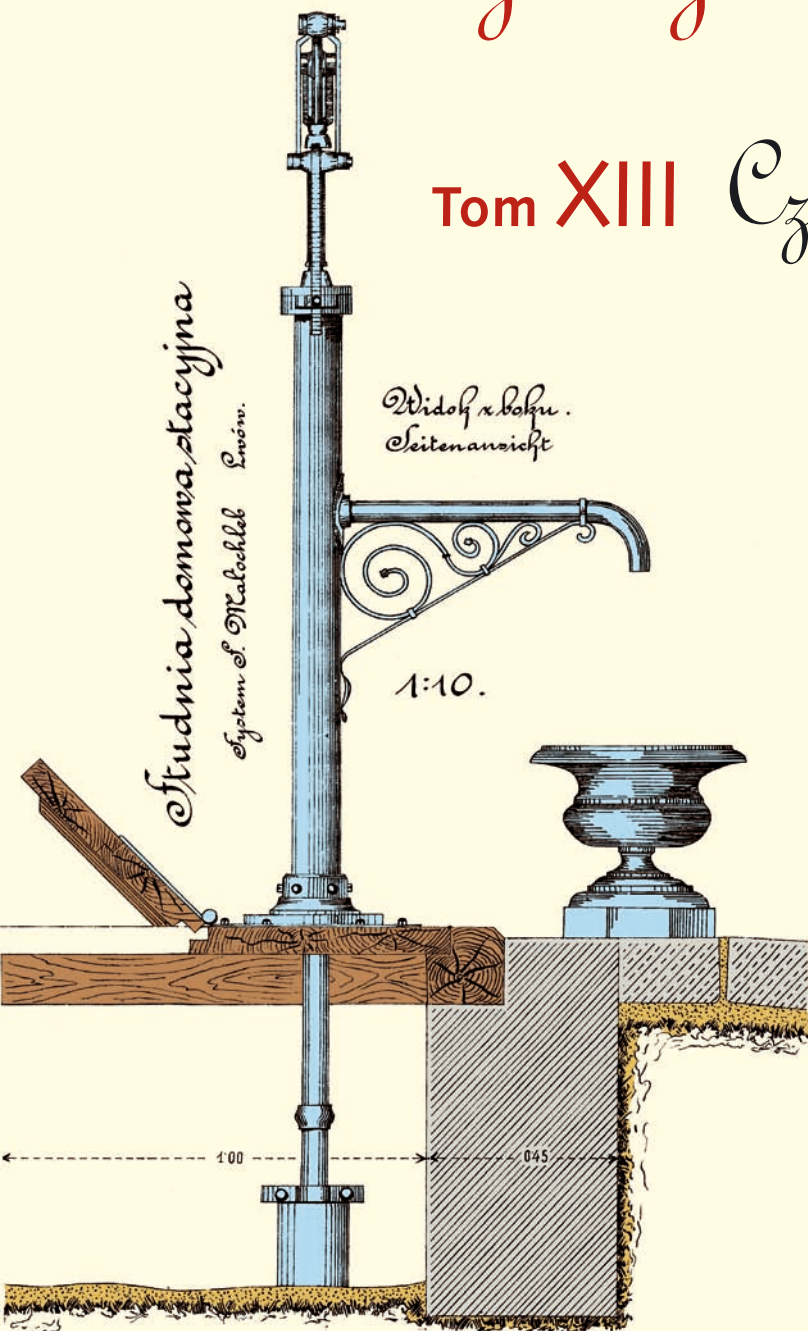


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska  
Wojciech Ciężkowski  
Józef Górski  
Andrzej Kowalczyk  
Ewa Krogulec  
Grzegorz Malina  
Jerzy Małecki  
Marek Marciniak  
Jacek Motyka  
Marek Nawalany  
Jan Przybyłek  
Andrzej Rózkowski  
Andrzej Sadurski  
Andrzej Szczepański  
Stanisław Staško  
Stanisław Witczak  
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku  
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ : pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, [www.pretext.com.pl](http://www.pretext.com.pl)

Druk: ROMA-POL, [www.romapol.pl](http://www.romapol.pl)

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Mariusz Mądrala

**Przyczyny i zakres spadku wydajności  
jednostkowych studni w warunkach  
intensywnej eksploatacji na przykładzie ujęcia  
Serby dla miasta Głogowa**

