

Andrzej KOWALCZYK¹, Hanna RUBIN¹, Krystyn RUBIN¹, Józef LEWANDOWSKI¹, Waldemar BARDZISKI¹

**KSZTAŁTOWANIE SI WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH
SZCZELINOWO-KRASOWEGO KOMPLEKSU WODONONEGO
TRIASU W REJONIE TARNOWSKICH GÓR**

(z 10 fig.)

**HYDROGEOLOGY OF TRIASSIC KARST-FRACTURED AQUIFER
IN TARNOWSKIE GÓRY AREA**

(with 10 Figs.)

Abstract. In the range of Tarnowskie Góry urbanized area the main usable aquifer is the Triassic carbonate complex. This complex is overlain by shallow Quaternary aquifer. This karst-fractured-porous complex is intersected by number of old shafts, galleries of the abandoned Pb–Ag and Fe ore mines. There are also quarries of dolomites. Urban and industrial impact has led to a parallel expansion of groundwater abstraction and to significant modifications of groundwater flow system and water budget. The new sources of groundwater recharge and discharge are induced or existed sources are intensified. Downward leakage of shallow Quaternary groundwater is a significant component of recharge to the carbonate aquifer. This has been induced by heavy abstraction of groundwater by wells and galleries. Seepage of municipal and industrial wastewaters and uncontrolled industrial disposals have produced substantial deterioration in the groundwater quality of the two aquifers. Groundwater of carbonate aquifer is contaminated with elevated concentrations of nitrates, sulphates, chloride and boron and with chlorinated hydrocarbon solvents; trichloroethen and tetrachloroethen. As a consequence, a number of wells are abandoned and some of another ones may be closed in the future.

Key words: karst-fractured-porous aquifer, anthropopression, contamination, hydrogeological conditions.

Abstrakt. W rejonie miejsko-przemysłowej aglomeracji Tarnowskich Gór głównym zbiornikiem wód podziemnych o znaczeniu użytkowym jest kompleks wodonośny w utworach serii w górnym triasie. Powyżej występują przypowierzchniowe warstwy wodonośne w utworach czwartorzędnych. Szczelinowo-krasowo-porowy kompleks wodonośny triasu jest porożnięty licznymi kamieniołomami oraz sztolniami i szybami pozostałymi po eksploatacji górniczej rud ołowiu,

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Bzdowska 60, 41-200 Sosnowiec;
e-mail: kowalcz@ultra.cto.us.edu.pl

srebra i elaza. Rozwój miasta i przemysłu spowodował zarówno intensywną eksploatację wód, jak również zmiany w systemie krążenia wód. Nastąpiły zmiany w bilansie wodnym, zostały wywołane nowe lub zintensyfikowane dotychczasowe źródła zasilania i drenażu wód. Znaczącym składnikiem zasilania kompleksu wodono-triasowego jest zintensyfikowane drenażem przez czyszczenie pionowe wód z przypowierzchniowych poziomów wodono-triasowych czwartorzędowych przez utworzy słabo przepuszczalne do kompleksu wodono-triasowego. Nieoczyszczone ścieki miejskie i przemysłowe, przez czyszczenie z kanalizacji lub odprowadzane w sposób niekontrolowany do gruntu, oraz odpady doprowadziły do degradacji wód podziemnych obydwu poziomów wodono-triasowych. Obserwuje się podwyższone koncentracje azotanów, siarczanów, chlorków, boru oraz w gwałtownie halogenowanych: trichloroetyleny i tetrachloroetyleny. Z tych powodów wiele już zostało zamkniętych, a dalsze mogą być wyłączone z eksploatacji w niedalekiej przyszłości.

Słowa kluczowe: szczelinowo-krasowo-porowy kompleks wodono-triasowy, antropopresja, zanieczyszczenia, warunki hydrogeologiczne.

WSTĘP

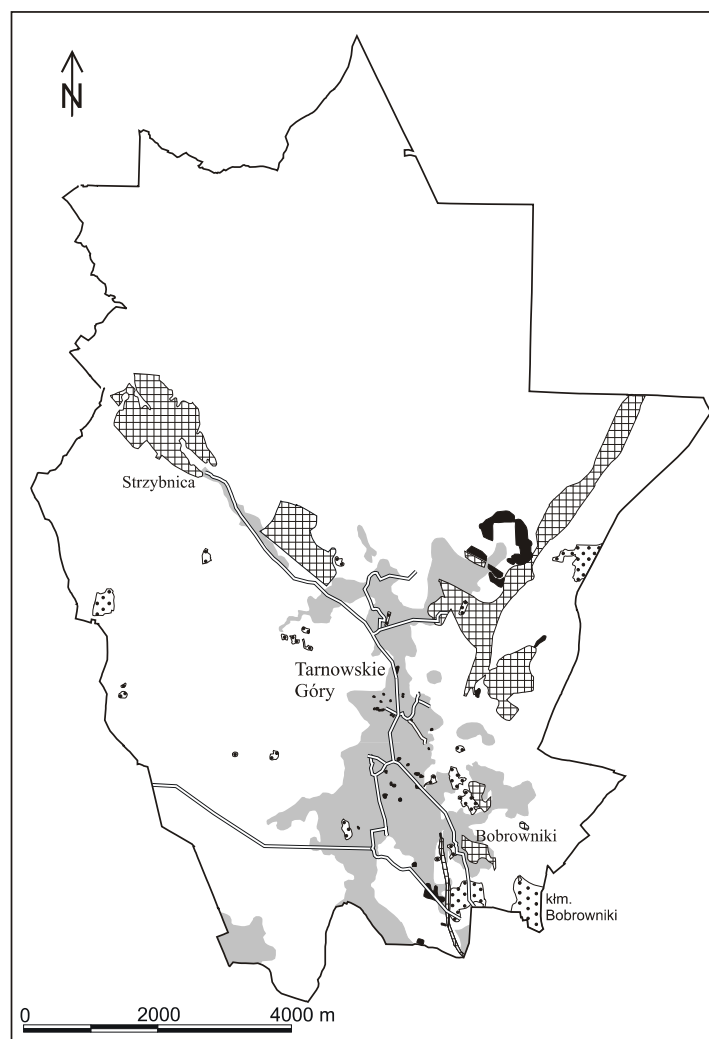
Miasto Tarnowskie Góry jest ośrodkiem miejsko-przemysłowym położonym w północnej części regionu górnośląskiego. Zajmuje powierzchnię 83 km², a liczba jego mieszkańców wynosi około 66 000. Przemysłowy charakter tego miasta jest związany z górnictwem odkrywkowym rud ołowiu, srebra i elaza, działającym przynajmniej od XII w. do lat dwudziestych XX w., oraz przemysłem hutniczym, metalowym i chemicznym.

Z rozwojem i funkcjonowaniem tej aglomeracji wiąże się wielowiekowa antropopresja, aktywna głównie w przeszłości, ale także i obecnie. Jej głównymi przejawami są: zajęcie rozległych terenów przez zakłady przemysłowe, udrobnienie masywu skał w górnictwie przez liczne wyrobiska górnicze pionowe i poziome, zdeponowanie w górotworze i na powierzchni ogromnej, lecz nierozpoznanej pod względem lokalizacji i jakości, masy odpadów przemysłowych i komunalnych, przenikanie do górotworu cieków przemysłowych i komunalnych (fig. 1). Szczególnym przykładem antropopresji i jej skutków jest teren likwidowanych obecnie Zakładów Chemicznych, gdzie na powierzchni około 34 ha zdeponowano ogromną masę odpadów przemysłowych, stanowiących źródło zanieczyszczenia gleb i skał oraz wód powierzchniowych i podziemnych na terenie miasta i w jego otoczeniu.


Innym rodzajem aktywności aglomeracji tarnogórskiej jest intensywna eksploatacja wód podziemnych z ujęć położonych zarówno na terenie miasta, jak i na jego obrzeżeniu. Skutki jej oddziaływania na środowisko wód podziemnych są typowe dla obszarów zurbanizowanych (Foster, Chilton, 1999): rozległe obniżenia zwierciadła i zmiany lokalnych kierunków przepływu wód podziemnych, zmiana warunków, źródeł i intensywności zasilania poziomów wodono-triasowych, degradacja wód i związane z tym zamykanie ujęć oraz odbudowa stanów zwierciadła wody.

Wody podziemne o znaczeniu użytkowym w rejonie Tarnowskich Gór występują w utworach triasu. Są one jedynym źródłem zaopatrzenia miasta w wodę na potrzeby komunalne i przemysłu. Warunki występowania i krążenia wód w tym obszarze, ich zasoby, chemizm i jakość oraz zagrożenia, uwarunkowane zespołem czynników przyrodniczych, zostały przekształcone wskutek wielowiekowej antropopresji.

