdzano podwyższone stężenia innych wskaźników, np. jonów amonowych (w miejscowości Drzewce) bądź azotynów (w Piotrowicach). W części południowo-wschodniej (rejon Nałęczowa) obserwowano podwyższone stężenia manganu (Knyszyński, 2000a; Krajewski, 2000; Sokołowski, 2000).

W obrębie zlewni Kurówki odnotowano wysoki oraz bardzo wysoki stopień zagrożenia zanieczyszczeniem wód podziemnych (fig. 1). Taki stan jest efektem niewielkiej izolacji warstw wodonośnych (zwłaszcza czwartorzędowych) oraz występowania licznych ognisk zanieczyszczeń. Korzystniejsza sytuacja występuje w zlewni Bystrej, gdzie przeważa niski lub średni stopień zagrożenia, na skutek ograniczonej dostępności głównego poziomu wodonośnego i niewielkiej liczby ognisk zanieczyszczeń (Knyszyński, 2000a; Krajewski, 2000; Sokołowski, 2000).

W Nałęczowie występuje obszar górniczy wód leczniczych. Czerpane są wody żelaziste górnokredowego piętra wodonośnego, w których zawartość jonów żelaza jest większa niż 10 mg/dm³ – ze źródła Żelaziste-Celińskiego oraz z odwiertu Barbara. Ponadto czerpane są również wody o znikomym stężeniu żelaza – ze źródła Miłość (Dybkowski, Zawisłak, 2012).

BADANIA WŁASNE

ZAKRES BADAŃ

Szczegółowe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych rozpatrywanego obszaru rozpoczęto od kartowania hydrogeologicznego (Pietrzak, 2018). W pierwszym etapie (wrzesień 2017 r.) prace terenowe przeprowadzono w wytypowanych 200 studniach gospodarskich (fig. 1). Obejmowały one pomiary głębokości do zwierciadła wody oraz oznaczenie podstawowych parametrów fizykochemicznych wód (pH, PEW, temperatury), a także identyfikację obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie dla jakości wód (kartowanie sozologiczne). W przypadku studni kopanych brak jest profili i nie można jednoznacznie określić litostratigraficznego charakteru wodonośca, stąd też uzasadnione

jest posługiwanie się sformułowaniem „pierwszy poziom wodonośny” (PPW). Na analizowanym obszarze PPW jest reprezentowany przez wody piętra czwartorzędowego oraz pozostające z nimi w łączności hydraulicznej wody piętra górnokredowego. Nie można jednak wykluczyć, że w niektórych przypadkach zmierzona głębokość do zwierciadła wody może być związana z poziomami zawieszonymi w stropowych partiach warstw kredy górnej. Z tej przyczyny odwzorowanie przestrzenne rozkładu pola hydrodynamicznego, przedstawione w postaci mapy hydroizohips, lokalnie może nie być w pełni precyzyjne.

W drugim etapie badań (sierpień 2018 r.) pobrano próbki wody z ośmiu wybranych studni, z przeznaczeniem do szczegółowych badań laboratoryjnych. Wytypowano studnie w rejonach pozbawionych lokalnej antropopresji, które zdaniem autorów pozwalają na identyfikację zjawisk o charakterze obszarowym. Pobór próbek był zgodny z wymaganiami formalnymi, a także z zalecaną metodyką (Witczak i in., 2013; Zdechlik i in., 2013). W Laboratorium Hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie metodami spektrometrycznymi (ICP-OES i ICP-MS) oznaczono stężenia następujących wskaźników: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, SO₄, Sb, Se, SiO₂, Sn, Sr, Te, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr.

INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ TERENOWYCH

Pole hydrodynamiczne

Terenowe pomiary głębokości występowania zwierciadła posłużyły do określania rozkładu pola hydrodynamicznego wód podziemnych. Stosując interpolację liniową, a także biorąc pod uwagę dominujący drenujący charakter cieków (na co wskazuje układ hipsometryczny i brak ujęć w pobliżu cieków) oraz topografię terenu (zwłaszcza na obszarach o ograniczonej dostępności punktów pomiarowych), sporządzono mapę hydroizohips PPW międzyrzecza Kurówki i Bystrej, reprezentującą stan na wrzesień 2017 r. (fig. 1). W morfologii można wyróżnić dwie zróżnicowane strefy – w północnej części teren jest położony wyraźnie niżej w odniesieniu do części południowej, gdzie ponadto występują nieliczne wzgórza. Pole hydrodynamiczne wód podziemnych kształtuje się w układzie w przybliżeniu zgodnym z morfologią terenu. Generalnie uwidaczniają się typowe zależności – najmniejsze głębokości do zwierciadła występują w strefach dolinnych (w północnej części – mniej niż 1 m), podczas gdy na terenach wyniesionych głębokości bywają znacznie większe (do 20 m). W ujęciu ogólnym przepływ wód podziemnych (w kierunkach północnym, zachodnim oraz południowo-zachodnim) jest determinowany lokalizacją głównych cieków o charakterze drenującym (Wisły, Kurówki i Bystrej). W ujęciu szczegółowym ukształtowanie hydroizohips wskazuje również na drenujący wpływ mniejszych cieków. Z racji przeglądowej skali mapy (fig. 1), zależności te są słabiej widoczne, tym niemniej w odniesieniu do PPW uzasadnione wydaje się przyjęcie drenującego

charakteru wszystkich cieków. W trakcie kartowania hydrogeologicznego nie stwierdzono infrastruktury technicznej, która mogła by wpływać na brak lub wyraźne ograniczenie kontaktu wód powierzchniowych z podziemnymi. Największe spadki hydrauliczne wód podziemnych obserwuje się na obszarze zlokalizowanym w sąsiedztwie ujścia Bystrej do Wisły, w strefie zboczny.

Przedstawiony obraz pola hydrodynamicznego w znacznej mierze wynika z lokalizacji punktów pomiarowych. Studnie gospodarskie są rozmieszczone w obrębie skupisk osadniczych, a te z kolei koncentrują się w dolinach rzecznych i w pobliżu ciągów komunikacyjnych. Taka niejednorodność rozmieszczenia punktów skutkuje zróżnicowaną wiarygodnością uzyskanych zależności przestrzennych. Należy uznać, że większą wiarygodnością cechuje się przedstawiony rozkład pola hydrodynamicznego w rejonach dolin rzecznych.

Właściwości fizykochemiczne

Wyniki badań terenowych podstawowych wskaźników fizykochemicznych wód podziemnych (pH, PEW i temperatura) przedstawiono w postaci statystyk opisowych (tab. 1). Analizę przeprowadzono w odniesieniu do całego rozpatrywanego obszaru międzyrzecza (fig. 1).

Na całym obszarze badań wartości odczynu pH w wodach podziemnych (od 7,0 do 8,6) mieszczą się w zakresie dopuszczalnym dla wód do spożycia (zgodnie z RMZ, 2017). Najwyższe wartości odczynu (>8,5) stwierdzono incydentalnie w wodach pobranych z dwóch studni, co raczej wskazuje na bardzo lokalny wpływ zanieczyszczeń. Słabo zasadowy odczyn pH w zakresie 8,0–8,5 stwierdzono w wodach z 10 studni w południowo-zachodniej części w rejonie spływu wód podziemnych do Wisły, a także w kilku studniach w części północnej na obszarze spływu wód podziemnych do Kurówki. Taki rozkład przestrzenny odczynu pH w wodach podziemnych może być efektem rozpuszczania węglanowych utworów wodonośnych. Tym niemniej zasadniczo na całym obszarze dominują wody podziemne o odczynie z zakresu 7,5–8,0 (mediana z wszystkich pomiarów wynosi 7,7).

Zmierzone wartości przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) wynoszą od 206 do 3320 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 2017 r. (RMZ, 2017) parametr ten w wodach do spożycia nie powinien przekraczać 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jedynie w trzech punktach stwierdzono wartości wyższe niż dopuszczalne. Obserwacje terenowe pozwalają przypuszczać, że przyczyną podwyższonych wartości PEW są zanieczyszczenia wynikające ze sposobu użytkowania terenu w bezpośrednim otoczeniu opróbowanych studni (gospodarstwo rolne, działalność hodowlana, zanieczyszczenie ściekami). Ponadto w pięciu punktach występują wartości nieznacznie niższe niż dopuszczalne (w przedziale 2000–2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), jednak wyraźnie wyższe od pozostałych.