**Changes of Specific Capacity as a Result of  
Overexploitation at "Serby" Water Intake Nearby  
Town of Głogów**

**Słowa kluczowe** ujęcia wód, zmiany wydajności jednostkowych studni, jakość wód

**Key words** water intake, specific capacity, water quality

**Abstract** The general purpose of the research was analysed of specific capacity changes as a result of overexploitation at the water intake in river valley. Sediments of river valley is characterized considerable spatial diversity and susceptibility on hydrogeochemical transformation. Starting of exploitation on "Serby" water intake caused unprofitable hydrogeochemical processes. The quantities of specific capacity in correlation to the changes of chemical properties and wells discharges on "Serby" water intake from 1981 to 2006 year were investigated.

## 1. Wstęp

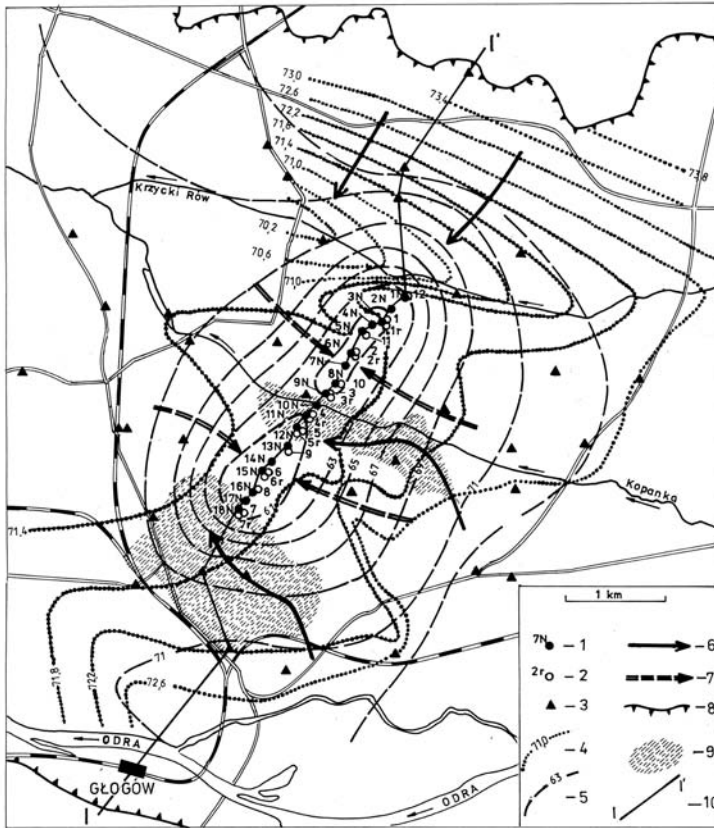
Struktury wodonośne dolin i pradolin rzecznych stanowią zasobne zbiorniki wód podziemnych. Eksploatacja wód podziemnych na ich obszarze prowadzi często do niekorzystnych zmian jakości wód oraz szybkiego spadku sprawności studni (Byczyński i in., 1972; Błaszyk T., Górski J., 1978, 1979; Górski, 1981). Spowodowane jest to dużą zmiennością środowiska hydrogeochemicznego oraz brakiem optymalizacji poboru wód. Wskutek działania powyższych czynników na ujęciach, gdzie przekroczone zostały wydajności eksploatacyjne studni traci się często bezpowrotnie możliwość odbudowania ich sprawności oraz ograniczenia niekorzystnych przemian hydrogeochemicznych.

W latach 1974-1978 ujęcie „Serby” składało się z bariery siedmiu studni (1r-7r) zlokalizowanych poprzecznie do osi pradoliny Odry (Morasiewicz, 1969; Morasiewicz, Sawicki, 1972) (rys. 1). Ze względu na szybki spadek wydajności jednostkowych studni, w latach 1978-1979, wykonano 12 studni zastępczych, stopniowo wyłączając najwcześniej odwiercone. Na początku lat 90. studnie te zastępowano kolejną generacją otworów (1a-12a), powiększając jednocześnie barierę ujęcia o kolejnych 6 studni. W roku 1998 zmieniono numerację studni, wprowadzając oznaczenia od 1N do 18N.