W pracy przedstawiono charakterystykę środowiska skał w górnictwie jako głównego zbiornika wód podziemnych, ich cechy geologiczno-strukturalne i właściwości hydrauliczne oraz scharakteryzowano przekształcenia antropogeniczne tego wodonośca. Na tym tle przedstawiono chemizm i jakość wód, warunki hydrodynamiczne oraz źródła zasilania i drenażu kompleksu wodono-triasowego.



 grunty silnie zmienione antropogenicznie
anthropogenic soils

 hałdy i nasypy
dumping grounds and wastes

 obniżenia powierzchni na skutek eksploatacji
podziemnej (wg Lamparska-Wieland, 2000)
drawdown of land surface as a result of mining
exploitation (according to Lamparska-Wieland, 2000)

 wyrobiska poeksploatacyjne
post-exploitation excavations

 przebieg zidentyfikowanych wyrobisk podziemnych
identify old galleries

Fig. 1. Mapa przekształce antropogenicznych obszaru Tarnowskich Gór

Map of anthropogenic transformations in Tarnowskie Góry area

BUDOWA GEOLOGICZNA OKOLIC TARNOWSKICH GÓR

Rejon Tarnowskich Gór leży w obrębie dwóch jednostek geomorfologicznych – Doliny Małej Panwi na północy i Progu rodkowotriasowego w centralnej i południowej części obszaru. Centralną część Progu rodkowotriasowego stanowi Płaskowyż Tarnowicki zbudowany ze skał wapienno-głanowych triasu, tworzących pasmo wzniesień o wysokości 300–325 m n.p.m. W części południowej utworzy wapienno-głanowe tworzą rozległy niecki tarnogórską. Niecka tarnogórska oraz kolejno występującej ku północy szerokopromienne i płaskie fałdy porożcinane są licznymi uskokami.

Najstarszymi utworami triasu, leżącymi niezgodnie na utworach karbonu, są ilowce, mułowce i piaskowce warstw wierklanieckich, mają one grubość 10–20 m. Odsłaniają się one we wschodniej części niecki (poza granicami opracowania). Kolejnymi ogniwami litostratygraficznymi są (fig. 2): margle dolomityczne i dolomity margliste retu (górnopstry piaskowiec), o sumarycznej grubości do 80 m, wapienie pelityczne z przewarstwieniami margli (warstwy gogolińskie), o sumarycznej grubości ok. 20 m, dolomity kruszczone, lokalnie (obocznie) zastępowane i przeławicane przez wapienie warstw gorazdeckich, karchowickich i terebratulowych, mają one grubość 30–50 m, dolomity diploporowe, mają one grubość do 40 m oraz wapienie dolomityczne warstw tarnowickich o grubości do 20 m. Całkowita grubość serii wapienno-głanowej triasu w centralnej części niecki tarnogórskiej wynosi ok. 180 m i wzrasta ku północnemu zachodowi do ok. 240 m.

W północno-zachodniej części obszaru niecki tarnogórskiej występuje cienka (12–18 m) warstwa ilów marglistych i margli, przechodzących ku stropowi w łupki ilaste warstw boruszowickich. W dolinie Stoły, koło Strzybnicy i na północ od Potoku Pniowieckiego, na ogół pod pokrywą utworów czwartorzędowych, występuje zmiennej grubości, 30–40 m, seria ilowcowo-mułowcowa triasu górnego. Jej rozprzestrzenienie na omawianym obszarze ogranicza się jedynie do lokalnych rowów i półrowów tektonicznych. Na wychodniach wapienno-głanowych rodkowotriasowych, na powierzchni lub pod przykryciem utworów czwartorzędowych, występują liczne łeże krasowe, prawdopodobnie wieku trzeciorzędowego, wypełnione ilasto-piaszczysto-gruzowym regolitem. Utwory te były przedmiotem intensywnej eksploatacji górniczej (rudy żelaza, manganu, glinki ogniotrwałej).

Na obszarze Płaskowyżu Tarnowickiego pokrywa czwartorzędowa (piaski, muły, ropy i gliny) zajmuje ok. 80% powierzchni, a jej grubość i litologia zależą od rzeźby podłoża pod czwartorzędowego. Na północ od Tarnowskich Gór, w strefach współczesnej i kopalnej doliny Stoły (Potoku Pniowieckiego) występują utworów czwartorzędowych, wynoszących od 30 do ponad 50 m. Na ogół są to serie piaszczysto-wirowe, przedzielone lokalnie dwoma poziomami glin żwałowych i towarzyszących im mułów i ilów.

ZARYS WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Wody podziemne na terenie miasta i w jego okolicy występują w dwóch poziomach wodonośnych: czwartorzędowym i triasu.

Poziom wodonośny w utworach czwartorzędowych jest związany z utworami piaszczysto-wirowymi, osiągniętymi maksymalnie do 35 m grubości w kopalnej dolinie Stoły, przebiegającej na północ od miasta. Jest to poziom nieciągły, lokalnie rozdzielony warstwami glin żwałowych na dwie lub trzy warstwy wodonośne. Zwierciadło wody jest swobodne lub słabo napięte pod przykryciem glin żwałowych, na ogół położone na głębokości od 1 do 12 m. Poziom ten jest drenowany przez Stołę i jej dopływy, czynnikiem jest woda przesycająca się na skutek różnic ciśnień naporów wymuszonej eksploatacji

Fig. 2. Mapa geologiczna bez utworów czwartorzędowych

Geological map without Quaternary deposits

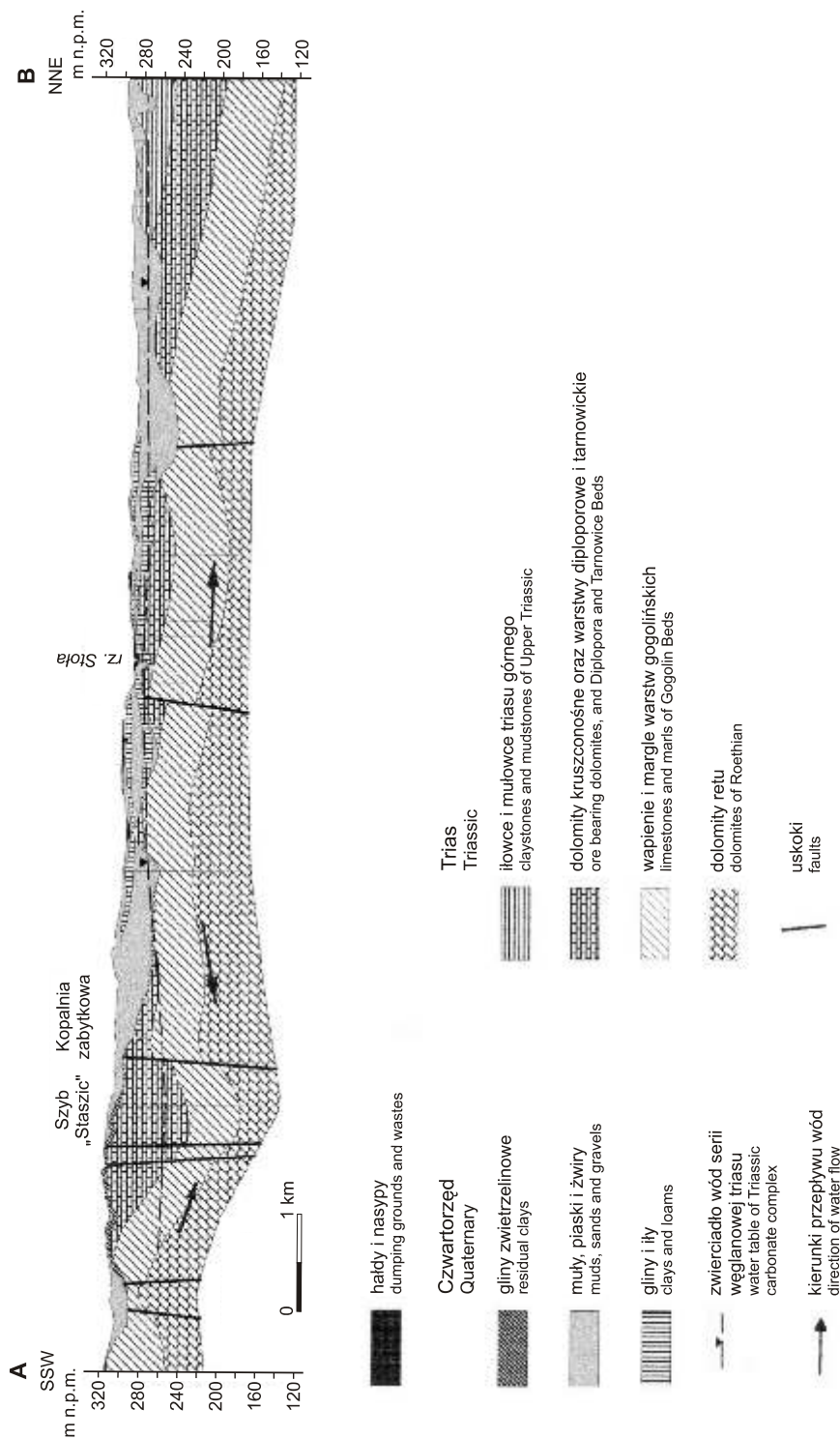


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny

Hydrogeological cross-section

wód do niego poziomu czwartorzędowego kompleksu wodono-krasowego triasu. Obecnie wody z poziomu czwartorzędowego nie są eksploatowane wyłącznie studziennymi ze względu na złe warunki.

W obrębie piętrowego wodono-krasowego triasu występuje trzy poziomy wodono-krasowe, z których dwa — wapienia muszlowe i retu — są eksploatowane wyłącznie studziennymi. Są one związane z wapieniami i dolomitami, sypkimi i skrasowiałymi. Poziomy te są rozdzielone słabo przepuszczalnymi marglami warstw gogolińskich, które na skutek uwarunkowań tektonicznych, sedimentacyjnych oraz przeobrażeń geochemicznych lokalnie tracą swoje właściwości izolujące. Ponadto poziomy te są połączone w niektórych otworach studziennych na skutek wspólnego ich ujmowania. Dlatego te poziomy te tworzą jeden hydraulicznie połączony kompleks wodono-krasowy w głanowej triasu (Rókowski red., 1990). Budujące go utwory w głanowe sypkane i skrasowiałe, ich maksymalna miąższość wynosi ok. 180 m. Kompleks ten jest odkryty w południowo-wschodniej części obszaru, a na pozostałym obszarze występuje pod przykryciem utworów przepuszczalnych i słabo przepuszczalnych czwartorzędowych. Ponadto w północno-zachodniej części obszaru, w stropie utworów w głanowych triasu występuje słabo przepuszczalne iły margliste, margle i łupki ilaste warstw boruszowickich. Warstw podcielajców w głanowego kompleksu wodono-krasowego stanowią margle i ilowce dolnego retu oraz iły występujące w stropowej części warstw wierkalnieckich.

