

WODY PODZIEMNE PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ CZEŚCI DOLNEGO ŚLĄSKA

Groundwater of north-western part of Lower Silesia

Mirosław Wąsik, Henryk Marszałek, Stanisław Staško, Robert Tarka

*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski
pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław*

*miroslaw.wasik@ing.uni.wroc.pl; henryk.marszalek@ing.uni.wroc.pl;
stanislaw.stasko@ing.uni.wroc.pl; robert.tarka@ing.uni.wroc.pl*

Słowa kluczowe: wody podziemne, wodonośność, skład chemiczny, NW Dolny Śląsk

Keywords: *groundwater, water bearing capacity, chemical composition, NW Lower Silesia*

Streszczenie W artykule omówiono na tle budowy geologicznej występowanie wód podziemnych w formacji kenozoicznej oraz w osadowych utworach kredy i triasu w NW części Dolnego Śląska. Wskazano na zróżnicowany stopień hydrogeologicznego rozpoznania obszaru. Szczegółowo opracowano charakterystykę wód w piętrach czwartorzędu, neogenu-paleogenu oraz pięter przedkenozoicznych. Przytoczono dane o monitoringu oraz o wysokich zasobach wód podziemnych, wskazując na niski stopień ich wykorzystania. Omówiono wielkość zasilania i podatność na zanieczyszczenia wód podziemnych.

Abstract Geological background and occurrence of groundwater in the Cainozoic formation and in Cretaceous and Triassic aquifer in NW part of the Lower Silesia has been presented. The varied level of diagnosis identification and description of hydrogeological conditions to the significant depth in the area of Legnica-Głogów Copper Mine region is illustrated. In details the characteristics of the groundwater occurrence in Quaternary and Neogene-Paleogene aquifers have been described. Data for the monitoring and high groundwater resources are provided and indicated a low rate of exploitation. Discussion on groundwater recharge and vulnerability to contamination is also discussed.

WSTĘP

Fragment Dolnego Śląska na styku Ziemi Lubuskiej i Wielkopolski rzadko był przedmiotem regionalnych opracowań hydrogeologicznych, aż do czasu realizacji Map hydrogeologicznych Polski w różnych skalach. W wielu opracowaniach kartograficznych, takich jak Atlasy Nizy Polskiego pod redakcją Bojarskiego (1996), czy też w nowszym Atlasie zasobów geotermalnych (Górecki red., 2006), obszar ten jest pomijany. Stąd też autorzy zdecydowali się poświęcić nieco więcej uwagi tej części Dolnego Śląska. W artykule opisano warunki występowania wód podziemnych w północno-zachodniej części Dolnego Śląska

między Odrą i Nysą Łużycką na zachód od linii Legnica – Głogów (**Fig. 1**).

Zróżnicowanie morfologiczne omawianego terenu wynika z obecności dominujących w krajobrazie obszarów równinnych Niziny Śląskiej związanych z działalnością wodno-lodowcową i rzeczną, oraz podrzędnie wysoczyzn lodowcowych, reprezentowanych przez Wzniesienia Żarskie i Wzgórza Dalkowskie, stanowiące część Wału Trzebnickiego. Całość rozcięta jest współczesnymi i kopalnymi dolinami rzecznyymi, z których główną rolę w drenażu obszaru odgrywa rzeka Odra wraz z jej głównymi dopływami: Nysą Łużycką, Bobrem i Kaczawą (**Fig. 1**).

W omawianym obszarze wielkość zasilania opadowego zmienia się od 700 mm, w jego południowej części przy granicy z Sudetami, do 550 mm na granicy Dolnego Śląska i Wielkopolski (Sadowski, 1994).

W budowie geologicznej dominuje miększy kompleks pokrywy kenozoicznej, silnie zaburzony

glacitektonicznie, zalegający w części południowej na staropaleozoicznych utworach krystalicznych bloku przedsudeckiego, oraz w części północnej na permo-mezozoicznych osadach monokliny przedsudeckiej (Fig. 2). Obie te jednostki podłoża podkenozoicznego rozdziela strefa uskoków środkowej Odry.



Fig. 1. Mapa występowanie głównych użytkowych poziomów wodonośnych w osadach kenozoicznych (Bocheńska, Kowalski, 1997; Kleczkowski, red., 1990 – zmienione).

1 – doliny rzeczne; 2 – wiek użytkowych pięter wodonośnych; 3 – zasięg występowania GZWP; 4 – główne kierunki przepływu wód podziemnych: a – w granicach GZWP, b – poza GZWP; 5 – zasięg leja depresji wywołanego odwadnianiem kopalni KGHM; 6 – linie przekrojów.

Fig. 1. Map of the major usable aquifers in Cenozoic formation (after Bocheńska, Kowalski 1997; Kleczkowski ed. 1990 - modified).

1 – river valleys; 2 – age of usable aquifers; 3 – boundary of Major Groundwater Basins (MGWB); 4 – major groundwater direction flow: a – with MGWB, b – outside MGWB; 5 – mine depression cone; 6 – cross sections.

STAN ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO NW CZĘŚCI DOLNEGO ŚLĄSKA

Dokumentacje ujęć wód podziemnych stanowiły pierwsze prace hydrogeologiczne w okresie powojennym. Pierwsze próby regionalizacji i wskazania obszarów perspektywicznych dla zaopatrzenia ludności w wody opisuje Różycki (1955, 1976). Nowych informacji o warunkach hydrogeologicznych dostarczyły Przeglądowe Mapy hydrogeologiczne w skali 1:200 000, obejmujące m.in. arkusze Jelenia Góra (Michniewicz i in., 1980) i Zielona Góra (Jaworski i in., 1984). W ich objaśnieniach opisano warunki występowania wód podziemnych, a w tabelach zestawiono skład chemiczny w wybranych punktach formacji paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu, rzadziej w skałach krystalicznych. Mapy pod redakcją C. Kolagi (1970) podają, poza ogólnym opisem, charakter utworów przypowierzchniowych, głębokość do pierwszego zwierciadła wód podziemnych, miąższość utworów wodonośnych w czwartorzędzie i wodoprzewodność użytkowych poziomów wodonośnych. Opis warunków hydrogeologicznych dotyczył płytko występujących formacji wodonośnych i nie przekraczał głębokości 50-100 m. W latach 1980-86 prowadzone były w południowej części bloku przedsudeckiego, pod kierunkiem Bocheńskiej (Bocheńska i in. 1989, 1994), badania nad modelem hydrogeologicznym. Efektem tych prac są pomiary i skrócone analizy chemiczne

wód oraz wyniki badań izotopowych, jak również opublikowane mapy (Bocheńska, Kowalski, 1997).

W tomie VII serii „Budowa geologiczna Polski – Hydrogeologia” analizowany obszar został zaliczony do subregionu północno-zachodniego (Michniewicz *et al.*, 1991, w: Malinowski red., 1991). Wskazano w nim na duże znaczenie wód piętra neogenu i paleogenu. W roku 1990 ukazała się Mapa Głównych Zbiorników Wód Podziemnych Polski (GZWP) w skali 1:500 000 (Kleczkowski, red., 1990), w której opisano największe i najbardziej zasobne struktury wodonośne zawierające najlepsze jakościowo wody podziemne. Pięć lat później podczas zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego zjednano próbę podsumowania postępu i stopnia rozpoznania zarówno geologii, jak i wód podziemnych bloku przedsudeckiego. Prace opublikowane w tomie zjazdowym opisują wykształcenie głębszych formacji kenozoiku (Dyjur, 1995), wody podziemne i ich zagrożenie (Kryza, 1995) oraz liczbowe dane o wydajności formacji krystalicznych bloku, wskazując na niską (ok. 5,2 m³/h) wydajność studni (Staško, Tarka, 1995).