## 2. Warunki hydrogeologiczne

Użytkową warstwę wodonośną na ujęciu „Serby” tworzą plejstocenijskie piaski i żwiry pradoliny Odry podścielone słabo przepuszczalnymi osadami miocenu (rys. 2). Lokalnie utwory wodonośne przykryte są madami wykształconymi w postaci glin piaszczystych i pyłastych. Miąższość utworów wodonośnych w dolinie Odry osiąga 50-60 m, a współczynnik filtracji wynosi 9-30 m/d. Głębokość zafiltrowania studni obejmowała odcinek od około dwudziestu do około czterdziestu kilku metrów.

W warunkach naturalnych zwierciadło wód podziemnych w rejonie ujęcia „Serby” występowało na głębokości 0,4-1,6 m od powierzchni terenu. Główne źródło zasilania pradoliny barycko-głogowskiej stanowi Odra wypływająca z odcinka przelomowego w rejonie wzgórz Dalkowskich. Wielkość infiltracji subaeralnej jest ograniczona ze względu na występowanie w strefie przypowierzchniowej osadów słabo przepuszczalnych typu mad i namulów. Naturalny odpływ wód podziemnych plejstocenijskiego poziomu wodonośnego odbywał się równoległe do osi pradoliny nie wykazując związku z wodami powierzchniowymi (rys. 1). Jedynie w północnej części ujęcia zaznaczał się niewielki drenaż wód z przypowierzchniowej warstwy wodonośnej do Krzyckiego Rowu. Z chwilą uruchomienia eksploatacji na ujęciu „Serby” wytworzył się lej depresji od południa oparty na Odrze. Powoduje to bezpośrednie zasilanie utworów wodonośnych z rzeki, szczególnie w okresie wysokich stanów wód. Od północy ujęcie zasilane jest od strony wysoczyzny morenowej. Aktualną mapę powierzchni piezometrycznej zwierciadła wód podziemnych w rejonie ujęcia „Serby” przedstawiono na rysunku 1.

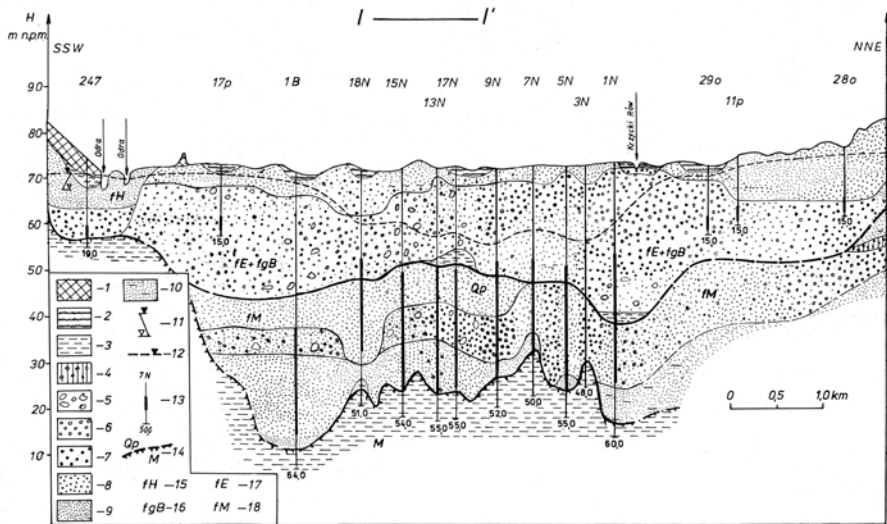


**Rysunek 1.** Mapa powierzchni piezometrycznej warstwy wodonośnej w rejonie ujęcia „Serby”

Objaśnienia: 1, 2 - studnie; 3 - piezometry; 4 - hydroizohipsy (1972); 5 - hydroizohipsy (2004); 6, 7 - linie prądu; 8 - krawędź wysoczyzny morenowej; 9 - osady organiczne; 10 - linia przekroju

**Figure 1.** Map of piezometric surface on the „Serby” water intake

Explanation: 1, 2 - well; 3 - piezometer; 4 - hydroisohypse (1972); 5 - hydroisohypse (2004); 6, 7 - flow line; 8 - edge of the moraine upland; 9 - organic sediments; 10 - cross-section line