Zwierciadło wody ma charakter swobodny na wychodniach oraz w obszarach zdepresjonowanych poborem wody wyłącznie studziennymi, głównie we wschodniej i południowej części obszaru. Na pozostałym obszarze zwierciadło wody występuje pod przykryciem marglisto-ilastych utworów izolujących triasu rodkowego oraz glin czwartorzędowych i jest napięte (fig. 3). Powierzchnia zwierciadła wody występuje na wysokości 275–280 m n.p.m. we wschodniej części obszaru i obniża się w kierunku na południowy i północny zachód do poziomu ok. 250–255 m n.p.m. w rejonach ujściowych (fig. 4).

Miasto Tarnowskie Góry leży w strefie regionalnego działu wód podziemnych, który dzieli ten kompleks na dwa zbiorniki spełniające kryteria dla głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP): GZWP Lubliniec–Myszków (nr 327) i GZWP Gliwice (nr 330). Zmiany natężenia i przestrzennego rozmieszczenia poboru wód podziemnych powodowały w przeszłości zmiany poziomu tego regionalnego działu (Kropka i in., 1998).

Kompleks wodono-krasowy w głanowego jest głównym źródłem zaopatrzenia w wodę aglomeracji tarnogórskiej. Obecnie funkcjonuje 8 ujęć komunalnych i przemysłowych. Ich łączny pobór wody w ostatnich latach kształtuje się na poziomie ok. 7,7 mln m³/rok (ok. 21 tys. m³/24h) wobec ok. 11,5 mln m³/rok (ok. 32 tys. m³/24h) w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych. W latach osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych funkcjonowały ponadto inne ujęcia wody z utworów triasu i czwartorzędowych, które zostały zamknięte z powodu nieodpowiedniej jakości wody. Szacuje się, że łączny maksymalny pobór wody w granicach rozpatrywanego obszaru w latach osiemdziesiątych kształtował się powyżej 40 tys. m³/24h.

RODOWISKO WÓD PODZIEMNYCH SERII W GŁANOWEJ TRIASU

Przeływ wód podziemnych w utworach w głanowych triasu w omawianym obszarze jest uwarunkowany zespołem cech geologiczno-strukturalnych masywu w głanowego oraz skomplikowaną siecią hydrauliczną. Pierwszym elementem decydującym o niejednorodności kompleksu w głanowego w makroskali jest jego zróżnicowanie litologiczne. W profilu pionowym serii w głanowej triasu występuje kilka warstw litologicznych o zróżnicowanych właściwościach hydro-

geologicznych. Część górna kompleksu w górnym tworzy utwory warstw tarnowickich, dolomitów diploporowych i kruszczonych należące do triasu rodkowego (wapienia muszlowego). Część dolna budują wapienie warstw gogoli skich dolnych (dolny wapie muszłowy) oraz dolomity retu, które w najniższym odcinku przechodzą w osady marglisto-ilaste. Te dwa kompleksy skał przepuszczalnych rozdzielone są marglami warstw gogoli skich górnych (dolny wapie muszłowy). To zróżnicowanie litologiczne i właściwości hydrogeologicznych znajduje odzwierciedlenie w występowaniu dwóch poziomów wodonośnych — wapienia muszłowego i retu.

Dodatkowym elementem wpływającym na warunki przepływu wód, w makroskali, są uskoki. Amplituda ich zrzutów niekiedy przekracza 50 m, a odstęp pomiędzy nimi wynosi na ogół od jednego do kilku kilometrów. Inny rodzaj nieciągłości masywu w górnym, odczytany ze zdjęć lotniczych, jest interpretowany jako fotolineamenty (Bardzinski, 2000). Odstępy między tymi strukturami wynoszą od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Są to drobne uskoki lub zespoły uskóków o niewielkich amplitudach zrztu, od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów, albo te strefy zagłębionych skał, które równie można obserwować na cianach kamieniołomów. Mimo iż dotychczas nie ma pełnej zgodności poglądów na temat zwięźnięcia fotolineamentów (zwłaszcza drobnych) z nieciągłościami tektonicznymi, to wstępne porównanie diagramów orientacji tych fotolineamentów z diagramami skał z pobliskiego kamieniołomu Bobrowniki (fig. 5) wskazuje na zbliżenie dominujących azymutów. Dominujące azymuty fotolineamentów wynoszą $120\text{--}140^\circ$ (rejony 1 i 2) oraz $150\text{--}160^\circ$ (rejon 3), a podrzędne systemy fotolineamentów mają azymuty w granicach: $60\text{--}70^\circ$ (rejon 2), $90\text{--}110^\circ$ (rejon 2 i 3) oraz $40\text{--}50^\circ$ (rejon 2). Te przeważające azymuty skał są bliskie pomierzonym w kamieniołomie: $120\text{--}140^\circ$, $60\text{--}80^\circ$, przy czym w tym kamieniołomie zaznacza się jeszcze jeden system skał o azymucie $30\text{--}40^\circ$. Opisane niejednorodności tektoniczne oraz pory i pustki krasowe, wzajemnie ze sobą połączone, tworzą skomplikowaną, trójelementową sieć hydrauliczną.

Właściwości przestrzeni porowej dolomitów kruszczonych określono laboratoryjnie na próbkach pobranych z kamieniołomu Bobrowniki (Witkowski i in., 1996; Kowalczyk, Witkowski, 1997). Porowatość otwarta próbek zmienia się w przedziale od 0,0118 do 0,28, wartość średnia arytmetyczna wynosi 0,119. Odszczalność próbek wynosi od 0,0078 do 0,26, wartość średnia arytmetyczna — 0,10. Przepuszczalność matrycy porowej zmienia się od $7,4 \cdot 10^{-11}$ do $4,9 \cdot 10^{-6}$ m/s, wartość średnia arytmetyczna wynosi $6,5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Szczelinowy system skał tworzą zespoły szczelin oraz skał pionowych i poziomych (międzyławicowych) obserwowane w odśloniach, a także jako fotolineamenty obserwowane na zdjęciach lotniczych. Średnie rozwarście szczelin pomierzone w kamieniołomie Bobrowniki wynosi 1,4 mm, a średnia arytmetyczna wartość powierzchniowej porowatości szczelinowej dolomitów wynosi od 0,00075 do 0,07 (Witkowski i in., 1996). Przepuszczalność przestrzeni szczelinowej oszacowana na podstawie średniego rozwarścia szczelin wynosi $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Formy krasowe kompleksu utworów w górnym zróżnicowane pod względem kształtu, wielkości, stopnia wypełnienia, prawidłowości rozmieszczenia w masywie i genezy (Gilewska, 1963; Witkowski i in., 1996). Najbardziej skrasowiałe są stropowe partie masywu obejmujące dolomity diploporowe i kruszczone. Występują przede wszystkim leje o średnicy najczęściej w granicach 1–3 m, kominy krasowe o średnicy poniżej 1 m i kanały krasowe o średnicy kilkudziesięciu centymetrów. Głębokość tych form dochodzi najczęściej w odśloniach do 3–5 m od powierzchni utworów w górnym. W literaturze są opisywane także znacznie większe leje krasowe o średnicy i głębokości kilkudziesięciu metrów (Gilewska, 1963). Ponadto formy krasowe obserwowano nie tylko w dolomitach wapienia muszłowego, ale także w dolomitach retu, a sporadycznie w wapieniach warstw gogoli skich. Wraz z głębokościowymi formami krasowymi