Pomierzone wartości temperatury wód podziemnych (9,2–16,9°C) mieszczą się w zakresie odpowiadającym naturalnemu tłu hydrogeochemicznemu (4,0–20,0°C, Wit-

Tabela 1

Analiza statystyczna podstawowych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych w międzyrzeczu Kurówki i Bystrej (n = 200)

Statistical analysis of basic physicochemical parameters of groundwater between the Kurówka and Bystra rivers (n = 200)

	Odczyn pH	PEW [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Temperatura [°C]
Średnia	–	1027	11,90
Mediana	7,7	949	11,60
Odch. stand.	–	459	1,55
Minimum	7,0	206	9,20
Maksimum	8,6	3320	16,90
Rozstęp	1,6	3114	7,70

czak i in., 2013). Widoczna jest generalna korelacja temperatury z głębokością położenia zwierciadła wody (fig. 2) – wraz ze wzrostem głębokości następuje spadek temperatury. Tym niemniej w przypadku wód zalegających na większych głębokościach (powyżej ok. 15 m), wyniki pomiarów temperatury można interpretować jako odwrócenie tego trendu – z głębokością następuje nieznaczny wzrost temperatury. Wyższe wartości temperatury, stwierdzane w wodach na mniejszych głębokościach, są najprawdopodobniej efektem relatywnie wysokich temperatur powietrza w okresie pomiarów (wrzesień). Wartości reprezentatywne (średnia oraz mediana) temperatury wód podziemnych dla analizowanego zbioru nie przekraczają 12°C.

INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH

Szczegółowa analiza fizykochemiczna próbek pobranych z wytypowanych w drugim etapie badań ośmiu studni obejmowała oznaczenie zarówno makro-, jak i mikrośladników. Określono wielkości błędów analiz i uznano, że (z wyjątkiem próbek pochodzących z punktu nr 194) analizy spełniają przyjęte kryterium poprawności (błąd nie przekraczał 5%). Dla wybranych wskaźników fizykochemicznych oraz stężeń jonów głównych określono podstawowe statystyki, które przedstawiono w tabeli 2.

Ocenę jakości wód podziemnych (tab. 3) na podstawie wyników szczegółowych badań laboratoryjnych sporządzono zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2015 r. (RMŚ, 2015), uwzględniając wymogi podane w Dyrektywach UE (RDW, 2000; DWP, 2006; DT, 2009). Dokonano również oceny wyników w odniesieniu do zakresów dopuszczalnych dla wód do spożycia (RMZ, 2017). W przypadkach, gdy pomierzone stężenie składnika chemicznego było mniejsze niż granica oznaczalności zastosowanej metody analitycznej (<DL), do oceny stanu chemicznego wód przyjmowano wartości ½DL.

Spośród ośmiu punktów pomiarowych, w zdecydowanej większości (w sześciu, co stanowi 75% liczebności wszystkich punktów) występują wody zaliczane do IV klasy, czyli o niezadowalającej jakości. Tylko w dwóch punktach wody

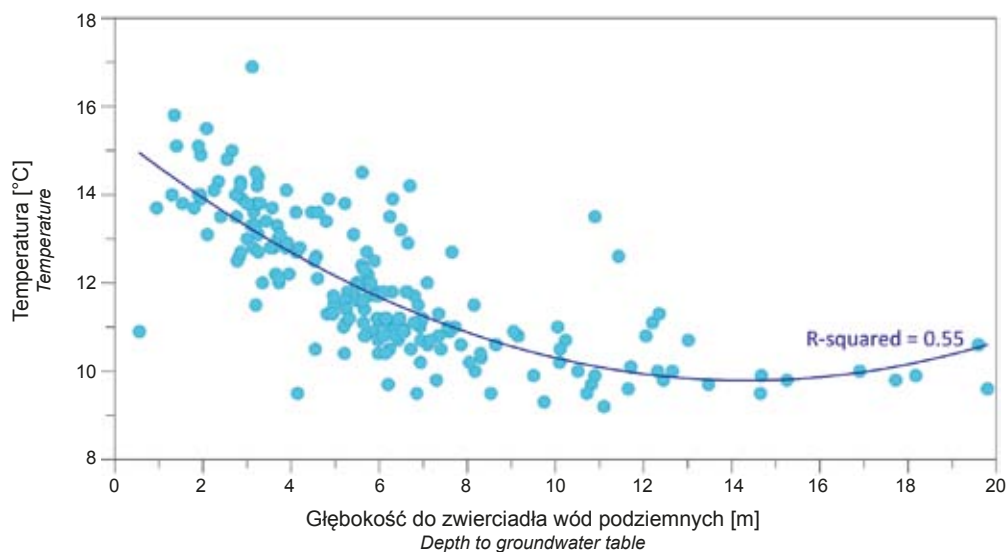


Fig. 2. Zależności pomiędzy temperaturą wód podziemnych a głębokością położenia zwierciadła wody