**Rysunek 2.** Przekrój hydrogeologiczny przez ujęcie „Serby”

Objaśnienia: 1 - nasyp; 2 - mady i namuły; 3 - ility; 4 - gliny zwałowe; 5 - otoczaki; 6 - żwiry; 7 - piaski drobne; 8 - piaski średnie; 9 - piaski grube; 10 - piaski pylaste; 11, 12 - zwierciadło wody; 13 - studnie; 14 - granica plejstocen-miocen; 15 - utwory holocenu; 16 - utwory fluwioglacjalne zlodowacenia bałtyckiego; 17 - utwory fluwialne interglacjału eemskiego; 18 - utwory fluwialne interglacjału mazowieckiego

**Figure 2.** Hydrogeological cross-section on the „Serby” water intake.

*Explanation: 1 - artificial deposits; 2 - organic sediments; 3 - silt; 4 - pebbles; 6 - gravels; 7 - fine sands; 8 - medium sands; 9 - coarse sands; 10 - sands with silt; 11, 12 - groundwater level; 13 - wells; 14 - pleistocene-miocene boundary; 15 - holocene sediments; 16 - fluvioglacial sediments; 17, 18 - fluvial sediments*

### 3. Środowisko hydrogeochemiczne

W środowisku hydrogeochemicznym pradoliny Odry w rejonie Głogowa zaznacza się wyraźna strefowość związana z występowaniem w strefie przypowierzchniowej utworów typu mady i namułów zawierających znaczne ilości substancji organicznej, żelaza i manganu. Wody podziemne pradoliny w okresie poprzedzającym uruchomienie eksploatacji na ujęciu „Serby” reprezentowały typ wodorowęglanowo-wapniowy o słabo zasadowym lub zasadowym odczynie (Błaszcyk i in., 1973). W strefie południowej,

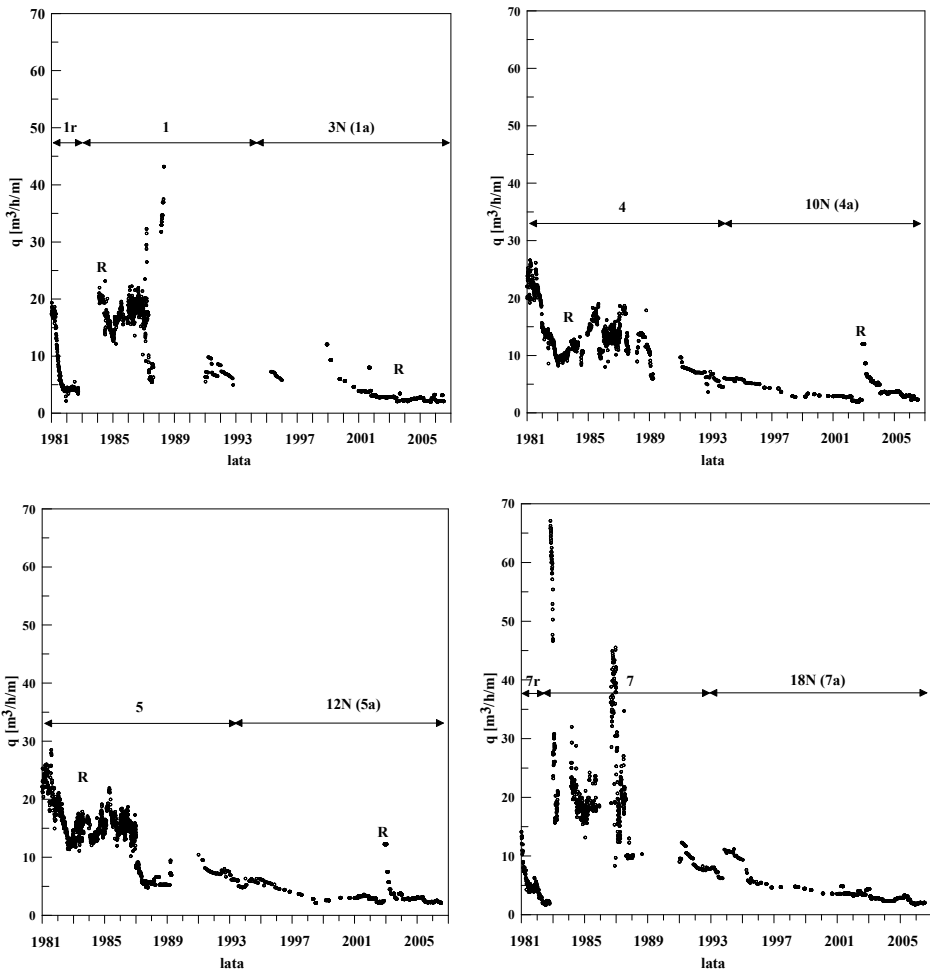
charakteryzującej się zwiększonym udziałem osadów organicznych sucha pozostałość rzadko przekraczała  $300 \text{ mg/dm}^3$ , a udział jonu wodorowęglanowego w ogólnej mineralizacji wody ulegał wyraźnemu zmniejszeniu. W rejonie północnym sucha pozostałość przekraczała  $400 \text{ mg/dm}^3$  natomiast zawartość jonu  $\text{HCO}_3^-$  wzrastała. Wody podziemne charakteryzowały się znacznymi stężeniami żelaza i manganu i niewielką zawartością siarczanów. Stężenia żelaza ogólnego wahały się  $0,2\text{-}12 \text{ mg/dm}^3$ , przy czym wyraźnie dominował jon  $\text{Fe}^{2+}$  nad jonami  $\text{Fe}^{3+}$ , natomiast zawartości manganu osiągały wartości  $0,05\text{-}4 \text{ mg/dm}^3$ . Stężenia żelaza i manganu w wodach podziemnych wykazywały wyraźnie zróżnicowane przestrzenne i pionową strefowość. Wyższe stężenia żelaza i manganu obserwowano jedynie w górnej części warstwy wodonośnej do głębokości  $10 \text{ m}$  co było związane z występowaniem osadów organicznych typu mad i namulów.