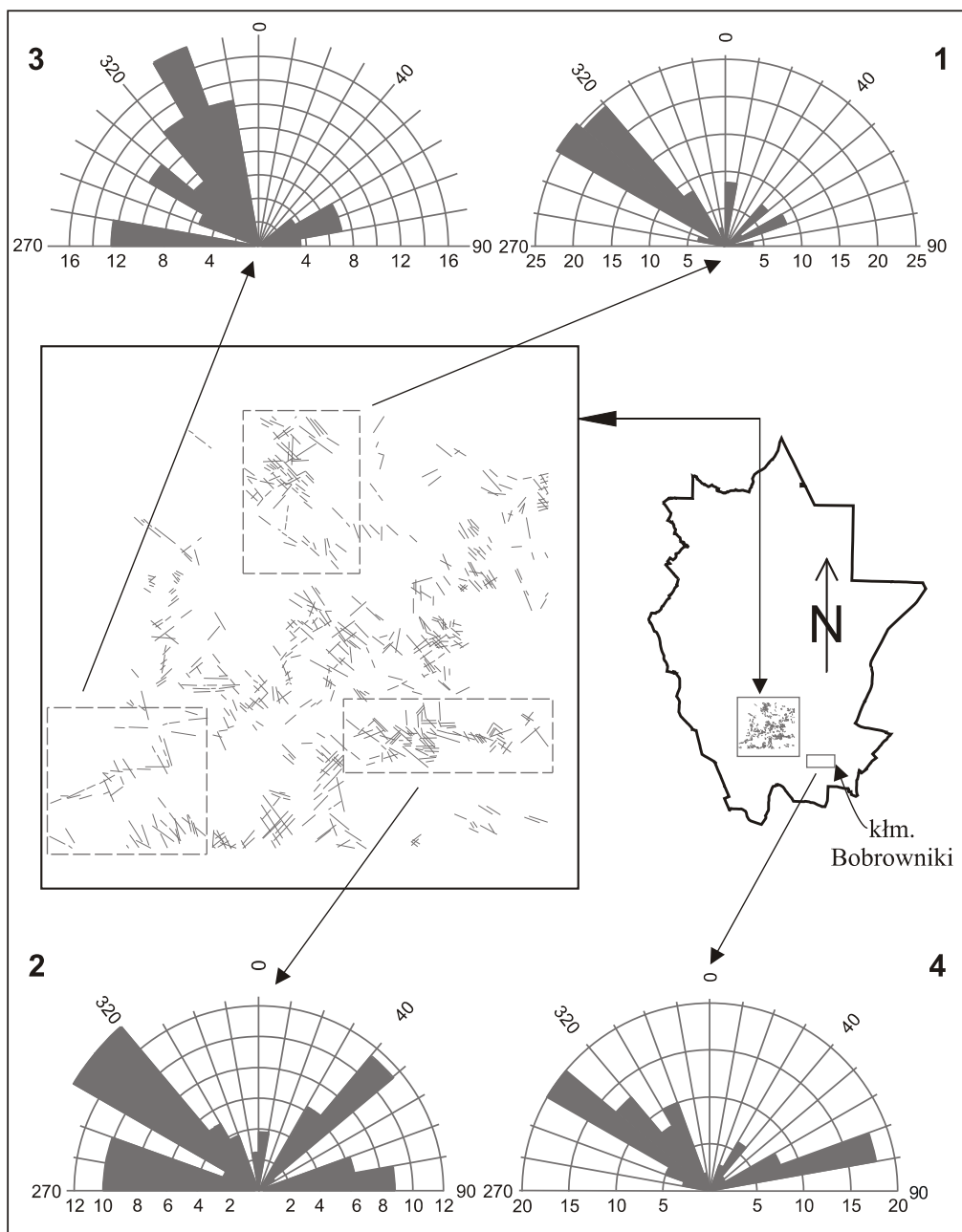


Fig. 5. Diagramy fotolineamentów

Diagrams of photolineaments

zanikają. Głównymi formami pozostają pionowe szczeliny krasowe, o zmiennej szerokości i rozwarciu, na ogół do 10 cm. Niekiedy występują w nich produkty mineralizacji wypełniające szczeliny w całości lub częściowo. W kształcie opisywanych form krasowych jest wypełniona osadami rezydualnymi oraz mułkami i piaskami.

Szczególne formy pustek, o niewyjaśnionej genezie, są nieregularnie rozmieszczone, o lekko zaokrąglonych i nieregularnych kształtach, o wymiarach od kilku do kilkunastu milimetrów, rzadziej większe. Występują one praktycznie w całym profilu dolomitów kruszonych i diploporowych oraz, w mniejszym nasileniu, w dolomitach retu.

Ilościowa ocena stopnia skrasowienia masywu skał w gólanowych w omawianym rejonie jest trudna. Wskaźnik kawernistości dla wólanowych skał triasowych w rejonie kopalni Trzebieńka wynosi 0,069% (Goliasz i in., 1993), a dla rejonu kopalni Olkusz i Pomorzany — odpowiednio 0,73–1,71% i 0,37% (Motyka, Wilk, 1976). Zespół pustek skalnych tworzy model sieci hydraulicznej zbliżony do opisywanego przez Motyka (1988, 1998) dla utworów wólanowych triasu rejonu olkuskiego.

Na sieć pustek skalnych i nieciągłości masywu nakładają się pustki pochodzenia antropogenicznego. Masyw utworów wólanowych triasu jest porożciniany licznymi wyrobiskami, pozostałymi po eksploatacji rud ołowiu, srebra i elaza. Są to wyrobiska odkrywkowe, szyby i wyrobiska górnicze podziemne, a także sztolnie odwodnieniowe (fig. 1). Niestety, tylko cztery wyrobiska jest zidentyfikowana. Szacuje się, że w rejonie objętym niniejszym opracowaniem było wykonanych dziesięć tysięcy szybów eksploatacyjnych o głębokości kilku metrów i głębokości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Ponadto gósta jest sieć sztolni odwadniających roboty górnicze, z których tylko cztery jest rozpoznana i drenuje obecnie górotwór triasowy. Na przykład przedstawione na figurze 1 sztolnie przebiegają na poziomie ok. 260–255 m n.p.m. i odprowadzają wody z górotworu triasowego do rzek Drama i Stoła. Oprócz tych wyrobisk liczne były w przeszłości małe i duże kamieniołomy powstałe w związku z eksploatacją dolomitów. Maksymalna głębokość najwikszego kamieniołomu Bobrowniki wynosi ok. 60 m (ok. 260 m n.p.m.). Cztery z tych wyrobisk pozostaje niezidentyfikowana, a cztery jest obecnie zasypana materiałem nieznanego pochodzenia. Innym skutkiem działalności górniczej są osiadania powierzchni terenu, maksymalnie 3–54 m.

Parametry hydrogeologiczne kompleksu skał wólanowych triasu, o skomplikowanej sieci pustek i nieciągłości, są w rozpatrywanym obszarze słabo rozpoznane. Współczynnik filtracji utworów wodonośnych, określony na podstawie próbnych pompowań, wynosi: dla poziomu wapienia muszlowego $3,75 \cdot 10^{-6}$ – $9,3 \cdot 10^{-4}$ m/s, a dla poziomu retu $1,1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ m/s (Kowalczyk i in., 1998). Współczynnik odszczalności utworów wodonośnych retu, określony na podstawie wyników wieloletniej eksploatacji ujęcia Staszic, wynosi 0,032, (Kowalczyk, Witkowski, 1997), współczynnik filtracji — $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, a prędkość przepływu wody jest rzędu 1000 m/rok (Kowalczyk i in., 1998).

WARUNKI HYDRODYNAMICZNE

Jak wynika z badań regionalnych (Rókowski, Wilk, 1980; Dziuk i in., 1999), a także z analizy położenia zwierciadła wody w otworach studziennych i obserwacyjnych zlokalizowanych w rejonie Tarnowskich Gór, wartość naporów hydraulicznych w poziomie wodonośnym wapienia muszlowego w warunkach zbliżonych do naturalnych, niezaburzonych drenażem, wynoszą od kilkudziesięciu centymetrów do około 1 metra i są nieznacznie wyższe od naporów w poziomie

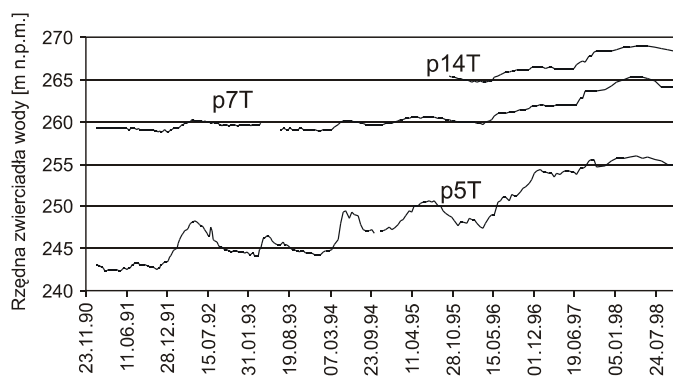


Fig. 6. Zmiany poziomu zwierciadła wody w utworach w glanowych triasu

Groundwater level variation in Triassic carbonate complex

retu. Różnice te zanikają na wschód od Tarnowskich Gór, wraz z wyklinowywaniem się wodonośnych utworów poziomu wapienia muszlowego. Obecnie w związku z tym, że system sztolni odwadniających drenuje poziom wodonośny wapienia muszlowego maksymalnie do poziomu 255–260 m n.p.m., aktualny układ zwierciadła wody jest lokalnie zaburzony, a poziom zwierciadła wody w tym poziomie, wymuszone drenowaniem, jest lokalnie maksymalnie obniżone o około 20–40 m w stosunku do pierwotnego poziomu i do zwierciadła w poziomie retu. Ze względu na brak punktów obserwacyjnych szczegółowo odtworzenie aktualnego układu zwierciadła wody w poziomie wapienia muszlowego w całym rozpatrywanym obszarze nie jest możliwe, a mapa hydroizohips (fig. 4) przedstawia układ zwierciadła wody odpowiadający poziomowi wodonośnemu retu. Według rekonstrukcji wykonanych na regionalnym modelu numerycznym, obejmującym triasowe GZWP Gliwice i Lubliniec–Myszków (Kowalczyk i in., 1999a), oceniamy, że maksymalne obniżenie tego zwierciadła, w rejonach dużych ujęć i sztolni odwadniających mogło wynosić około 30 m.

W latach dziewięćdziesiątych nastąpił wzrost zwierciadła wody w utworach w glanowych triasu. W studniach przyrost ten wynosi na ogół od 5 do 10 m, sporadycznie nawet do 15 m. W piezometrach zlokalizowanych po zachodniej stronie aglomeracji, ujmujących kompleks triasowy, wzrost zwierciadła w latach 1991–1998 wyniósł od 6 do 11 m (fig. 6). Przyczyną takiego znacznego wzrostu jest wzrost zasilania potencjalnego wskutek większych opadów atmosferycznych od 1994 r., jak również ograniczenie poboru wody zarówno na terenie miasta, jak i w skali regionalnej. Udział tych czynników trudno jest rozdzielić.