Najbardziej szczegółowe i nowoczesne opracowanie warunków hydrogeologicznych zawierają Mapy hydrogeologiczne Polski w skali 1:50 000, w tym kilkanaście arkuszy obejmujących analizowany obszar (Bielecka, 2003 a, b, c, Kielczawa, 2002, 2003, Kieńć, 2003, Wojtkowiak, 2004, Żuk, 2002, 2003). Jest to komputerowa nowoczesna wersja map z pełną charakterystyką głównego

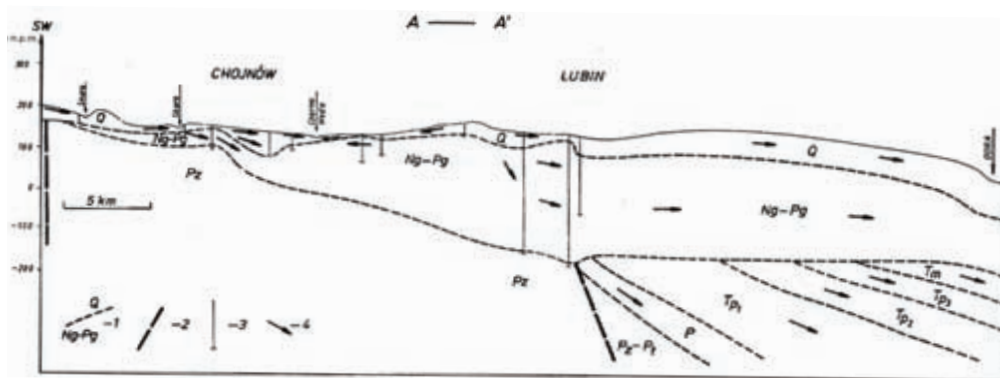


Fig. 2. Schematyczny przekrój (A-A') warunków hydrogeologicznych.

1 – granice stratygraficzne; 2 – uskoki; 3 – otwory wiertnicze; 4 – główne kierunki przepływu wód podziemnych.

Fig. 2. Schematic hydrogeological cross-section A-A'.

1 - stratigraphic boundaries; 2 - faults; 3 - drilled well; 4 - major groundwater direction flow.

użytkowego poziomu wodonośnego (o wydajności pojedynczej studni powyżej 5 m³/h), wraz z aktualnymi danymi o jakości wód podziemnych i ich zagrożeniu. Niestety, jak większość opracowań, zawierają raczej skromne informacje o wodach głębszego podłoża. Wydana w 2007 roku praca zbiorowa pod redakcją Paczyńskiego i Sadurskiego – Hydrogeologia regionalna Polski, podaje najnowszy przegląd wiedzy na temat warunków występowania wód podziemnych, w tym omawianego obszaru zawartego w subregionie środkowej Odry (Staśko i in., 2007). Badania głębszych formacji wodonośnych związane są głównie z rozpoznaniem złóż miedzi w legnicko-głogowskim okręgu miedzianym (l-g-o-m) (Piestrzyński i in., red., 2007).

WODY PODZIEMNE NW CZĘŚCI DOLNEGO ŚLĄSKA

Zgodnie z aktualną regionalizacją zwykłych wód podziemnych Polski (Paczyński, Sadurski, red., 2007) analizowana część Dolnego Śląska położona jest w SW części prowincji niżej obejmującej fragmenty dwóch regionów: wielkopolskiego (IV) i dolnośląskiego (V). Biorąc natomiast pod uwagę regionalizację wód podziemnych w układzie zlewniowym obszar ten leży w północnym i południowym subregionie środkowej Odry.

Występowanie użytkowych poziomów wodonośnych w omawianym obszarze związane jest z utworami kenozoicznymi. Ich wodonośność zależy od rozprzestrzenienia i miąższości osadów przepuszczalnych oraz rozdzielających je serii słabo- i nieprzepuszczalnych. Całkowita miąższość kenozoiku zmienia się od około 230 m w rejonie Chojnowa do ponad 400 m w okolicach Chocianowa, gdzie osady czwartorzędu stwierdza się do głębokości 170 m (Malinowska-Pisz, 1998). Niżej leżące starsze piętra wodonośne nie mają znaczenia użytkowego, głównie ze względu na wysoką mineralizację wód.

Wody podziemne w utworach czwartorzędowych

Wodonośne piętro czwartorzędowe występuje na całym obszarze NW części Dolnego Śląska. Piętro to stanowi najczęściej wykorzystywany i stosunkowo najlepiej rozpoznany zbiornik wód podziemnych. W jego obrębie wyróżnić można trzy rodzaje struktur, w których występują zawadnione osady. Są to doliny rzeczne, doliny kopalne i pradoliny, oraz obszary wysoczyznowe, gdzie wodo-

nośne są osady fluwioglacjalne mające charakter pokrywowy lub międzymorenowy. W obrębie czwartorzędowego piętra wodonośnego wydziela się od jednego do trzech poziomów wodonośnych (Fig. 3).

Miąższość zawadnionych utworów czwartorzędowych wykazuje znaczne zróżnicowanie. Przeważnie mieści się w przedziale 15-40 m. Największe miąższości stwierdza się w obrębie dolin kopalnych (w strukturze kopalnej Chocianów-Gozdnica (GZWP 315) do 90 m, a w rejonie Dunina do głębokości 100 m p.p.t.) oraz rynnach subglacjalnych, gdzie osiagają ponad 60 m.

Zwierciadło wód czwartorzędowych w osadach dolin rzecznych oraz w utworach pokrywowych obszarów wysoczyznowych ma zazwyczaj charakter swobodny. Natomiast w dolinach kopalnych występuje zwierciadło naporowe, o ciśnieniach dochodzących maksymalnie do 30 m słupa wody. Przepływ wód podziemnych piętra czwartorzędowego odbywa się generalnie w kierunku północnym, północno-zachodnim i zachodnim, jednak w obrębie niektórych GZWP także w kierunku południowym (Fig. 1).

Znaczne zróżnicowanie litofacjalne osadów czwartorzędowych wpływa na dużą zmienność ich parametrów filtracyjnych. Struktury typu dolin kopalnych i współczesnych dolin rzecznych (m.in. dolina Nysy Łużyckiej i jej większych dopływów koło Przewozu i Gubina, kopalna dolina Nysy Łużyckiej od Przewozu do Nowogrodu oraz koło Sieniawy Źarskiej, pradolina barycko-głogowska koło Forstu, Lubska, Jasienia) zbudowane są głównie z osadów piaszczysto-zwirowych charakteryzujących się wartościami współczynnika filtracji od 0,3 do kilkuset m/d, przeważają jednak osady, dla których wyznaczone wartości k wynoszą od kilku do 20 m/d. W dobrze przepuszczalnych i miększych osadach wartości przewodności hydraulicznej T osiagają bardzo wysokie wartości, powyżej 1000 m²/d, a w rejonie Lubska nawet ponad 10 000 m²/d.

Wydajności z pojedynczych otworów studziennych ujmujących wody czwartorzędowe kształtują się przeważnie na poziomie 10-50 m³/h. Lokalnie wyższe wydajności z pojedynczych studni, w przedziale od 50 do ponad 130 m³/h, rejestrowane są m.in. w rejonie miejscowości Pogorzelska, w dolinie kopalnej Potoczek-Jabłonna, a także w rejonie Lubska.

Decydującym czynnikiem w zasilaniu piętra czwartorzędowego jest infiltracja opadów atmosferycznych. Podrzedne znaczenie ma przeciekanie

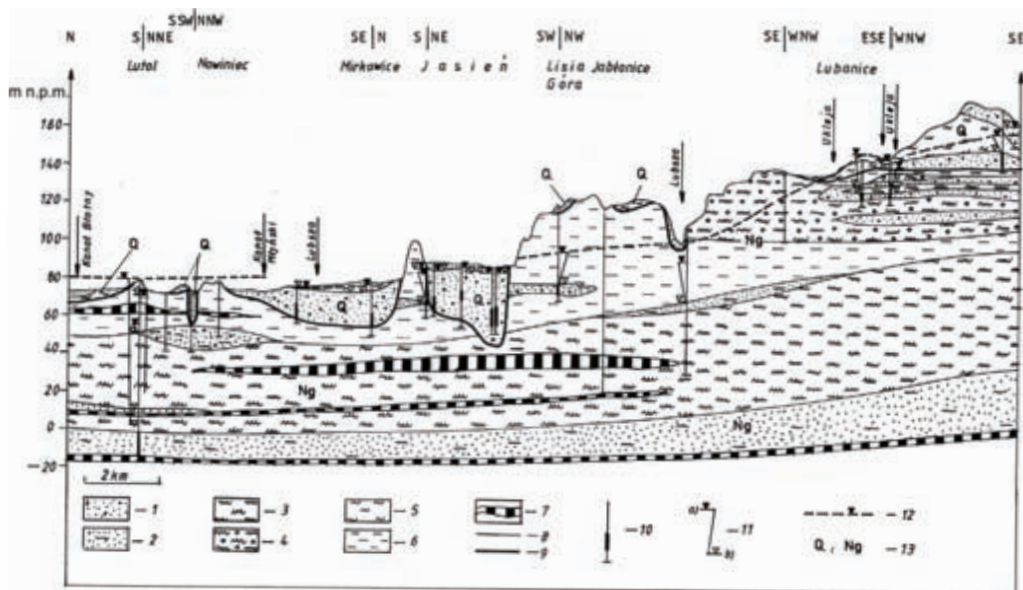


Fig. 3. Przekrój I-I': Schemat warunków hydrogeologicznych w obrębie utworów kenozoicznych.