Aktualnie mineralizacja wód podziemnych na ujęciu „Serby” zmienia się w granicach od  $240$  do  $730 \text{ mg/dm}^3$ , przy czym wyższe wartości obserwowane są w części południowej. W składzie jonowym wód dominuje typ  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$  lub  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ . W studniach 1N, 2N i 3N zaobserwowano warunki utleniające wyrażające się potencjałem redoks od  $364$  do  $626 \text{ mV}$ . Wody w tych studniach charakteryzują się słabo zasadowym odczynem oraz stężeniami siarczanów poniżej  $100 \text{ mg/dm}^3$ . W pozostałych studniach ujęcia potencjał redoks zmienia się w przedziale  $79\text{-}202 \text{ mV}$ , co świadczy o środowisku przejściowym między warunkami utleniającymi i redukcijnymi. W środowisku tym odczyn wód jest słabo kwaśny, a stężenia siarczanów wahają się od  $100$  do  $260 \text{ mg/dm}^3$ . Stężenia żelaza ogólnego w wodach studni ujęcia „Serby” wykazują znaczną zmienność  $1,9\text{-}45,9 \text{ mg/dm}^3$ .

#### 4. Zmiany wydajności jednostkowych w warunkach intensywnej eksploatacji

Analizie poddano zmiany wydajności jednostkowych wybranych studni ujęcia „Serby” w okresie od 1981 do 2006 (rys. 3). Studnie 12N i 18N reprezentują południową część bariery ujęcia charakteryzującej się występowaniem przypowierzchniowych utworów organicznych typu mad i namulów (rys. 1).

Eksploatacja ujęcia „Serby” w początkowym okresie cechuje się szybkim i bardzo znacznym spadkiem sprawności studni 1r-7r (rys. 3). Pomimo prognozy zmian jakości wód sporządzonej w 1973 roku (Błaszyk i in., 1973) nie podjęto próby optymalizacji wydajności studni przez ograniczenie depresji w studniach położonych w niekorzystnym środowisku hydrogeochemicznym. Spowodowało to konieczność wykonania studni zastępczych na przełomie lat 70. i 80. W latach 90. pracę ujęcia charakteryzowało przeeksploatowanie, co przejawiało się w znacznym przekraczaniu wydajności eksploatacyjnych studni, doprowadzając ponownie do spadku wydajności jednostkowych. W okresie tym nie prowadzono pomiarów depresji eksploatacyjnej uniemożliwiając odtworzenie wydajności jednostkowych studni. W studniach 1 (3N), 4 (10N) i 5 (12N) konieczne było wykonanie renowacji już w 2-3 lata po ich uruchomieniu. W ciągu dalszej eksploatacji sytuacja nie uległa poprawie i od końca lat 80. obserwujemy powolny i systematyczny spadek



Rysunek 3. Przebieg zmian wydajności jednostkowej studni na ujęciu „Serby”