Przedstawiony na figurze 4 układ hydroizohips wskazuje, że strumień wód spływający generalnie ze wschodu na zachód szybko rozdziela się na cztery północno-zachodni i południowo-zachodni. Strumień ten jest zaburzony eksploatacją dużych ujęć studziennych położonych w obszarze badawczym (ujęcie Staszic) jak również poza jego granicami (np. ujęcie Borszowice). Przez teren miasta przebiega dźwiał wód podziemnych, którego poziom jest wymuszony zmiennym w czasie rozkładem i natężeniem poboru wód ujęciami (Kowalczyk i in., 1999b; Kropka, 1999).

ZASILANIE I DRENAŻ

Działalność przemysłowa i procesy urbanizacyjne prowadzą do nasilenia zasilania i drenażu wód podziemnych (Lerner, 1997; Morris i in., 1997; Foster, Chilton, 1999; Kowalczyk, 1999). W obszarze objętym badaniami rozciąga się masyw skał w glanowych licznymi wyrobiskami górni-

czymi sprzyja zintensyfikowaniu infiltracji opadów atmosferycznych. Podobnie jest na terenach zabudowy miejskiej, gdzie podczas robót budowlanych cienkie warstwy glin są rozcinane, co sprzyja infiltracji wód opadowych i cieków.

Procesy urbanizacyjne wzbudzają także nowe źródła zasilania: wody uciekające z nieszczelnej sieci wodociągowej oraz cieki przez czające się z sieci kanalizacyjnej i z szamb, jak również niekontrolowane, rozproszone ich zrzuty. Aglomeracja tarnogórska jest tylko na części swego obszaru skanalizowana. Dla miast Górnego Śląska straty z sieci wodociągowej są szacowane najczęściej na poziomie 25–35% (Piechurski, 1997), natomiast np. w Anglii na 20–25% (Lerner, 1997). Na terenie Tarnowskich Gór na podstawie wieloletnich danych straty można oszacować na ok. 30%, co odpowiada wartości ok. 4000 m³/24h. Wielkość zasilania ciekami z sieci kanalizacyjnej i z rozproszonych zrzutów oraz z szamb trudno jest oszacować.

Obniżenie zwierciadła wody spowodowane eksploatacją i drenażem wód sztolniami sprzyja ucieczkom wody z cieków powierzchniowych. Sporadycznie wykonywane pomiary przepływu w rzekach Stoła i Drama wskazują, iż infiltracja wód powierzchniowych okresowo jest możliwa i stanowi dodatkowe źródło zasilania wód podziemnych (Kropka i in., 1998).

Według badań modelowych wykonanych dla obszaru obejmującego rejon Tarnowskich Gór o powierzchni 77 km² (Rubin i in., 1997) kompleks wodonośny triasu jest zasilany bezpośrednio na wychodniach oraz pośrednio na drodze przez czające się wód z płytkich, przypowierzchniowych warstw wodonośnych występujących w utworach czwartorzędowych. Zasilanie pionowe kompleksu wodonośnego triasu w obszarze jego wychodni, pochodzi z infiltracji opadów, ze strat wody z sieci wodociągowej i kanalizacyjnej oraz zrzutów cieków wynosi 235 mm/rok. W stosunku do średniego rocznego wskaźnika opadów atmosferycznych (826 mm/rok, skorygowanego o 13% w stosunku do pomierzonego przez IMiGW) stanowi to ok. 28%. Dla obszarów wychodni niezabudowanych infiltracja efektywna, szacowana według innych badań modelowych dla obszarów przyległych, jest niższa i wynosi 20–22% (Kowalczyk i in., w druku). W tym przypadku tak wysoka wartość zasilania pionowego zdaje się potwierdzać przedstawione powyżej sugestie co do jego roli.

Zasilanie wód kompleksu w glanowego w drodze przez czające się wody z poziomu czwartorzędowego oszacowano na 109 mm/rok (3,46 dm³/skm²). Jest ono niewątpliwie zintensyfikowane obniżeniem naporów w kompleksie w glanowym triasu na skutek drenażu wód ujętymi studziennymi i sztolniami.

Drenaż wód z kompleksu wodonośnego triasu jest bardzo intensywny i wynosi 209 mm/rok (6,62 dm³/skm²). Jest on wymuszony eksploatacją wód ujętymi studziennymi na poziomie 140 mm/rok (4,45 dm³/skm²). Dla porównania moduł drenażu wód z kompleksu wodonośnego triasu w obszarach zasilania GZWP Lubliniec–Myszków wynosi maksymalnie 3,5 dm³/skm² (Kowalczyk i in., 1999a), a dla całego GZWP Gliwice — 3,6 dm³/skm² (Kowalczyk i in., 1999b).

SKŁAD CHEMICZNY I JAKOŚĆ WÓD

Skład chemiczny i jakość wód poziomów wodonośnych czwartorzędowych i serii w glanowej triasu na omawianym obszarze są wyraźnie zróżnicowane. Uzależnione jest to przede wszystkim od głębokości występowania zwierciadła wód i stopnia izolacji od powierzchni oraz od zagospodarowania i użytkowania powierzchni terenu.

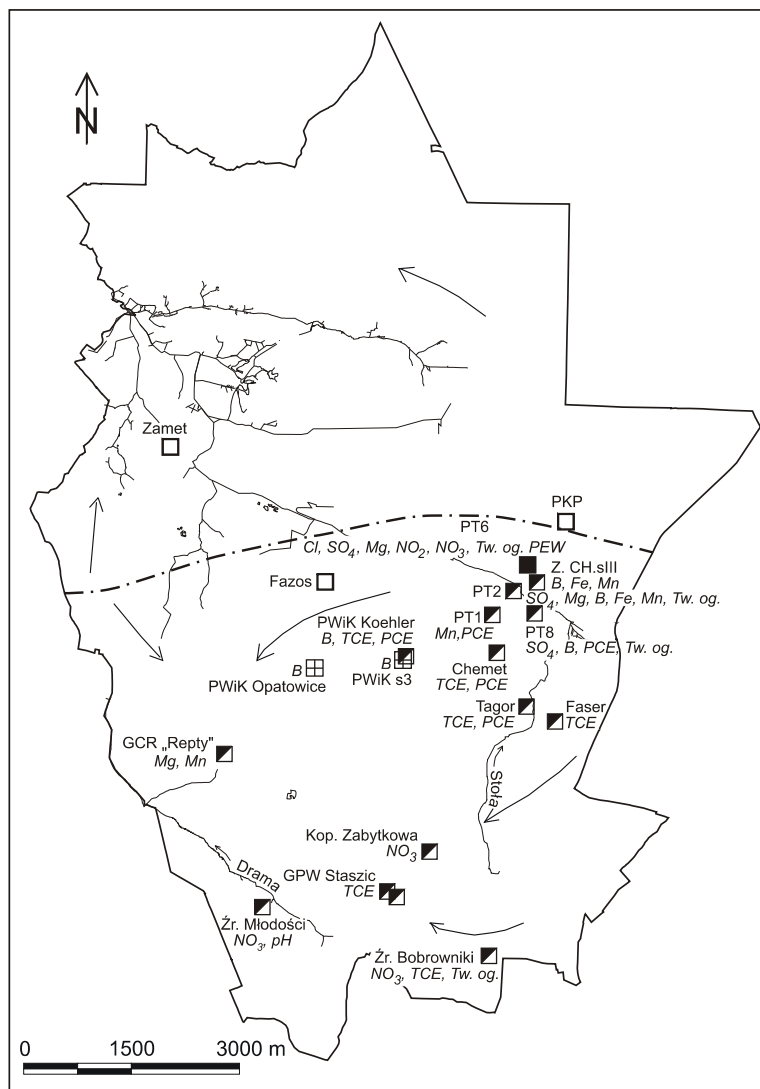
Charakterystykę chemiczną i jakość wód podziemnych przedstawiono na podstawie wyników badań wykonanych w latach 1995–2000 (Rubin, 1997; Rubin i in., 1997; Rubin i in., 1999;

Kowalczyk i in., 2000). Wykorzystano również archiwalne analizy zebrane u poszczególnych uytowników uj. Przestrzenną zmienność chemizmu i jakości wód serii w główniej triasie na obszarze Tarnowskich Gór zinterpretowano na podstawie wyników równoczesnego opróbowania z października 2000 r. Opróbowanie to przeprowadzono w 23 punktach obserwacyjnych (studnie eksploatacyjne, piezometry, źródła, wycieki w wyrobiskach podziemnych), a analiza pobranych próbek wód obejmowała oznaczenie 29 składników chemicznych i parametrów fizykochemicznych.

Charakterystyka wód czwartorzędowego piętrowego wodonośnego ze względu na ograniczoną liczbę punktów obserwacyjnych została wykonana dla rejonu składowisk Zakładów Chemicznych. Jest to obszar, gdzie istnieje rozbudowana sieć monitoringu tego piętrowego wodonośnego, a oddziaływanie antropopresji jest największe ze względu na wieloletnie składowanie odpadów na powierzchni terenu bez jakiegokolwiek zabezpieczenia. Skład chemiczny tych wód jest zróżnicowany w zależności od miejsca poboru próbki w stosunku do bryły składowiska. Wody w strefie bezpośrednio oddziaływania składowisk charakteryzują się mineralizacją powyżej 1 g/dm^3 , osiągać mogą maksymalnie $3,3 \text{ g/dm}^3$, oraz słabo kwaśnym odczynem (Rubin, 1997; Rubin i in., 1999). Według klasyfikacji PIO (Staniewicz-Dubois, 1995) są to wody pozaklasowe ze względu na występowanie takich składników toksycznych, jak: azotany, kadm, ołów, nikiel, arsen, glin. W przypadku boru, baru i strontu, składników charakterystycznych dla nagromadzonych tu odpadów, stwierdzono, że w wodach piętrowego czwartorzędowego w strefie bezpośrednio oddziaływania składowisk średnie zawartości boru przekraczają ponad 130-krotnie wartość dopuszczalną dla wód pitnych (DzU Nr 82, 2000), natomiast zawartości strontu 5-krotnie przewyższają wartość graniczną dla wód wysokiej jakości (klasa Ib wg klasyfikacji PIO; zawartość strontu nie jest normowana w przepisach dla wód pitnych). W strefie odpływu z rejonu składowisk w wodach piętrowego czwartorzędowego obserwuje się podwyższone stężenia boru, miedzi, manganu, selenu i niklu.