1 – piaski i żwiry; 2 – piaski pylaste; 3 – mulki; 4 – mulki ze żwirem; 5 – gliny; 6 – ility; 7 – węgiel brunatny; 8 – granica między wydzieleniami litologicznymi; 9 – granica między osadami czwartorzędu i neogenu; 10 – otwór wiertniczy; 11 – zwierciadło wody: a – nawiercone, b – ustalone; 12 – zwierciadło wody w użytkowych poziomach wodonośnych; 13 – okresy stratygraficzne: Q – czwartorzęd, Ng – neogen.

Fig. 3. Geological cross-section I-I': Schematic hydrogeological condition in Cenozoic formation.

1 - sand and gravel; 2 - sand and silt; 3 - mud; 4 - mud and gravel; 5 - loam; 6 - clay; 7 - brown coal; 8 - boundary between formations; 9 - boundary between Quaternary and Neogene formations; 10 - drilled well; 11 - water table: a - water table met during drilling, b - stable; 12 - water table of main aquifer; 13 - stratigraphic formation age: Q - Quaternary, Ng - Neogene.

z głębszych poziomów wodonośnych neogeńskich i starszych, głównie w obrębie głęboko wciętych dolin kopalnych, oraz lokalnie infiltracja z rzek.

Wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego, jako najbardziej podatne na oddziaływanie czynników zewnętrznych, w tym również zanieczyszczeń docierających z powierzchni, charakteryzują się pewnym zróżnicowaniem składu jonowego. Kilkadziesiąt analiz chemicznych wód tego piętra daje podstawę do wyróżnienia ponad 10 typów wód (biorąc pod uwagę jony w ilościach przekraczających 20% mval ogólnej ich zawartości). Najczęściej występują wody typu HCO_3 - SO_4 -Ca-Mg i SO_4 - HCO_3 -Ca-Mg.

Sucha pozostałość wód podziemnych omawianego piętra wynosi przeciętnie 306,0 mg/dm³. Są to wody zwykle i akratopegi, chociaż miejscami występują wody o podwyższonej mineralizacji, przekraczającej normy dla wód pitnych. Anomalne wartości suchej pozostałości notowano w wielu rejonach analizowanego obszaru, m.in.

w rejonie Lubuska. Orientacyjny zakres tła dla suchej pozostałości określono na 150-350 mg/dm³ (Poprawski i in., 1997). Tło siarczanowe kształtuje się w przybliżeniu w przedziale 20-150 mg/dm³.

Twardość ogólna i odczyn pH wód piętra czwartorzędowego charakteryzują się dość dużą zmiennością. Pierwszy z tych wskaźników waha się od 0,4 do 21,3 mval/dm³, drugi natomiast od 3,8 do ponad 8. Przekroczenie dopuszczalnych wartości pH dotyczy zakresu 3,8-6,5, co obrazuje proces zakwaszenia wód, wywołany przypuszczalnie przez kwasy humusowe powstające w procesach rozkładu substancji organicznej. Orientacyjny zakres tła twardości ogólnej ustalono na 1,5-5,5 mval/dm³, w zakresie którego mieści się ok. 70% analiz. Na omawianym obszarze przeważają zatem wody miękkie i średnio twarde. Zgodnie z klasyfikacją Pazdry (Pazdro, Kozerski, 1990) wody twarde i bardzo twarde występują lokalnie w rejonie Lubuska.

Podwyższone wartości związków azotu (NH_4 , NO_2 , NO_3) stwierdza się na obszarach zagospodarowanych rolniczo, gdzie źródłem azotu są zanieczyszczenia hodowlane i rolnicze.

Pod względem zawartości jonów żelaza i manganu wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego znacznie przekraczają dopuszczalne stężenia, co zmusza do ich uzdatniania. Zawartość żelaza wynosi średnio $3,75 \text{ mg/dm}^3$, a manganu $0,35 \text{ mg/dm}^3$.

Wody podziemne w utworach neogenu-paleogenu

Osady neogenu-paleogenu występują w formie zwartej pokrywy, o miąższości wzrastającej w kierunku północnym do ponad 300 m, zalegającej na starszych utworach wieku od kredy do starszego paleozoiku. Reprezentowane są przez osady od eocenu do pliocenu. Ich rozpoznanie jest znacznie gorsze od osadów piętra czwartorzędowego. Wynika to z mniejszej liczby hydrogeologicznych otworów wiertniczych przewiercających osady tego piętra.

W profilu wyróżnia się maksymalnie do sześciu naporowych warstw wodonośnych wydzielonych w obrębie osadów miocenu oraz oligocenu. Utwory zawodnione stanowią przeważnie 30-45% ogólnej miąższości osadów neogenu-paleogenu. Znaczenie podstawowe ma poziom mioceniński, natomiast podrzędnie oligoceniński, który praktycznie nie jest eksploatowany. W obrębie poziomu miocenińskiego wydziela się zwykle 3 warstwy wodonośne. Górna związana jest z piaskami miocenu środkowego i górnego, środkowa z piaskami drobnymi i pylastymi miocenu środkowego, a dolna z piaskami o różnej gradacji oraz żwirami miocenu dolnego. W obrębie osadów oligocenu wodonośne są piaski średnie i drobne oraz mulkowate tworzące 2-3 warstwy wodonośne rozdzielone mulkami. W nadkładzie wodonośnych osadów miocenu i oligocenu występuje słabo przepuszczalny kompleks górnomiocenińskich i pliocenińskich ilów poznańskich o miąższości średnio 60-80 m, lokalnie nawet powyżej 100 m. W ich obrębie występują zawodnione soczewy i przewarstwienia piaszczyste. Ponad serią poznańską występuje seria piaszczysto-żwirowa Gozdniczy, w obrębie której wydziela się nieciągłe warstwy wodonośne, charakteryzujące się niewielkim zawodnieniem.

Zawodnione osady piaszczysto-żwirowe charakteryzują się wartościami współczynnika filtracji k w wysokości przeważnie 1-10 m/d. Większe war-

tości k (50-75 m/d) uzyskano w trakcie próbnych pompowań w rejonie Łęknicy, Bogumiłowa, Lipinek Łużyckich i Stargardu Gubińskiego. Naporowe poziomy wodonośne charakteryzują się ciśnieniami dochodzącymi do 160 m słupa wody w rejonie Lubska, przeważnie jednak 30-50 m słupa wody. Sporadycznie spotykane są wody artezyjskie: np. w rejonie Lubska (zwierciadło stabilizuje na poziomie +0,6 m n.p.t.), Czarnowic (+2,5 m n.p.t.), Koła (+1,0 m n.p.t.). Miąższość poszczególnych poziomów zmienia się od poniżej 1 m do 116 m. Przeciętnie wynosi ona 5 m. Występują one na głębokości od poniżej 2 do ponad 160 m p.p.t. Głębokość ustalonego zwierciadła wody również zmienia się w szerokim zakresie od 7,4 m n.p.t. do ponad 75 m p.p.t.