Relationships between the groundwater temperature and the depth to the water table

cechowały się składem odpowiadającym klasie III (zadawalająca jakość) lub II (dobra jakość). Oznacza to, że na rozpatrywanym obszarze dominują wody podziemne oznaczające się słabym stanem chemicznym. Decydują o tym przede wszystkim wysokie stężenia K i PO_4 , w mniejszym stopniu również HCO_3 , Ca, Ni i Mn (tab. 3). Dobry stan chemiczny stwierdzono jedynie w próbkach pobranych z punktów po-

łożonych w środkowej i północno-zachodniej części obszaru (fig. 1).

Zgodnie z klasyfikacją Altowskiego-Szwieca są to głównie wody wodorowęglanowo-wapniowe ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$), niekiedy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$) i wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowe ($\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$).

Tabela 2

Wyniki badań laboratoryjnych, typy hydrogeochemiczne oraz statystyki opisowe wybranych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych (stan na sierpień 2018 r., na podstawie pomiarów z 8 punktów)

Results of laboratory tests, hydrogeochemical types, and descriptive statistics of selected physicochemical parameters of groundwater (as of August 2018, based on measurements from 8 points)

Nr punktu	pH	PEW [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Cl [mg/l]	HCO_3 [mg/l]	SO_4 [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Typ wód*
1	6,78	1418	69,68	573,50	445,26	204,42	25,09	64,60	16,08	Ca- HCO_3 - SO_4
13	7,13	760	17,12	386,81	86,64	101,76	14,06	13,69	53,68	HCO_3 -Ca
66	7,24	821	32,01	482,51	107,11	133,98	19,76	15,53	12,88	HCO_3 -Ca
76	6,85	291	7,15	126,83	39,85	40,86	4,94	5,28	16,37	HCO_3 -Ca
122	7,54	1235	96,03	625,88	92,06	169,22	25,88	43,73	29,56	HCO_3 -Ca
147	7,11	977	14,29	476,35	212,61	147,74	28,63	20,75	2,95	HCO_3 -Ca-Mg
168	7,24	701	17,27	409,44	76,81	112,69	16,96	6,72	13,85	HCO_3 -Ca
194	7,46	2080	77,57	417,72	580,45	172,04	69,44	27,85	237,85	HCO_3 - SO_4 -Ca-K-Mg
Analiza statystyczna										
Średnia	-	1035	41,39	437,19	205,10	135,34	25,59	24,77	47,90	-
Mediana	7,19	899	24,64	446,67	99,59	140,86	22,43	18,14	16,22	-
Odch. stand.	-	544	34,35	150,15	199,57	50,69	19,27	20,30	78,25	-
Minimum	6,78	291	7,15	126,83	39,85	40,86	4,94	5,28	2,95	-
Maksimum	7,54	2080	96,03	625,88	580,45	204,42	69,44	64,60	237,85	-
Rozstęp	0,76	1789	88,88	499,05	540,60	163,55	64,49	59,32	234,90	-

* klasyfikacja Altowskiego-Szwieca / Altowski-Szwiec classification

Tabela 3

**Klasyfikacja jakości, ocena stanu chemicznego oraz przydatność do spożycia wód podziemnych
(stan na sierpień 2018 r., na podstawie pomiarów z 8 punktów)**

Classification of quality, assessment of chemical status, and suitability for consumption of groundwater
(as of August 2018, based on measurements from 8 points)

Nr punktu	Klasa jakości (wg RMŚ, 2015) oraz wskaźniki decydujące	Stan chemiczny (wg RDW, 2000; RMŚ, 2015)	Spełnienie kryteriów dla wód do spożycia (zgodnie z RMZ, 2017)
1	IV (HCO ₃ , Ca, K, PO ₄ , Ni)	słaby	NIE (Ni)
13	IV (K, PO ₄ – V klasa)	słaby	NIE (Ag)
66	IV (PO ₄ , Mn – V klasa)	słaby	NIE (Fe, Mn)
76	III (K, PO ₄ – IV klasa)	dobry	NIE (Ag)
122	IV (K, PO ₄ – V klasa)	słaby	TAK
147	II (HCO ₃ , Ca, PO ₄)	dobry	TAK
168	IV (PO ₄ – V klasa)	słaby	NIE (Ag)
194	IV (K – V klasa)	słaby	TAK