Objaśnienia: R - renowacja studni

Figure 3. Changes of specific capacity on the „Serby” water intake

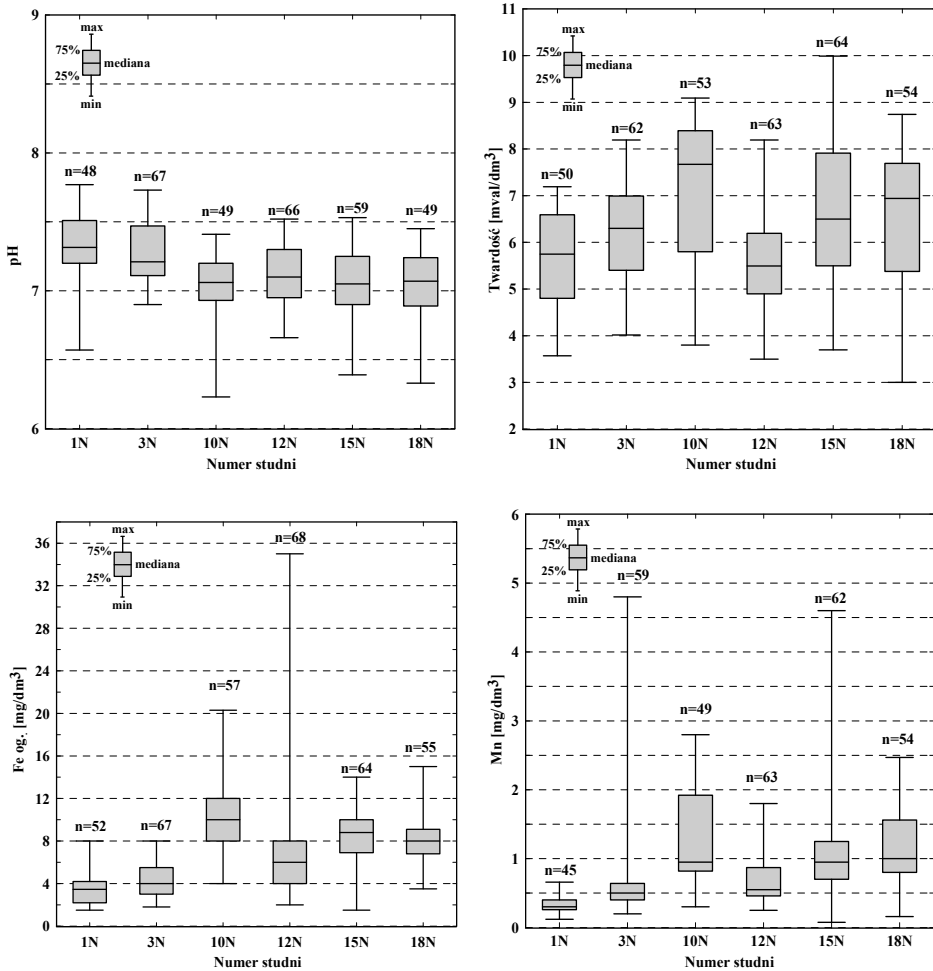
Explanation: R - well renovation

wydajności jednostkowych. Najwolniejszy spadek wydajności jednostkowych wykazuje studnia 3N, położona w części północnej bariery ujęcia. Próby odbudowania sprawności



studni poprzez renowacje przeprowadzone w 2003 roku przyniosły jedynie chwilową poprawę.

Analizując wielkość i tempo zmian wydajności jednostkowych na ujęciu „Serby” należy zauważyć ich bezpośredni związek z przeobrażeniami środowiska hydrogeochemicznego, prowadzącymi do kolmatowania strefy przyotworowej oraz filtrów studni



**Rysunek 4.** Parametry statystyczne właściwości fizykochemicznych wód podziemnych na ujęciu „Serby” w latach 1985-2006

**Figure 4.** Statistical parameters of groundwater chemical properties on the „Serby” water intake in period 1985-2006

eksploatacyjnych. W części południowej ujęcia (studnie 18N, 15N, 12N, 10N) rozwijający się lej depresji ujęcia spowodował utlenianie substancji organicznej w osadach przypowierzchniowych wywołując obniżenie pH oraz wzrost stężeń żelaza, manganu i siarczanów (rys. 4).