Odływ wód podziemnych odbywa się generalnie w kierunku NNE. Wartości przewodności hydraulicznej T wodonośnych poziomów neogenu-paleogenu przeważnie kształtują się w przedziale $10\text{-}50 \text{ m}^2/\text{d}$, lokalnie mogą być znacznie wyższe i osiągać kilkaset a nawet powyżej $1000 \text{ m}^2/\text{d}$. Piaszczyste osady wodonośne charakteryzują się wartościami współczynnika odśączalności gravitacyjnej w wysokości 0,12, a sprężystej $4 \cdot 10^{-4}$. Wydajności uzyskiwane przez otwory ujmujące wody neogenu oscylują przeważnie w granicach od kilku do $60 \text{ m}^3/\text{h}$, przy depresjach kilku-kilkunastu metrów. Tylko lokalnie uzyskuje się wyższe wydajności dochodzące do $80\text{-}100 \text{ m}^3/\text{h}$ (np. koło Łęknicy).

Zasilanie wód piętra neogenu-paleogenu odbywa się na drodze przeciekania z piętra czwartorzędowego. Jest to wynikiem układu ciśnienia wody w obu piętrach. Generalnie zwierciadło wód podziemnych w utworach czwartorzędowych występuje powyżej powierzchni piezometrycznej omawianego piętra. Ocenia się, że jego zasilanie na drodze przeciekania z utworów czwartorzędowych kształtuje się w wysokości około $0,04\text{-}0,05 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Piętro neogenu-paleogenu zasilane jest również poprzez dopływy z pięter wodonośnych leżących niżej, infiltrację opadów w rejonie wschodni utworów neogenińskich oraz dopływy boczne. Izolacja od góry poziomów wodonośnych zmienia się od 0 do ponad 130 m. Przeciętny czas migracji z powierzchni wynosi 140 lat. Wiek wód omawianego piętra został oszacowany metodą ^{14}C na kilka do kilkudziesięciu tysięcy lat.

Wody piętra neogenu-paleogenu są drenowane w skali regionalnej przez kopalnie KGHM. Największe wytworzone depresje osiągające ponad

200 m notuje się dla poziomu mioceńskiego i oligoceńskiego.

Wody podziemne piętra neogenu-paleogenu chemicznie należą do typu $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Ca-(Na)}$ (wody pliocenu i miocenu) oraz typu $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$ (wody oligocenu). Są to wody zwykle o suchej pozostałości w granicach od 50 do 350 mg/dm^3 . Lokalnie wartości suchej pozostałości (np. w okolicy Gubina) mogą osiągać wartości przekraczające 1000 mg/dm^3 . Anomaliom tym towarzyszą wyraźne anomalie chlorkowe oraz siarczanowe. Stężenia chlorków i siarczanów zwykle nie przekraczają odpowiednio 5-30 mg/dm^3 i 10-120 mg/dm^3 . W strefach anomalnych osiągają stężenia 400 mg/dm^3 i 300 mg/dm^3 . Wody tego piętra można określić jako miękkie i średnio twarde, ich twardość ogólna waha się w granicach 0,7-11 mval/dm^3 (średnio 3,34 mval/dm^3). Wody bardzo twarde (o twardości og. > 10 mval/dm^3) występują tylko lokalnie (np. w rejonie Gubina). Odczyn wód zmienia się od 3,7 do 7,8, a dopuszczalne dla wód pitnych wartości przekroczone są w około 25 % analiz. Przekroczenia te świadczą o lokalnym zakwaszeniu tych wód. W wodach większości ujęć powszechnie występuje podwyższona koncentracja jonów żelaza (średnio 5,04 mg/dm^3). Lokalnie stwierdza się jego wysokie stężenia przekraczające 20 mg/dm^3 (okolice Łęknicy). Regułą dla wód omawianego piętra wydaje się być także zbyt wysoka koncentracja manganu (>0,1 mg/dm^3).

Biorąc pod uwagę ocenę przydatności wód podziemnych do celów komunalnych w omawianych piętrach występują prawie wyłącznie wody wymagające prostego uzdatniania. Zgodnie z klasyfikacją jakości wód Błaszyka i Macioszczyk (1993), wody piętra neogenu-paleogenu można przeważnie zaliczyć do drugiej klasy jakości, czyli klasy wód o średniej jakości, wymagających prostego uzdatniania (odżelaziania i odmanganiania). Wody wymagające skomplikowanego uzdatniania występują jedynie lokalnie.

Wody podziemne w utworach przedkenozoicznych

Wody podziemne głębszych formacji rozpoznano w rejonie Czerwonej Wody i Żar oraz depresji północnosudeckiej, gdzie podwyższone zawodnienie stwierdzono w utworach kredy (Michniewicz i in., 1991), ponadto w rejonie Bolesławca (w utworach triasu) oraz w obszarze l-g-o-m, w którym rozpoznanie sięga ponad 1000 m (w utworach permo-triasowych) (Piestrzyński, red. 2007).

Najlepsze własności hydrauliczne w utworach kredy stwierdzone zostały w pasie Złotoryja-Bolesławiec-Gozdnica-Pieńsk (Tarka, 2006), gdzie zawodnione utwory kredy leżą pod osadami czwartorzędu i neogenu-paleogenu na głębokościach kilkudziesięciu metrów. W rejonie Żar dobre własności kolektorskie wykazują piaskowce kredy górnej (cenomanu, koniak i santonu). Wysokie są wartości porowatości otwartej tych skał wynoszące średnio ponad 22% (Tarka, 2006). Wody w nich występujące mają charakter naporowy. Wydajności pojedynczych studni ujmujących wody tego piętra wodonośnego są zmienne, od kilku do 150 m^3/h , średnio wynoszą około 20 m^3/h .

Wyjątkowo korzystne parametry hydrogeologiczne oraz wysokie zasoby wód podziemnych stwierdzono w węglanowych formacjach triasu w rejonie położonym na północ od Bolesławca (Daszkiewicz, 1986). Najbardziej zawodnione są obszary występowania stref uskokowych i skrasowiałych. Na głębokości poniżej 66 m występują naporowe poziomy wodonośne, z których używano dopływy do pojedynczych studni w wysokości 336 m^3/h przy depresji 9,9 m. Zasilanie wód piętra triasowego w tym rejonie odbywa się poprzez dopływ lateralny oraz przeciekanie z formacji czwartorzędowych, o czym świadczą badania składu chemicznego wód podziemnych. Wody charakteryzuje dobra jakość, za wyjątkiem podwyższonej zawartości żelaza.

Najgłębiej (do ponad 1000 m) zawodnione utwory podkenozoiczne zostały rozpoznane w obszarze l-g-o-m. Pod nadkładem kenozoicznym występują utwory monokliny przedsudeckiej, w obrębie których wydzielone zostały piętra wodonośne triasowe (poziomy wapienia muszlowego, retu, środkowego i dolnego pstrego piaskowca) oraz permu (poziomy cechsztynu: dolomitu „lubińskiego”, dolomitu głównego (Ca_2), wapienia podstawowego (Ca_1) oraz czerwonego spągowca) (Bocheńska, 2003, Staško 2009). Warunki hydrogeologiczne są wyraźnie dwudzielne. Wyższym zawodnieniem i korzystniejszymi parametrami hydrogeologicznymi charakteryzuje się strefa o szerokości 3-5 km, obejmująca pas podkenozoicznych wychodni utworów cechsztynu. W strefie tej stwierdza się kontakty hydrauliczne między wymienionymi piętrami wodonośnymi oraz wysokie dopływy do kopalń (m.in. Downorowicz 2007, Markiewicz, 2007). Występujące w tej strefie wody charakteryzują się mineralizacją 2-3 g/dm^3 . Są to wody młode, współczesne geologicznie,

odpowiadające warunkom aktywnej wymiany. W obszarze leżącym na północ od wychodni cechsztynu wydzielone piętra wodonośne zalegają coraz głębiej, charakteryzując się niższymi parametrami górotworu oraz niższym zawodnieniem. Stwierdza się tu wody o wysokiej mineralizacji, do 300 g/dm³. Wartości wskaźników sodowo-chlorkowego, sodowo-chlorkowo-potasowego, siarczanowego i siarczanowo-wodorowęglanowego pozwalają zaliczyć te wody do wód słonych, reliktowych, najczęściej zmetamorfizowanych w silnym stopniu (Becker i in., 2007, Waśniowski i Markiewicz, 2007).