Wody serii w główniej triasie w rejonie Tarnowskich Gór generalnie cechują się mineralizacją poniżej $1,0 \text{ g/dm}^3$, a odczyn ich jest obojętny lub słabo zasadowy. Jakość wód serii w główniej triasie na omawianym obszarze jest zmienna, od klasy Ib do wód pozaklasowych wg klasyfikacji PIO (fig. 7). Wody o wysokiej jakości stwierdzono w strefie wododziałowej będącej na północ od działu wód podziemnych. Wododział ten stanowi barierę hydrodynamiczną dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z aglomeracji tarnogórskiej w kierunku północnym. Wody niskiej jakości i pozaklasowe występują praktycznie na całym obszarze znajdującym się na południe od działu wód podziemnych, zmieniają się tylko składniki decydujące o degradacji tych wód. Zaliczenie wód do niskiej jakości i pozaklasowych determinowane było występowaniem wysokich stężeń boru, azotu azotanowego, azotu azotanowego, trichloroetylenu i tetrachloroetylenu. Najwyższy stopień degradacji wód serii w główniej triasie występuje w rejonie składowisk Zakładów Chemicznych, o czym świadczy największa ilość i różnorodność składników przekraczających dopuszczalne zawartości dla wód pitnych (fig. 7). Szczególnie wyraźnie widoczna jest degradacja wód występujących w stropowej części wapienia muszlowego, monitorowanych m.in. piezometrami PT2, PT6 i PT8, gdzie stwierdzono mineralizację dochodzącą do 4 g/dm^3 .

Zagrożenie jakości wód serii w główniej triasie na skutek wymywania zanieczyszczeń z odpadów zdeponowanych na składowiskach Zakładów Chemicznych przedstawiono na przykładzie interpretacji przestrzennej zmienności stężenia boru. Jest to składnik charakterystyczny dla tych odpadów, cechujący się łatwą migracją w środowisku wód podziemnych (współczynnik opóźnienia $R = 1-2$). Mapę rozkładu stężenia boru (fig. 8) wykonano metodą krzygu liniowego za pomocą programu Surfer. Przestrzenny rozkład podwyższonych stężeń boru w wodach serii w główniej triasie jest odzwierciedleniem głównych kierunków spływu wód podziemnych z rejonu



Klasy jakości wód wg klasyfikacji PIOŚ:

Class of water quality according to State Inspection of Environmental:

□ lb □ II □ III □ >III

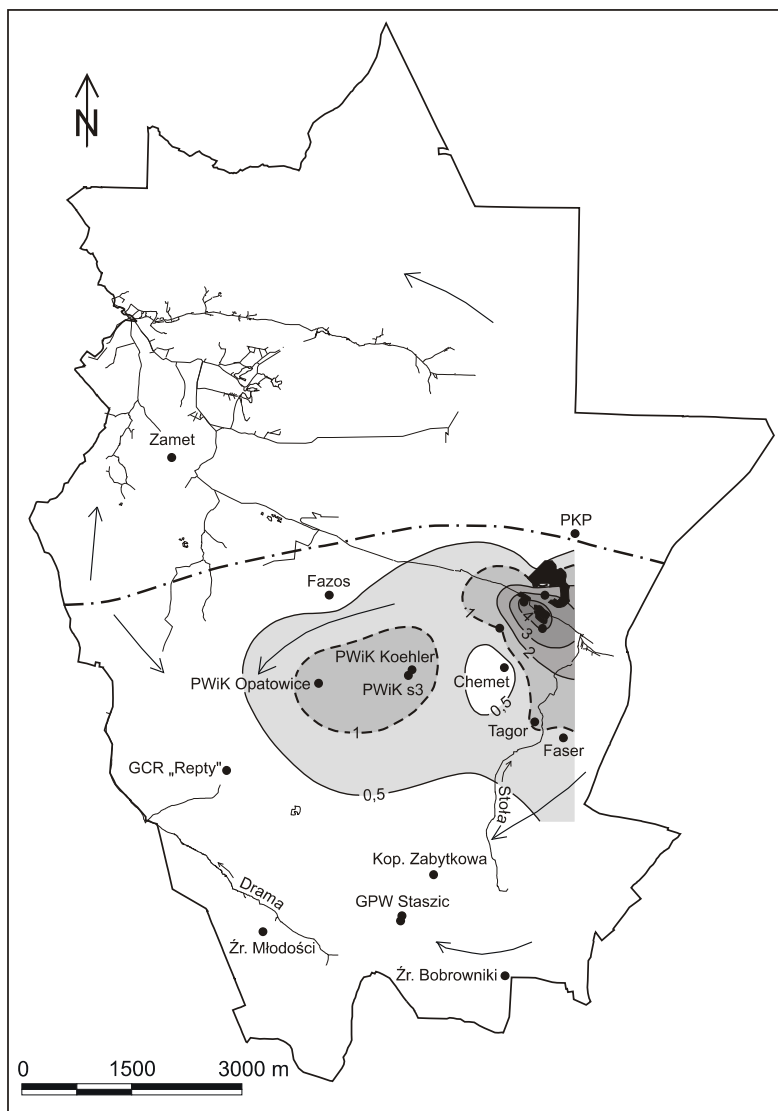
składniki przekraczające dopuszczalną zawartość dla wód pitnych
water components which concentration exceeds the permissible limits
of Polish hygienic-sanitary drinking-water standards

— · — dział wód podziemnych
groundwater divide

→ kierunki przepływu wód
direction of groundwater flow

Fig. 7. Mapa jako ci wód serii w glanowej triasie w rejonie Tarnowskich Gór (stan na pa dziennik 2000 r.)

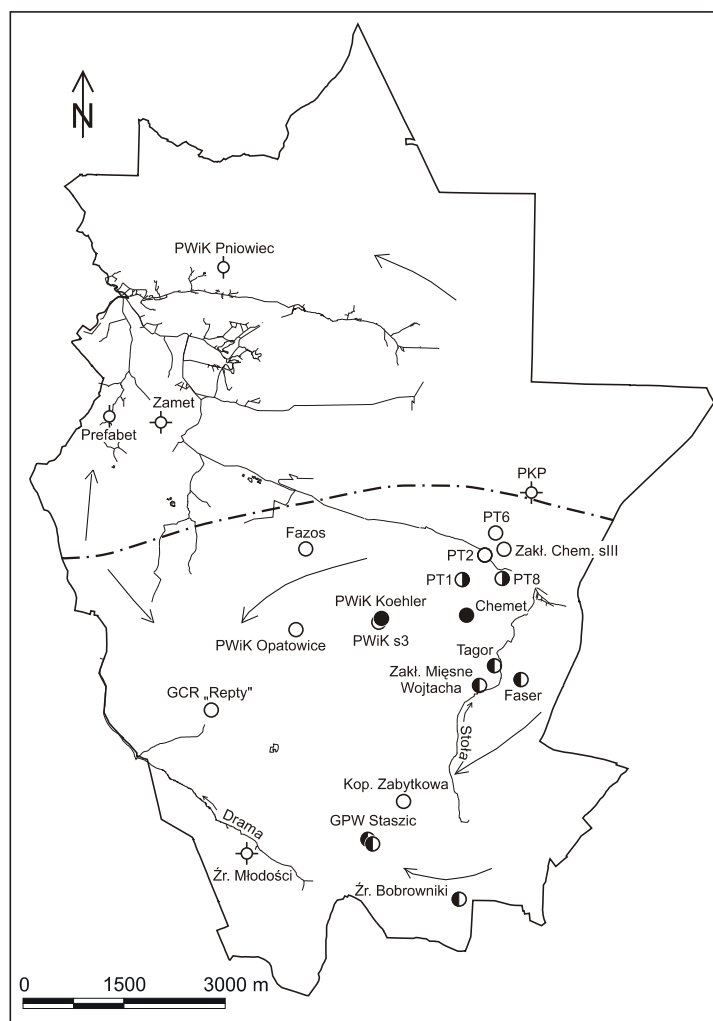
Map of water quality of Triassic carbonate aquifer in Tarnowskie Góry region (in October 2000)



- punkty pomiarowe
measurements points
 - składowiska Zakładów
Chemicznych
dumps of Chemical Factory
 - 1- dopuszczalna zawartość boru dla wód pitnych wg polskich przepisów
permissible limits of Boron in Polish hygienic-sanitary drinking-water standards
 - pozostałe objaśnienia jak na fig. 7
other explanations as on Fig. 7
- 0,5 1,0 2,0 3,0 4,0 mg/dm³
stężenie boru w wodach serii węglanowej triasu
concentration of Boron in Triassic carbonate aquifer

Fig. 8. Rozkład stężenia boru w wodach serii węglanowej triasu w rejonie Tarnowskich Gór (stan na październik 2000 r.)