Zwiększenie zawartości siarczanów przełożyło się również na wzrost twardości wody. Wzrost potencjału Eh przy jednoczesnym obniżeniu pH spowodowało zwiększenie ruchliwości żelaza, które w formie wodorotlenków, hydroksytlenków bądź kompleksów organicznych jonów  $Fe^{3+}$  migrowało do warstwy wodonośnej. W części północnej bariery (studnie 1N, 3N), gdzie środowisko hydrogeochemicznie wykazywało naturalnie utlenienie, wielkość i tempo przemian jakości wód było zdecydowanie mniejsze. Powodem tego był brak słabo przepuszczalnych osadów organicznych oraz zasilanie warstwy wodonośnej dobrze natlenionymi wodami wysoczyzny morenowej. W tej części bariery proces rozkładu substancji organicznej jest już zakończony a zachodzi się jedynie proces wymywania żelaza do warstwy wodonośnej. W części południowej w dalszym ciągu trwa utlenianie substancji organicznej co sprawia, że będą tam utrzymywać wysokie stężenia żelaza w eksploatowanych wodach. Proces wymywania żelaza z warstwy wodonośnej jest bardzo powolny i długotrwały ze względu na stosunkowo powolny proces krystalizacji koloidalnych form żelaza. Obliczone wskaźniki aktywności żelaza wolnego do aktywnego ( $Fe_{wol}/Fe_{akt}$ ), które określają stopień krystalizacji (starzenia się) związków żelaza niekrzemianowego, osiągają wysokie wartości od 1,05 do 2,56. Sytuacja ta sprawia, że w części północnej bariery, proces kolmatowania strefy przyotworowej będzie rozłożony w czasie co spowolni spadek wydajności jednostkowych i poprawi sprawności studni.

## 5. Wnioski

- 1) Przyczyną zmian wydajności jednostkowych studni na ujęciu „Serby” jest kolmatacja chemiczna. Proces utleniania substancji organicznej prowadzi do obniżenia pH i przesunięcia równowagi redox w kierunku środowiska utleniającego co wywołuje wzrost stężeń żelaza.
- 2) Niekorzystne przeobrażenia środowiska hydrogeochemicznego oraz przeeksploatowanie studni spowodowały, że spadki wydajności jednostkowych są szybkie i długotrwałe. Wykonywane renowacje nie przywracają wysokiej sprawności studni.
- 3) Przestrzenne zróżnicowanie występowania mad i namulów spowodowało odmienny przebieg przeobrażeń środowiska hydrogeochemicznego w południowej i północnej części bariery. W części północnej bariery proces rozkładu substancji organicznej jest już zakończony a zachodzi się jedynie proces wymywania żelaza do warstwy wodonośnej.
- 4) Proces wymywania żelaza z warstwy wodonośnej jest bardzo powolny i długotrwały. W części północnej bariery, proces kolmatowania strefy przyotworowej będzie rozłożony w czasie co spowolni spadek wydajności jednostkowych i poprawi sprawności studni.

## Literatura

- Błaszyk T., Górski J., Kubisz-Theuss E., 1973: *Rozpoznanie chemizmu wraz z prognozą jakości wody na ujęciu Serby k. Głogowa*. Poznań. Instytut Kształtowania Środowiska. Praca niepublikowana.
- Błaszyk T., Górski J., 1978: *Zmiany jakości wód podziemnych w warunkach intensywnej eksploatacji*. IKŚ, Warszawa
- Błaszyk T., Górski J., 1979: *Dokumentowanie i prognozowanie zmian jakości wody na ujęciach zagrożonych przeobrażeniami środowisk hydrogeochemicznych*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Byczyński H., Kubisz E., Ratajczak W., 1972: *Badania jakościowe dla ustalenia przyczyn i wielkości zanieczyszczeń wód podziemnych w rejonie Zawada*. IKŚ, Poznań. Praca niepublikowana.
- Górski J., 1981: *Kształtowanie się jakości wód podziemnych utworów czwartorzędowych w warunkach naturalnych oraz wymuszonych eksploatacją*. IKŚ, Warszawa.
- Morasiewicz J., 1969: *Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych w utworach czwartorzędowych z projektem badań dla wodociągów miejskich m. Głogowa*. Wrocław. Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne. Praca niepublikowana.
- Morasiewicz J., Sawicki J., 1972 *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych Serby k/Głogowa*. Wrocław. Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne. Praca niepublikowana.

*Prezentowane w artykule wyniki badań zostały częściowo sfinansowane ze środków projektu badawczego KBN nr 5 T12B 048 23.*