Poniżej przedstawiono warunki hydrogeologiczne w poszczególnych piętrach i poziomach wodonośnych występujące na N od wychodni cechsztynu.

Wody podziemne triasowego piętra wodonośnego związane są z piaskowcami kwarcowymi (pstry piaskowiec dolny i środkowy) oraz skałami węglanowymi (ret i wapień muszlowy). Strop utworów wodonośnych występuje na głębokości do 415 m. Zwierciadło wód jest pod naporem do 300 m słupa wody. Wody tego piętra charakteryzuje przepływ szczelinowo-porowy. Zasilane są na drodze przeciekania pionowego poprzez warstwy rozdzielające oraz w miejscach sedimentacyjnych i tektonicznych kontaktów hydraulicznych z wodonośnym neogenem i paleogenem. Miąższość zawodnionych utworów piętra triasowego wynosi maksymalnie 400–450 m. Można w jego obrębie wydzielić cztery poziomy wodonośne: wapienia muszlowego, retu, środkowego i dolnego pstrego piaskowca.

Poziomy wodonośne wapienia muszlowego i retu pojawiają się około 15 i 20 km na N od Lubina. Ich miąższość wzrasta ku N, jednakże ich hydrogeologiczne rozpoznanie jest znikome.

Poziom wodonośny środkowego pstrego piaskowca reprezentowany jest przez piaskowce drobnoziarniste z przewarstwieniami iłolupków i iłowców. W osadach tych obserwuje się liczne spękania. W całym profilu środkowego pstrego piaskowca o miąższości do 215–220 m występuje kilka (około 10) stref zawodnionych związanych ze strefami bardziej spękanych piaskowców. Miąższość tych stref zawodnionych nie przekracza 10 m. Poszczególne strefy charakteryzują się różnymi wartościami współczynnika filtracji od 0,002 do 0,09 m/d, przewodności hydraulicznej 0,5–54 m²/d, wartościami współczynnika odsączalności grawitacyjnej 0,01 i sprężystej 4–10⁻⁴. Wydajności

pojedynczych studni mogą osiągać nawet do 3,5 m³/h, przeważnie jednak poniżej 1 m³/h. Piaskowce występujące pomiędzy strefami zawodnionymi są słabo przepuszczalne, charakteryzują się większą ilością przewarstwień iłolupka i mniejszą szczelinowatością. Powodują one różnice ciśnień w poszczególnych strefach zawodnionych dochodzące do 20 m słupa wody.

Wody środkowego pstrego piaskowca charakteryzują się mineralizacją 28–101,5 g/dm³. Są to wody typu Cl-Na-(Ca), słabo kwaśne do słabo zasadowych (pH=6,2–7,9), bardzo twarde (Tw_{og}=46–160 °n). Zawierają żelazo w ilościach od śladowych do 6 mg/dm³, manganu od 0 do 0,4 mg/dm³, niewielkie ilości związków azotu, CO₂ wolny w ilościach od 5,5 do 22 mg/dm³, CO₂ agresywny w ilościach od 0 do 18 mg/dm³.

Poziom wodonośny dolnego pstrego piaskowca charakteryzuje się mniejszym zawodnieniem w stosunku do poziomu środkowego pstrego piaskowca. Piaskowce reprezentujące ten poziom wodonośny występujące w jego spągowej części są słabiej zawodnione. W części spągowej profilu mogą również występować bezwodne (izolujące) iłolupki brunatno-czerwone. Ponadto piaskowce stropowej części dolnego pstrego piaskowca o miąższości kilkudziesięciu metrów są praktycznie nieprzepuszczalne. Zawodnione piaskowce dolnego pstrego piaskowca charakteryzują znacznie niższe (od piaskowców środkowego pstrego piaskowca) wartości współczynnika filtracji od 4,3·10⁻⁶ do 9,4·10⁻⁴ m/d. Niższe są również możliwe dopływy do otworów studziennych, nie przekraczające 0,25 m³/h.

Wody dolnego pstrego piaskowca, typu Cl-Na (sporadycznie również mogą zawierać większe ilości Ca), charakteryzują się zdecydowanie wyższą mineralizacją od wód środkowego pstrego piaskowca, wynoszącą od 57 do 67 g/dm³. Są to wody słabo kwaśne (pH=6–6,9), bardzo twarde (Tw_{og}=1130–1350 °n). Zawierają jony żelaza w ilości od 0 do ponad 3 mg/dm³, niewielkie stężenia związków azotu, nie zawierają manganu. CO₂ wolny występuje w ilościach od 19 do 31 mg/dm³, CO₂ agresywny w ilościach od 1,5 do 13 mg/dm³.

Wody triasowego piętra wodonośnego zawierają kationy miedzi w ilościach (0,08–0,1 mg/dm³). Zawartości Zn nie przekraczają normy dla wód pitnych i wynoszą 1,5–2 mg/dm³. Spośród innych mikroskładników może występować rtęć w ilościach do 0,003 mg/dm³, a także ołów w ilościach 0,2–0,4 mg/dm³.

Wody piętra permskiego są oddzielone od wód piętra triasowego nieprzepuszczalnymi anhydrytami, solami kamiennymi i łupkami ilastymi cechsztynu, jak też bardzo słabo zawodnionymi lub niewodonośnymi piaskowcami dolnego pstręgo piaskowca. Zasilanie wód tego piętra, podobnie jak triasowego, odbywa się w wyniku przeciekania pionowego wód z wyższych pięter wodonośnych poprzez warstwy rozdzielające oraz w miejscach kontaktów hydraulicznych. Wody piętra permskiego mogą być zasilane również na drodze przeciekania wgłębnego skierowanego ku górze od strony krystalicznego podłoża. Ta hipoteza nie została jednak potwierdzona badaniami.

Cechsztyński poziom wodonośny jest dobrze izolowany od wód piętra triasowego warstwami iłolupka i łupka ilastego. Wyodrębniony w nim poziom wodonośny dolomitu głównego budują dolomity szare o miąższości około 20 m. Charakteryzują się one wartościami współczynnika filtracji rzędu 0,02-0,04 m/d, porowatością około 1%, odsączalnością grawitacyjną 0,005. Wody tego poziomu występują pod dużym naporem, nawet 800-900 m słupa wody. Poziom dolomitu głównego może tworzyć dopływy do otworu studziennego o wydajnościach 0,3-0,7 m³/h, sporadycznie rzędu 1 m³/h i większe). Wapienie i dolomity poziomu wapienia podstawowego o miąższości około 10 m charakteryzują się zmiennym zawodnieniem. Na N od cechsztyńskich wychodni w wielu obszarach są one bezwodne.

Wody poziomu cechsztyńskiego, typu Cl-Na, mają mineralizację około 80 g/dm³. Są to wody słabo zasadowe (pH=7-7,5), bardzo twarde ($T_{w_{og}}=600-650$ °n). Zawierają jony żelaza w ilości do 3,5 mg/dm³, nie zawierają manganu.

Poziom wodonośny czerwonego spągowca występuje do głębokości 1230 m (na S od Głogowa). Związany jest z drobnoziarnistymi piaskowcami kwarcowymi o spoiwie ilastym o miąższości ponad 200 m. Piaskowce te są słabo zwężłe, częściowo spękane. Charakteryzują się one wartościami współczynnika filtracji rzędu od 1·10⁻⁴ do 5·10⁻⁴ m/d. Wody występują pod naporem ponad 1100 m słupa wody. Mogą tworzyć dopływy do otworu studziennego o wydajnościach 0,5 m³/h.

Wody poziomu czerwonego spągowca również są typu Cl-Na (niekiedy z większą ilością SO₄ i Ca), mają dużo wyższą mineralizację od wód wyżej leżących pięter wodonośnych, dochodzącą do 228 g/dm³. Wody te są słabo kwaśne (pH=5,9), oraz bardzo twarde ($T_{w_{og}}=2\ 944$ °n). Zawierają

jony żelaza do 4 mg/dm³, a manganu do 2 mg/dm³, CO₂ wolny występuje w ilościach 52 mg/dm³, a CO₂ agresywny w ilościach 25 mg/dm³. Spośród mikroskładników wody poziomu czerwonego spągowca zawierają Cu w ilościach 0,4-1,4 mg/dm³. Stężenia Zn osiągają wartości w szerokim przedziale od 30 do ponad 200 mg/dm³, arsenu w wysokości 3,2 mg/dm³, ołowiu do ponad 5 mg/dm³.