Concentration of Boron in Triassic carbonate aquifer in Tarnowskie Góry region (in October 2000)



- ⊕ nie wykryto TCE i PCE ⊖ nie wykryto TCE
no detected TCE and PCE no detected TCE
 - stężenie TCE i PCE poniżej dopuszczalnej zawartości dla wód pitnych
concentration of TCE and PCE below standards
 - stężenie TCE powyżej dopuszczalnej zawartości dla wód pitnych
concentration of TCE exceed standards
 - ◐ stężenie PCE powyżej dopuszczalnej zawartości dla wód pitnych
concentration of PCE exceed standards
 - stężenie TCE i PCE powyżej dopuszczalnej zawartości dla wód pitnych
concentration of TCE and PCE exceed standards
- pozostałe objaśnienia jak na fig. 7
other explanations as on Fig. 7

Fig. 9. Występowanie trichloroetenu (TCE) i tetrachloroetenu (PCE) w wodach serii w glaukowej triasy w rejonie Tarnowskich Gór (stan na październik 2000 r.)

Trichloroethene (TCE) and Tetrachloroethene (PCE) concentrations in Triassic carbonate aquifer in Tarnowski Góry region (in October 2000)

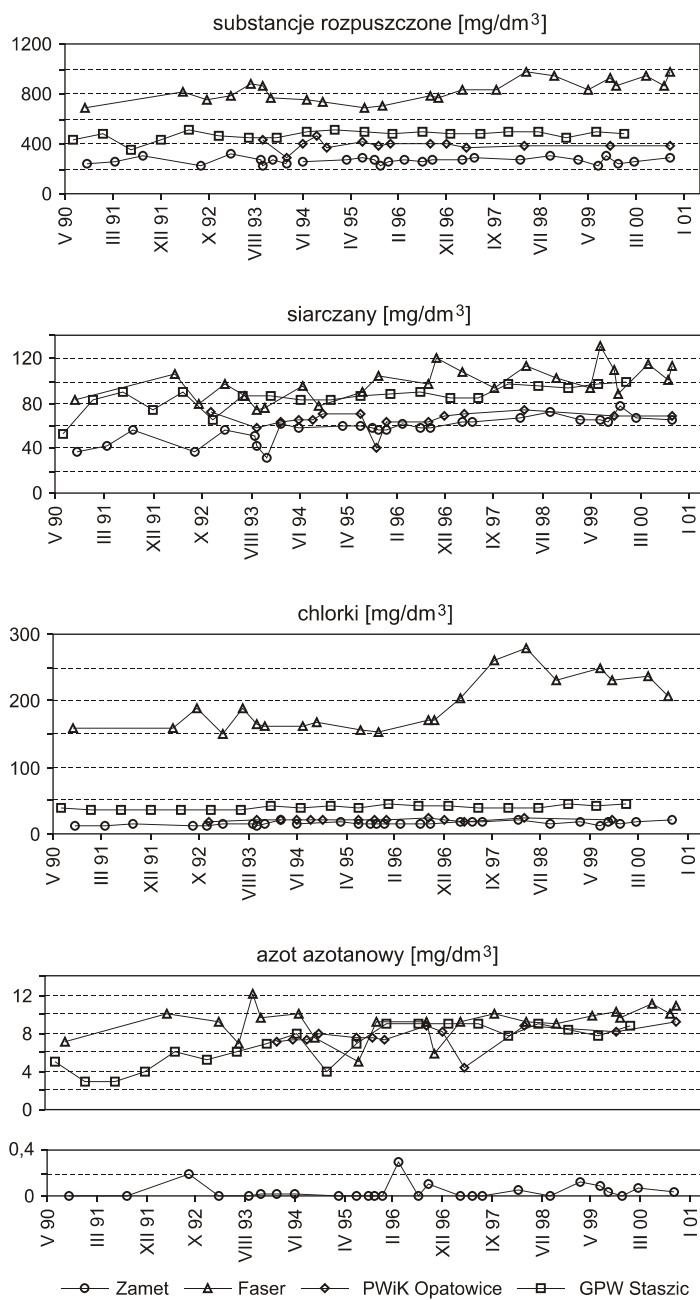


Fig. 10. Zmiany wybranych wskaźników zanieczyszczenia wód serii w glaukowej triasie w rejonie Tarnowskich Gór w latach 1990–2000

Concentration of selected groundwater contamination indicators in Triassic carbonate aquifer in Tarnowskie Góry region in years 1990–2000

składowisk odpadów Zakładów Chemicznych, które lokalnie są modyfikowane przez pobór wody ujęciami studziennymi.

W ramach wykonanego opróbowania określono również zawartość halogenowanych w gło-wodorów alifatycznych: trichloroetylenu (TCE) i tetrachloroetylenu (PCE). Są to składniki specyficzne, które na skutek szerokiego stosowania jako rozpuszczalniki stanowią zagrożenie jako ciecze w wodach podziemnych w rejonach aglomeracji miejsko-przemysłowych (Jackson, 1998). W 20 opróbowanych punktach w rejonie miasta Tarnowskie Góry stwierdzono występowanie tych związków w wodach podziemnych (fig. 9). W siedmiu punktach stężenia TCE przekraczały dopuszczalną zawartość dla wód pitnych ($10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), osiągały maksymalną wartość $202 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w ujęciu PWiK Koehler. W przypadku PCE przekroczenia dopuszczalnej zawartości ($10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) stwierdzono w czterech punktach, a jego maksymalne stężenie wynosiło $10,83 \text{ mg}/\text{dm}^3$ stwierdzono w piezometrze PT8, który zlokalizowany jest na terenie „Elektrocarbonu” i monitoruje wody w stropie wapienia muszlowego. Problem zagrożenia wód tymi związkami wymaga pogłębionych badań hydrogeochemicznych, które umożliwiłyby ustalenie stopnia skażenia wód, zasięgu i tempa przemieszczania się zanieczyszczenia.

Analizę trendów zmian jakości wód serii w gólanowej triasu w rejonie Tarnowskich Gór przeprowadzono dla: substancji rozpuszczonych, siarczanów, chlorków oraz azotu azotanowego (fig. 10). Zmienne wybranych wskaźników zanieczyszczenia przedstawiono dla lat 1990–2000 dla czterech punktów charakteryzujących różnym stopniem oddziaływania aglomeracji tarnogórskiej na jako monitorowanych wód.

Studnia „Zametu” zlokalizowana jest na północ od działu wód, który stanowi barierę hydrodynamiczną dla migracji zanieczyszczeń z przemysłowej, centralnej części miasta. Studnia „Faseru” znajduje się na terenach przemysłowych. Studnia PWiK Opatowice zlokalizowana jest na zachód od miasta, na kierunku spływu wód, a ujęcie GPW Staszic jest położone poza terenem zwartej zabudowy, w kierunku na południowy zachód od miasta, również na kierunku spływu wód. Analiza zawartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń wykazuje, iż wody monitorowane studni „Faseru” cechują się najwyższymi stężeniami wszystkich omawianych wskaźników. Szczególnie wyraźna różnica poziomu stężenia występuje w przypadku substancji rozpuszczonych charakteryzujących globalne zanieczyszczenie wód oraz w przypadku chlorków, które są wskaźnikiem szybko i bezpośrednio reagującym na antropopresję. W ciągu ostatnich 10 lat obserwuje się wyraźne zaznaczające się wzrost ilości substancji rozpuszczonych w wodach ujęcia „Faseru”. Widoczny jest również powolny, lecz stały wzrost stężenia siarczanów i azotanów w wodach wszystkich analizowanych ujęć. Dotyczy to przede wszystkim wód ze strefy płytkiego kręcenia, ale także wód pochodzących z większych głębi (ujęcie GPW Staszic). Źródłem azotanów są najprawdopodobniej ciekły komunalne odprowadzane w sposób niekontrolowany na terenach pozabawionych kanalizacji oraz ciekły przez czajnice z nieszczelnej kanalizacji.

PODSUMOWANIE

Wielowiekowa antropopresja związana z rozwojem i funkcjonowaniem miasta Tarnowskie Góry oraz przemysłu i górnictwa w jego otoczeniu doprowadziła do trwałych i głębokich przeobrażeń warunków hydrogeologicznych. Głównymi przejawami tych zmian są:

— zanieczyszczenie wód podziemnych zarówno płytkich, czwartorzędowych poziomów wodonośnych, jak również kompleksu wodonośnego serii w gólanowej triasu; na skutek powstania

hydraulicznych zanieczyszczonych poziomów wodono nie czwartorz du stanowi znacze ródło zanieczyszczenia wód w utworach w glanowych triasu;

— zamykanie uj uj mujących wody zanieczyszczone i uruchamianie lub intensyfikowanie poboru z uj oddalonych od centrum miasta;

— modyfikacje systemu kr enia wód podziemnych wskutek drena u wód uj ciami studziennymi i sztolniami, przejawiaj ce si lokalnymi zmianami kierunków przepływu wód i obni eniem zwierciadła wody w kompleksie wodono nym triasu;

— zmiany bilansu wód podziemnych polegaj ce na uruchomieniu nowych ródeł oraz zintensyfikowaniu zasilania i drena u wód; intensywna eksploatacja wód i obni enie zwierciadła wody w kompleksie wodono nym triasu zintensyfikowały mi dzy innymi przes czanie pionowe wód z przypowierzchniowych poziomów wodono nych czwartorz du;

— udro nienie szczelinowo-krasowo-porowego masywu skał w glanowych przez liczne pustki skalne o antropogenicznej genezie (sztolnie, szyby i kamieniołomy).