Porównanie pomierzonych stężeń z wartościami granicznymi dla wód pitnych (RMZ, 2017) wskazuje, że w zakresie przeprowadzonych oznaczeń jedynie w przypadku trzech punktów pomiarowych wody spełniają wymagane kryteria (tab. 3). W pozostałych punktach przekroczone są dopuszczalne stężenia głównie jonów Ag (w trzech punktach), których pochodzenie można wiązać ze ściekami komunalnymi lub przemysłowymi (Witczak i in., 2013), a jednostkowo również jonów: Ni, Fe i Mn. Specyficzna sytuacja występuje w przypadku punktów nr 122 i 194, gdzie wody podziemne charakteryzują się słabym stanem chemicznym, ale równocześnie spełniają kryteria dla wód pitnych. Odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku punktu nr 76, gdzie mimo spełnienia wymogów dla dobrego stanu chemicznego, podwyższone stężenia jonów Ag dyskwalifikują wody do celów spożywczych.

PODSUMOWANIE

Własne badania kartograficzne pozwoliły na uzyskanie aktualnego (2017 r.) rozkładu pola hydrodynamicznego PPW rozpatrywanego rejonu. Kierunki przepływu są determinowane układem głównych rzek, przy czym dominującą rolę pełni Wisła. Ogólnie w analizowanym międzyrzeczu w północnej części przepływ wód podziemnych jest skierowany na północ (w stronę Kurówki), w części południowej – na południe i południowy zachód (w stronę Bystrej), natomiast w zachodniej części – na zachód i północny zachód (w stronę Wisły).

Przeprowadzona klasyfikacja jakości wód podziemnych (RMŚ, 2017) w międzyrzeczu Kurówki i Bystrej w rejonie Puław wykazała, że dominują wody zaliczane do klasy IV, czyli są niezadowolającej jakości (słaby stan chemiczny), a decydują o tym głównie stężenia K i PO₄, w mniejszym stopniu również HCO₃, Ca, Ni i Mn. Dobry stan chemiczny stwierdzono jedynie w dwóch punktach położonych w środkowej i północno-zachodniej części fragmentu zlewni. Ana-

liza składu wód pod kątem spełnienia wymagań dotyczących wartości dopuszczalnych w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi (RMZ, 2017) wskazuje, że przekroczenia wartości granicznych występują głównie w przypadku jonów Ag, w mniejszym stopniu również Ni, Fe i Mn (tab. 3). Względnie dobrą jakością charakteryzują się wody pobrane z centralnej części rejonu.

Należy mieć na uwadze, że ocena stanu jakościowego wód przeprowadzona wyłącznie na podstawie wyników jednorazowego opróbowania nie może być uznawana za w pełni miarodajną podstawę do wskazywania obszarów perspektywicznych dla ujmowania wód podziemnych (Dendys, Zdechlik, 2015). W celu zapewnienia właściwej wiarygodności, przy ocenie stanu jakościowego wód jest wskazane również rozważenie stabilności składu wód w czasie oraz uwzględnienie innych czynników i uwarunkowań, jak np. powiązania wód podziemnych z powierzchniowymi, sposobu użytkowania terenu, zagrożenia jakości wód.

Prace badawcze częściowo realizowano m.in. w ramach badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie (11.11.140.797).

Podziękowania. Autorzy dziękują Recenzentom za wnikliwe i szczegółowe recenzje artykułu.

LITERATURA

- BURACZYŃSKI J., HENKIEL A., SZWAJGIER W., 2006 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Nałęczów. MŚ, Warszawa.
- BURACZYŃSKI J., HENKIEL A., SZWAJGIER W., 2013 – Objąśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Nałęczów. MŚ, Warszawa.
- DENDYS M., ZDECHLIK R., 2015 – Ocena stanu chemicznego wód podziemnych we fragmencie zlewni Nysy Kłodzkiej w rejonie Barda. *Prz. Geol.*, **63**, 10/1: 678–682.
- DT, 2009 – Dyrektywa Komisji 2009/90/WE: specyfikacje techniczne w zakresie analizy i monitorowania stanu chemicznego wód.