Analizując skład chemiczny wód podziemnych poszczególnych pięter i poziomów wodonośnych triasowych i permskich można stwierdzić, że zaznacza się wyraźna pionowa strefowość hydrogeochemiczna. Charakteryzuje się ona zwiększaniem się wraz z głębokością mineralizacji wód i wartości w nich poszczególnych makro- i mikroskładników. Wody triasowego i permskiego piętra wodonośnego znacznie przekraczają normy dla wód pitnych i mogą stanowić zagrożenie dla wód powierzchniowych i płytszych wód podziemnych.

Prowadzona przez KGHM eksploatacja górnicza i odwodnienie górotworu oddziałują na wody podziemne w nadkładzie i otoczeniu. Efektem tego są wytworzone leje depresji w poszczególnych piętrach wodonośnych, szczególnie w obrębie poziomów drenowanych bezpośrednio wyrobiskami. Wpływ ten przenosi się również na wyższe piętra wodonośne poprzez istniejące kontakty hydrauliczne. W wodonośnym poziomie pstręgo piaskowca wytworzone depresje zwierciadła wody przyjmują wartości od 70 do 150 m, uzależnione od jakości izolacji zawodnionej strefy. Głębsze poziomy cechsztynu wykazują obniżenie pierwotnego zwierciadła o ponad 500 m. Wieloletni drenaż górniczy górotworu wywołał depresję zwierciadła wód podziemnych w skali regionalnej w wyżej wymienionych horyzontach. Jego rozwój był śledzony w całym okresie odwadniania kopalń LGOM (Bocheńska, 1988; Bocheńska, Kalisz, 2003; Fiszer, 2005; Becker i in., 2007). Zasięg leja depresji w rejonie l-g-o-m wykracza poza granice obszarów kopalń i ma wymiary około 50 km w kierunku równoległym do wychodni podczwartorzędowych i 16 km w kierunku prostopadłym (Becker i in., 2007, Staško, 2009). Obserwacje tempa zmian depresji w otworach wiertniczych odwadniających złożę wykonanych w wyrobiskach górniczych wykazują przyspieszenie zmian w ostatnich latach.

WRAŻLIWOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE

Wielkość zasilania wód podziemnych na omawianym obszarze określono metodą wskaźnika infiltracji. Do wydzielenia klas infiltracji wykorzystano numeryczną mapę glebową w skali 1:500 000 wykonaną przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Wskaźniki infiltracji dla poszczególnych wydzieleni glebowych zostały przyjęte zgodnie z zasadami opracowanymi przy tworzeniu mapy „Zdolność ochronna profilu glebowego”, która stanowiła warstwę pomocniczą „Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie” wykonanej w skali 1:500 000 (Witczak i in., 2003, Duda i in., 2004 a, b). Do opracowanych tam zasad wprowadzono jednak pewne modyfikacje. Uzyskano wysoką zgodność tak wyznaczonego zasilania z odpływem podziemnych dla kilkudziesięciu zlewni z obszaru całej Polski. Opady atmosferyczne przyjęto na podstawie Atlasu klimatu Polski (Lorenc red., 2005). Wartości zasilania wód podziemnych przedstawia Fig.4.

Praktycznie cały obszar na zachód od Nowej Soli charakteryzuje się zasilaniem w przedziale 150-175 mm. Jedynie w okolicach Głogowa i Legnicy zasilanie wynosi od 100 do 150 mm. Najniższą wartość zasilania stwierdza się w dolinie Odry i wynosi ona od 50 do 100 mm.

Wartość zasilania warunkuje w znacznym stopniu podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie. W latach 2003-2004 zespół pod kierownictwem Witczaka (Witczak i in., 2003, Duda i in., 2004 a, b) opracował koncepcję realizacji „Mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie” w skali 1:500 000. Mapa ta została realizowana dla całej Polski w roku 2006 (Kudłak red., 2006). Fragment obejmujący północno-zachodnią część Dolnego Śląska przedstawia Fig.5. Na przeważającym obszarze pierwszy poziom wodonośny wykazuje klasę wód bardzo podatnych, dla której czas wymiany wód w strefie aeracji jest krótszy od 5 lat. Tylko w rejonie Wzgórz Dalkowskich, pomiędzy Głogowem a Legnicą obserwuje się podatność słabą i małą, gdzie czas wymiany wód w profilu strefy aeracji jest większy od 25 lat.

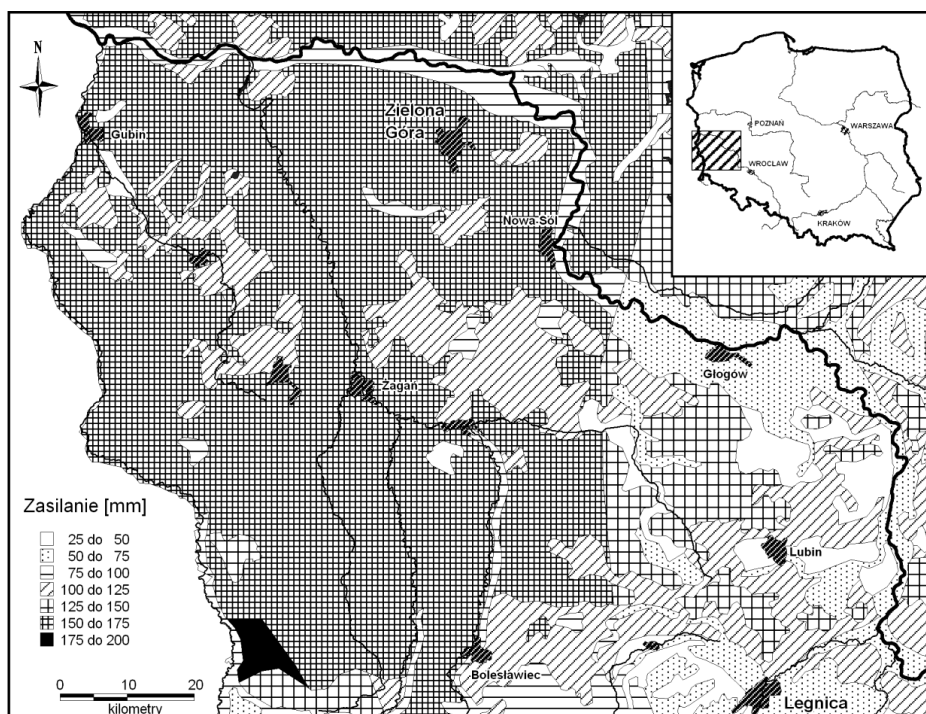


Fig.4. Zasilanie wód podziemnych w obszarze północno-zachodniej części Dolnego Śląska.

Fig.4. Groundwater recharge in southern –western part of Lower Silesia.