Głównym problemem jest degradacja wód podziemnych kompleksu wodono nego triasu, przejawiaj ca si podwyższonymi zawartościami m.in. azotanów, siarczanów, chlorków i boru oraz zwi zków organicznych, głównie trichloroetylenu i tetrachloroetylenu. Przenikaniu tych zanieczyszcze z powierzchni oraz ich rozprzestrzenianiu si w rodowisku skał w glanowych sprzyja skomplikowany system dróg kr enia wód, w szczególno ci pustki pochodzenia antropogenicznego. Ich rozmieszczenie w górotworze jest bardzo słabo rozpoznane, co utrudnia prognozowanie lokalnych kierunków migracji zanieczyszczonych wód z terenu miasta.

Wypadkowe kierunki przepływu wód przeobra onych pod wzgl dem składu chemicznego s zdeterminowane regionalnym kierunkiem odpływu wód, na zachód i południowy zachód, który z kolei jest silnie modyfikowany du ymi uj ciami, np. uj ciami Staszic. Aktualny układ zwierciadła wody w kompleksie wodono nym triasu uniemo liwia rozprzestrzenianie si zanieczyszcze z terenu miasta w kierunku północno-zachodnim.

Dotychczasowe badania wpływu aglomeracji tarnogórskiej na wody podziemne nie dały odpowiedzi na wszystkie pytania. Dalsze badania wymagaj przede wszystkim zwi kszenia liczby punktów monitoringowych. Celem tych bada powinno by m.in. rozpoznanie mechanizmów rz dzących migracj zanieczyszcze organicznych w rodowisku skał w glanowych i mo liwo ci samooczyszczania si wód z tych zwi zków. Od wyników tych bada zale y prognozowanie zagro enia uj studziennych tymi zanieczyszczeniami oraz planowanie optymalnej eksploatacji wód z utworów w glanowych triasu dla zaopatrzenia miasta w wod .

LITERATURA

- BARDZI SKI W., 2000 — Mapa fotogeologiczna. W: Zastosowanie interaktywnych systemów kartografii geologicznej na obszarze miasta Tarnowskie Góry. Przewodnik sesji wyjazdowej konf. nauk. rodowisko przyrodnicze regionu Górno l skiego — stan poznania, zagro enia i ochrona: 53-55.
- DZIENNIK USTAW Nr 82, poz. 937, 2000 — Rozporz dzenie Ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiada woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w k pieliskach, oraz zasad sprawowania kontroli jako ci wody przez i organy Inspekcji Sanitarnej.
- DZIUK M., SIWY-B DKOWSKA K., B DKOWSKI Z., KOWALCZYK A., RUBIN K., LEWANDOWSKI J., 1999 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów serii w glanowej triasu w rejonie Lubliniec-Myszków według projektu: Okre lenie zasad eksploatacji zasobów wód podziemnych z utworów triasu w północnej cz ci Górnego l ska. Arch. l skiego Urz du Wojewódzkiego, Katowice.

- FOSTER S., CHILTON J., 1999 — Groundwater impacts and issues in developing cities — an introductory review. W: J. Chilton i in. (red.), *Groundwater in the urban environment*. Vol. 1: Problems, processes and management: 3–16. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- GILEWSKA S., 1963 — Rze ba progu rodkowotriasowego w okolicy B dzina. *Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN*, **44**: 119ss.
- GOLIASZ A., KRYZA A., MOTYKA J., SZUWARZY SKI M., 1993 — Charakterystyka hydrogeologiczna sieci szczelin i kawern w w glanowych skałach triasowych z okolic Chrzanowa. *Kras i Speleol. U l.*, **7**, 16: 31–42.
- JACKSON R.E., 1998 — The migration, dissolution, and fate of chlorinated solvents in the urbanized alluvial valleys of the southwestern USA. *Hydrogeol. J.* **6**: 144–155.
- KOWALCZYK A., 1999 — Impacts miniers sur les conditions hydrogéologiques de l'aquif re carbonaté de Chrzanów (Sud de Pologne). Analyse par mod le mathématique. *Hydrogéologie*, **3**: 11–17.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., JAKIMOW W., WOJTAL G., 1998 — Dokumentacja hydrogeologiczna dla ustanowienia zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód podziemnych „Staszic” w Reptach l skich. Arch. ZBU „Intergeo”, Sosnowiec.
- KOWALCZYK A., RUBIN H., RUBIN K., 2000 — Hydrogeologiczne problemy rejonu miasta Tarnowskie Góry. W: A.T. Jankowski, U. Myga-Pi tek, S. Ostaficzuk (red.), *rodowisko przyrodnicze regionu Górno l skiego — stan poznania, zagro enia i ochrona*. *Pr. Wydziału Nauk o Ziemi U l.*, **2**: 28–38.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., TREICHEL W., GRABALA D., WOJTAL G., WRÓBEL J., 1999a — Badania modelowe dla oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych GZWP Lubliniec–Myszków. Arch. ZBU „Intergeo”, Sosnowiec.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., TREICHEL W., WRÓBEL J., 1999b — Badania modelowe triasowego zbiornika Gliwice. W: *Hydrodynamiczne, hydrochemiczne i ekonomiczno-techniczne aspekty przeeksplotowania triasowego zbiornika Gliwice (GZWP 330, trias l sko-krakowski)*. Projekt badawczy KBN nr 9 T12B 01 612. Arch. KHiGI U l., Sosnowiec.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., TREICHEL W., WRÓBEL J., w druku — Odnawialno wód podziemnych szczelinowo-krasowego zbiornika wód podziemnych Lubliniec–Myszków w wietle bada modelowych.
- KOWALCZYK A., WITKOWSKI A., 1997 — Determination of specific yield of a carbonate aquifer by analysis of discharge curves for wells and springs and laboratory tests. W: G. Günay, A.I. Johnson (red.), *Karst waters & environmental impacts*: 365–370. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- KROPKA J., 1999 — Hydrodynamiczne, hydrochemiczne i ekonomiczno-techniczne aspekty przeeksplotowania triasowego zbiornika Gliwice (GZWP nr 330, trias l sko-krakowski). Projekt badawczy KBN nr 9 T12B 01 612. Arch. KHiGI U l., Sosnowiec.
- KROPKA J., KOWALCZYK A., RUBIN K., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Bytom. Dokument elektroniczny. Centr. Arch. Pa stw. Inst. Geol., Warszawa.
- LAMPARSKA-WIELAND M., 2000 — Mapa osiada terenów górniczych i pogórnich Tarnowskich Gór. W: *Zastosowanie interaktywnych systemów kartografii geologicznej na obszarze miasta Tarnowskie Góry*. Przewodnik sesji wyjazdowej konf. nauk. *rodowisko przyrodnicze regionu Górno l skiego — stan poznania, zagro enia i ochrona*: 62–63.
- LERNER D., 1997 — Too much or too little: recharge in urban areas. W: J. Chilton i in. (red.), *Groundwater in the urban environment*. Vol. 1: Problems, processes and management: 41–48. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- MORRIS B., LAWRENCE A., FOSTER S., 1997 — Sustainable groundwater management for fast-growing cities: mission achievable or mission impossible? *Ibidem*: 55–66.
- MOTYKA J., 1988 — W glanowe osady triasu w olkusko-zawiercia skim rejonie rudnym jako rodowisko wód podziemnych. *Zesz. Nauk. AGH*, **1157**, *Geologia* 36: 109ss.
- MOTYKA J., 1998 — A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland. *Hydrogeol. J.* **6**: 469–482.
- MOTYKA J., WILK Z., 1976 — Pionowe zró nicowanie wodopruszczalno ci w glanowych skał triasowych w wietle statystycznej analizy wyników próbnych pompowa (monoklina l sko-krakowska). *Kwart. Geol.*, **20**, 2: 381–399.
- PIECHURSKI F., 1997 — Wykorzystanie diagnostyki sieci wodoci gowej rozdzielczej dla zmniejszenia strat wody. W: *Rola GPW w systemie zaopatrzenia w wod dzi i jutro*. Mat. Konf.,: 83–102. Ustro
- RÓ KOWSKIA A. (red.), 1990 — *Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych monokliny l sko-krakowskiej i problemy ich ochrony*. Publ. CPBP 04.10. z. 57. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.

-
- RÓŃKOWSKI A., WILK Z. (red.), 1980 — Warunki hydrogeologiczne złórud cynku i ołowiu regionu lisko-krakowskiego. *Pr. Inst. Geol.*: **310**.
- RUBIN H., 1997 — Anomalie hydrochemiczne w wodach podziemnych w rejonie składowisk Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 8: 251–254. Wyd. WIND, Wrocław.
- RUBIN K., KOWALCZYK A., RUBIN H., 1997 — Badania modelowe dla określenia warunków kręcenia wód podziemnych oraz chemizm i jakośwód serii w gólanowej triasu w rejonie Tarnowskich Gór. *Arch. ZBU „Intergeo”*, Sosnowiec.
- RUBIN K., RUBIN H., KOWALCZYK A., 1999 — Zagroenie jako ci wód podziemnych serii w gólanowej triasu w rejonie Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 9 *Hydrogeologia na przełomie wieków: 323–328*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- STANIEWICZ-DUBOIS H., 1995 — Wskazówki metodyczne dotycz ce tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych. Wyd. II zmienione. Biblioteka Monitoringu środowiska PIO, Warszawa.
- WITKOWSKI A., KOWALCZYK A., BARDZISKI W., IDZIAK A., 1996 — Badania struktury hydraulicznej szczelinowo-krasowych masywów w gólanowych. Projekt badawczy KBN nr 9 S602 002 06. *Arch. KHiGI U l.*, Sosnowiec.