- DWP, 2006 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/118/WE z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.
- DYBKOWSKI K., ZAWIŚLAK J., 2012 – Wody żelaziste i zwykle na terenie uzdrowiska Nałęczów. *Inż. Ekol.*, **30**: 48–59.
- HARASIMIUK M., JEZERSKI W., SZWAJGIER W., 1998 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Kurów. MŚ, Warszawa.
- HARASIMIUK M., JEZERSKI W., GAJEK G., 2017 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Kurów (711). MŚ, Warszawa.
- JCWPD88, 2019 – Internet: <https://www.pgi.gov.pl/dokumenty-pig-pib-all/psh/zadania-psh/jcwpd/jcwpd-80-99/4398-karta-informacyjna-jcwpd-nr-88/file.html> (dostęp: maj 2019 r.).
- KLECZKOWSKI A., KRAJEWSKI S., PACZYŃSKI B., SZCZEPAŃSKI A., 1978 – Regionalizacja hydrogeologiczna Polski. *Prz. Geol.*, **26**, 11: 635–637.
- KNYSZYŃSKI F., 2000a – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Nałęczów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KNYSZYŃSKI F., 2000b – Objasnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Nałęczów. MŚ, Państw. Inst. Geol., Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- KONDRACKI J., 1998 – Geografia regionalna Polski. Wydaw. PWN, Warszawa.
- KRAJEWSKI S., 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Kurów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PIETRZAK P., 2018 – Ocena stanu środowiska przyrodniczego i warunków hydrogeologicznych w międzyrzeczu Kurówki i Bystrzej w rejonie Puław [pr. magister., niepubl.]. AGH, Kraków.
- RDW, 2000 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej.
- RMŚ, 2015 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 roku w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (DzU 2016, poz. 85).
- RMZ, 2017 – Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU 2017, poz. 2294).
- SOKOŁOWSKI A., 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Puławy. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SOLON J., BORZYSZKOWSKI J., BIDLASIK M., RICHLING A., BADORA K., BALON J., BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T., CHABUDZIŃSKI L., DOBROWOLSKI R., GRZEGORCZYK I., JODŁOWSKI M., KISTOWSKI M., KOT R., KRAŻ P., LECHNIO J., MACIAS A., MAJCHROWSKA A., MALINOWSKA E., MIGOŃ P., MYGA-PIĄTEK U., NITA J., PAPIŃSKA E., RODZIK J., STRZYŻ M., TERPIŁOWSKI S., ZIAJA W., 2018 – Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geogr. Pol.*, **91**, 2: 143–170.
- WITCZAK S., KANIA J., KMIĘCIK E., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- ZDECHLIK R., DRZYMAŁA M., WĄTOR K., 2013 – Praktyczne aspekty opróbowania wód w systemie monitoringu wód podziemnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **456**: 659–666.
- ŻARSKI M., 1998 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Puławy. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

The goal of the paper was to show the hydrogeological conditions of the first aquifer in the area between the Kurówka and Bystra rivers. Groundwater circulates within the hydraulically connected Quaternary, Quaternary–Cretaceous and Cretaceous aquifers, with the Cretaceous aquifer playing a dominant role.

Within the Kurówka catchment, a high and very high degree of risk of groundwater pollution is observed. This state is the result of poor isolation, especially of the Quaternary aquifers and the occurrence of pollution centres. A more favourable situation occurs in the Bystra basin, where there is the low or medium degree of risk of groundwater pollution, due to the limited availability of the main aquifer and a small number of pollution centres.

Field measurements of the depth to the water table were used to determine the distribution of the hydrodynamic field of groundwater. Using linear interpolation, and taking into account the dominant drainage character of watercourses and topography of the area, a map of contour lines of the

first groundwater level was made, representing the state as of September 2017. Generally, the typical dependencies are visible: the lowest depths to the groundwater occur in valley zones (in the northern part – less than 1 m), while in the raised areas they are much greater (up to 20 m). From a general point of view, the groundwater flow (in the northern, western and south-western directions) is determined by the location of main watercourses (Vistula, Kurówka and Bystra). In detail, the system of groundwater contour lines also indicates the draining effect of minor watercourses.

The values of physicochemical properties (pH, PEW and temperature), determined in water from all wells, are generally within an acceptable range of values for drinking water. The results of detailed research on chemical composition of groundwater indicate the dominance of the poor chemical status (6 points) over the good quality status (2 points). Based on the norms that determine the quality of water for human consumption, 3 out of 8 points meet the requirements.