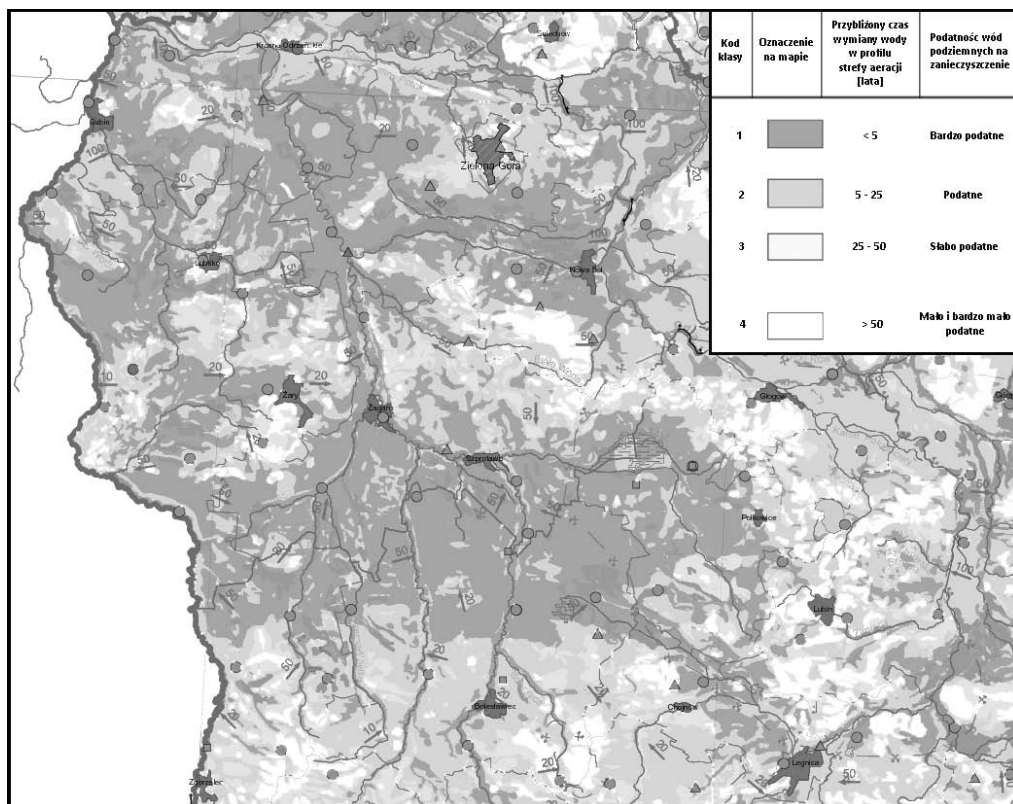


Fig. 5. Mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w obszarze północno-zachodniej części Dolnego Śląsk (wg Kudłacik, 2006).

Fig. 5. Map of groundwater vulnerability to pollution in southern – western part of Lower Silesia (after Kudłacik 2006).

MONITORING I EKSPLOATACJA WÓD PODZIEMNYCH

Monitoring stanów i jakości wód podziemnych prowadzony jest na tym obszarze w 9 punktach stacjonarnych obserwacji hydrogeologicznych (Baza danych SOH). Obserwowane są wody piętła czwartorzędowego w punktach położonych w miejscowościach: Warta Bolesławiecka (nr punktu 459), Nowe Żabno (736), Jasiień (737), Bobrowice (738), Kiełpin (741) i Lasów (1164). Wody w osadach neogenu-paleogenu śledzą dwa punkty w miejscowości Słup (692) i Gieraltów –Wykroty (646) oraz w kredowym piętrze w Nowych Jaroszowicach (721). Wyniki obserwacji zawierają m.in. Roczniki i Raporty Państwowej Służby Hydrogeologicznej. W ostatnich latach nie stwierdza się istotnych zmian stanów wód podziemnych.

W rejonie Gubina istnieje sieć 27 punktów obserwacyjnych rejestrujących zmiany w formacji neogenu-paleogenu, gdzie uwidacznia się wpływ eksploatacji kopalń węgla brunatnego Janschwalde. Osobną grupę stanowią punkty obserwacji stanów i jakości wód podziemnych w rejonie LGOM, gdzie łącznie w ponad 470 punktach obserwuje się stany i jakość wód podziemnych wokół Żelaznego Mostu i w poszczególnych oddziałach górniczych. Ponad 64 punkty rejestrują zmiany w głębszych piętrach neogenu-paleogenu, triasu i permu.

W omawianym obszarze udokumentowano 7 Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) podlegających szczególnej ochronie (Tab.1), w których łącznie zasoby oszacowano na ponad 636 tys. m³/d wód podziemnych, z czego w największym zbiorniku Chocianów-Gozdnica 292 tys. m³/d. Większość z nich wydzielona została

w obrębie utworów czwartorzędowych, a tylko nieliczne, jak np. zbiornik nr 316 „Lubin” czy też nr 319 „Subzbiornik Prochowice-Środa Śląska”, w utworach neogenu i paleogenu (Fig. 1).

Opisywany obszar Dolnego Śląska zaopatrywany jest w wody podziemne z 9 ujęć o wydajności powyżej 2 tys. m³/d oraz dodatkowo 12 działających na terenie LGOM. Ujęcia dla miast Zgorzelec, Żary, Żagań, Gubin, Szprotawa, Lubsko, Lubań i Bolesławiec posiadają pozwolenia wodnoprawne na łączną eksploatację ponad 132 tys. m³/d, podczas gdy rzeczywisty pobór wynosi jedynie 1/3 tej ilości, tj. niewiele ponad 44 tys. m³/d. Wodonośne poziomy czwartorzędu i neogenu-paleogenu eksploatowane są w zlewni Nysy Łużyckiej w Gubinie, Lubsku i Żarach, pozostałe ujęcia pompują wody z formacji czwartorzędowej za wyjątkiem Bolesławca, gdzie eksploatowana jest również węglanowa formacja triasu. Największe ujęcia w Bolesławcu i Zgorzelcu eksploatują od 6 tys. do 8 tys. m³/d, z nieco mniejszą wydajnością, ponad 5 tys. m³/d, ujęcia dla Żar i Żagania. Pozostałe ujęcia pobierają od 2,6 tys. do 3,6 tys. m³/d. W obszarze

tym istnieją duże rezerwy wód podziemnych dobrej jakości lub wymagających prostego uzdatniania.

PODSUMOWANIE

Północno-zachodnia część Dolnego Śląska stanowi zasobny w wody podziemne obszar kraju. Kenozoiczne formacje o znacznej miąższości tworzą korzystne warunki do gromadzenia i przepływu dobrych jakościowo wód podziemnych. Wody wykazują naturalny skład chemiczny, a tylko lokalnie podwyższone zawartości żelaza i manganu lub związków azotu. Zasilanie wód podziemnych obliczono w zakresie wartości 50-175 mm /rok. Obszary te, szczególnie na pograniczu z Ziemią Lubuską, wykazują wysoki stopień podatności na wpływy z powierzchni terenu. W pozostałych rejonach nie wykazują niekorzystnych zmian, co wynika z ograniczonej ilości ognisk zanieczyszczeń. W części południowej zasobne w wody podziemne są osadowe serie kredy i triasu. Stopień wykorzystania wód podziemnych jest niski.

Tab. 1. Charakterystyka wybranych GZWP w NW części Dolnego Śląska (wg Kleczkowski red. 1990, zmodyfikowana)
Tab. 1. Selected Major Groundwater Bodies (GZWP) characteristic in NW part of Lower Silesia (after Kleczkowski edit. 1990 modified).

Lp	Numer i nazwa zbiornika	Powierzchnia [km ²]	Typ	Przeciętna głębokość [m]	Zasoby tys. [m ³ /d]	Moduł zasobów [l/s/km ²]	Klasa jakości wód
1	149 Sandr Krosno-Gubin	340	Qsk	15-82	67,7	2,30	Ib
2	150 Pradolina Warszawa- Berlin (Koło-Odra)	250	Qp	25-35	59,8	2,77	Ib, Ic, Id
3	301 Pradolina Zasieki-Nowa Sól	213	Qpk	30-80	53,2	2,89	Ib
4	302 Pradolina Barycz-Głogów (W)	435	Qp	30	59	1,57	Ic
5	315 Zbiornik Chocianów-Gozdnica	1052	Qsk	60	292	3,5	Ic
6	319 Subzbiornik Prochowice-Środa Śląska	326	Tr	65	25	0,9	Ib
7	317 Niecka zewnętrzna sudecka- Bolesławiec	1000	Cr ₃	100-200	80	0,93	Ic

Objaśnienia typów zbiorników wód podziemnych: Qsk – czwartorzędowy, sandrowy i doliny kopalnej; Qp – czwartorzędowy, pradolina; Qpk – czwartorzędowy, pradolina i doliny kopalnej; Tr – trzeciorzędowy; Cr₃ – górnej kredy.

LITERATURA

- Baza danych SOH** – Dane Państwowego Instytutu Geologicznego (Państwowej Służby Hydrogeologicznej) dotyczące obserwacji stacjonarnych Systemu Obserwacji Hydrogeologicznych, PIG, Warszawa.
- Becker, R., Fiszler, J., Kalisz, M., 2007.** Hydrogeologia. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. KGHM Cuprum, pp. 82-90, Wrocław.
- Bielecka, H., 2003a.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Gubin (571). PIG Warszawa.
- Bielecka, H., 2003b.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Kaniów (572). PIG Warszawa.
- Bielecka, H., 2003c.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Lubsko (609). PIG Warszawa.
- Błaszyk, T., Macioszczyk, A., 1993.** Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. PIOŚ Warszawa, Biblioteka Monitoringu środowiska.
- Bocheńska, T., 1988.** Kształtowanie się warunków hydrodynamicznych w lubińsko - glogowskim obszarze miedzianożnym pod wpływem odwadniania kopalń. Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Geologiczno-Mineralogiczne XIV, Wyd. Uniw. Wrocławskiego, Wrocław, 148 pp.
- Bocheńska, T., 2003.** Hydrogeologia złóż i problemy wodne górnictwa rud miedzi. Monoklina przed-sudecka. W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa, t.2. Wyd. AHG, Kraków, pp. 20-56.
- Bocheńska, T., Kalisz, M., 2003.** Wpływ eksploatacji górniczej na środowisko wodne. W: Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa, t.2. Wyd. AHG, Kraków, pp.118-131.
- Bocheńska, T., Kowalski, S., 1997.** Hydrogeologia i wody mineralne - seria czterech map w: Pawlak (red.). „Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego” Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław.
- Bocheńska, T., Kowalski, S., Malinowski, J., Lubczyński, M., Marszałek, H., Szczepiński, J., Biniak, G., Kijowska, B., Kalisz, M., 1989.** Model warunków hydrogeologicznych Sudetów i ich przedpola. I etap. Arch. ING U.Wr. Wrocław.
- Bocheńska, T., Kowalski, S., Kryza, H., Lubczyński, M., Marszałek, H., Poprawski, L., Staško, S. 1994.** Model warunków hydrogeologicznych Sudetów i ich przedpola. II etap. Arch. ING U.Wr. Wrocław.
- Bojarski, L. (red.), 1996.** Atlas hydrogeochemiczny i hydrodynamiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascensyjnego zasolenia wód podziemnych na Niżu Polskim. PIG Warszawa.
- Daszkiewicz, W., 1986.** Wyniki badań hydrogeologicznych uskoku w północnej części miasta Bolesławca. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej Nr 49 Konferencje, Wrocław, pp. 35-40.
- Downorowicz, S., 2007.** Udostępnianie złoża rud miedzi Lubin-Sierosowice w trudnych warunkach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich. Biuletyn PIG, 423, pp.11-22.
- Duda, R., Karlikowska, J., Witczak, S., Żurek, A., 2004a.** Metodyka realizacji „Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie” w skali 1:500 000 na wybranym obszarze testowym. Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód, AGH Kraków (mat. archiwalne).
- Duda, R., Karlikowska, J., Witczak, S., Żurek, A., 2004b.** Modyfikacja sposobu opracowania warstw informacyjnych do „Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie”. Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód, AGH Kraków (mat. archiwalne).
- Dyjor, S., 1995.** Rozwój kenozoiku na bloku przedsudeckim. Przewodnik LXVI Zjazdu PTG, pp. 29-40. Wrocław.
- Fiszler, J., 2005.** Badania modelowe regionalnego krążenia wód w obszarze oddziaływania kopalń LGOM. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje, Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii. Oficyna Wydaw. Pol. Wrocł., pp. 111-121.
- Górecki, W. (red.), 2006.** Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim. Ministerstwo Środowiska. Kraków.
- Jaworski, M., Kuzynków, H., Morasiewicz, J., 1984.** Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000, ark. Zielona Góra. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Kielczawa, J., 2002.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Krzystkowice (610). PIG, Warszawa.
- Kielczawa, J., 2003.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Leszno Górne (685). PIG, Warszawa.
- Kieńć, D., 2003.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Żary (647). PIG, Warszawa.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1990.** Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Inst. Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH. Kraków.
- Kolago, C., 1970.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:1 000 000. Wyd. Geologiczne. Warszawa.
- Kryza, J., 1995.** Wody podziemne i problemy ochrony środowiska bloku przedsudeckiego. Rocznik PTG . Wrocław, pp. 41-57.
- Kudłacik, J. (red.), 2006.** Mapa wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie (skala 1:500000): Plansa I - Podatność wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie z powierzchni terenu. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Lorenc, H. (red.), 2005.** Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa.
- Malinowska-Pisz, A., 1998.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Chocianów (686). PIG, Warszawa.

- Malinowski, J. (red.), 1991.** Budowa geologiczna Polski, t. VII, Hydrogeologia, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Markiewicz, A., 2007.** Rozpoznanie tektoniki złoża Lubin-Sieroszowice w trakcie jego zagospodarowania. Biuletyn PIG, 423, pp. 151-172.
- Michniewicz, M., Mroczkowska, B., Wojtkowiak, A., 1980.** Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000, ark. Jelenia Góra. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Michniewicz, M., Mroczkowska, B., Paczyński, B., 1991.** Region sudecki. W: Malinowski J. (red.): Budowa Geologiczna Polski, t. VII, Hydrogeologia, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Paczyński, B., Sadurski, A. (red.), 2007.** Hydrogeologia regionalna Polski, t. I. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 542 pp.
- Pawlak, W., 1997.** Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław.
- Pazdro, Z., Kozerski B., 1990.** Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Piestrzyński, A., Banaszak, A., Zaleska-Kuczmierczyk, M. (red.), 2007.** Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBP, Wrocław, 1079 pp.
- Poprawski, L., Limisiewicz, P., Marszałek, H., Wąsik, M. i in., 1997.** Bilans wodno-gospodarczy wód podziemnych zlewni Nysy Łużyckiej wraz z wytycznymi dla warunków korzystania z wód dorzecza. MOŚZNiL. Mat. arch. Hydrogeo Ltd. Wrocław.
- Różycki, M., 1955.** Warunki hydrogeologiczne Śląska. Przegląd Geologiczny, Nr 9, Warszawa, pp. 405-415.
- Różycki, M., 1976.** O wodach szczelinowych w krystaliku Sudeckim. Biuletyn Geologiczny Uniw. Warszawskiego, t. 21, Warszawa, pp.193-201.
- Sadowski, M., 1994.** Klimatyczny bilans wodny. W: Kozłowski S. (red.): Atlas zasobów, walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski. PAN, ARW A. Grzegorzcyk, Warszawa.
- Staško, S., 2009.** Wybrane problemy hydrogeologiczne w warunkach oddziaływania górnictwa podziemnego na Dolnym Śląsku. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. 4/1/2009, pp. 35-41.
- Staško, S., Tarka, R., 1995.** Przewodność hydrauliczna skał krystalicznych bloku przedsudeckiego. Przegląd Geologiczny, 43, 9, pp. 767-771.
- Staško, S., Kowalczyk, A., Rubin, H., Rubin, K., 2007.** Subregion środkowej Odry – południowy W: Hydrogeologia regionalna Polski. Wyd. PIG, pp. 327-361.
- Tarka, R., 2006.** Hydrogeologiczna charakterystyka utworów kredy w polskiej części Sudetów. Wyd. Uniw. Wrocławskiego. Acta Universitatis Wratislaviensis, No 2884, Wrocław.
- Waśniowski, B., Markiewicz, A., 2007.** Skład chemiczny wód podziemnych kopalń rud miedzi na monoklinie przesudeckiej. W: Geologiczne gospodarze i społeczne znaczenie odkrycia złóż rud miedzi. Konf. 50-lecie odkrycia złóż rud miedzi, pp. 220-250.
- Witczak, S., Duda, R., Żurek, A., Zieliński, W., 2003.** Koncepcja opracowania „Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie. ARCADIS EKO-KONREM, Kraków-Wrocław (mat. archiwalne).
- Wojtkowiak, A., 2004.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Żagań (648). PIG, Warszawa.
- Żuk, U., 2002.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Ruszów (683) PIG Warszawa.
- Żuk, U., 2003.** Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Świątoszów (684). PIG, Warszawa.