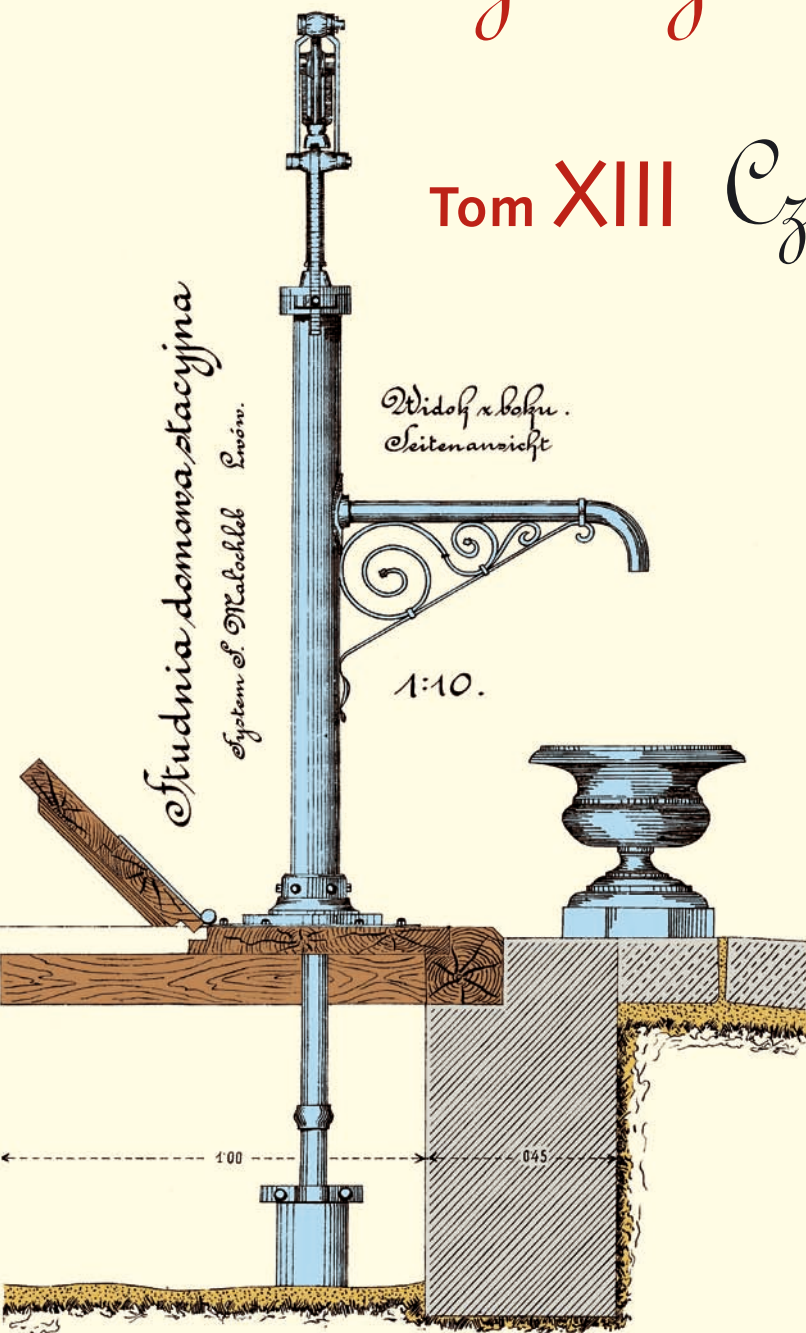


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





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

Ewa Kmiecik, Jadwiga Szczepańska,  
Monika Szczygieł, Klaudia Cebo

## **Metodyka oceny czasowych trendów zmian jakości wód podziemnych**

### **Methodology of Estimation of Trends in Groundwater Quality Changes**

**Słowa kluczowe**

wody podziemne z utworów jurajskich, trendy zmian jakości wód w czasie, Ramowa Dyrektywa Wodna, GWStat

**Key words**

groundwater of Jurassic formation, trends of water quality changes in time, Water Framework Directive, GWStat

**Abstract**

The estimation of trends of water quality changes in time is essential in context of current requirements formulated in Water Framework Directive and DWP. The methodology of trends estimation using the GWStat software (Grath et al., 2001), based on the results of the investigations that have been conducted since 1998 by the AGH-UST Hydrogeology and Geology Engineering Department in the Królewski Spring in Kraków is presented in this work. The results of iron determination were analysed in detail.

## Wstęp

Jednym z wymogów zawartych w Ramowej Dyrektywie Wodnej (2000) jest identyfikacja znaczących i utrzymujących się trendów zmian jakości wód w czasie: „Państwa Członkowskie wykorzystują dane otrzymane zarówno z monitoringu diagnostycznego, jak i operacyjnego, do identyfikacji spowodowanych działalnością antropogeniczną wieloletnich trendów wzrostu zanieczyszczeń oraz odwrócenia tych trendów” (p. 2.4.4, zał. V).

Dyrektywa w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (DWP, 2006) uzupełnia informacje zawarte w RDW o kryteria służące identyfikacji znaczących i utrzymujących się trendów wzrostu stężeń zanieczyszczeń oraz ich odwrócenia.

Pod pojęciem „znaczący i utrzymujący się trend wzrostowy” należy rozumieć każdy statystycznie i pod względem środowiskowym istotny wzrost stężenia zanieczyszczeń, grupy zanieczyszczeń lub wskaźnika zanieczyszczeń w wodach podziemnych, w związku z którym stwierdzono konieczność odwrócenia trendu zgodnie z art. 5 DWP (DWP, 2006).

Państwa członkowskie powinny zidentyfikować znaczące i utrzymujące się trendy rosnące we wszystkich częściach wód podziemnych lub grupach części wód uznanych za zagrożone (DWP, 2006; zał. IV). Powinny także dążyć do odwrócenia istotnego trendu rosnącego. Jako punkt początkowy odwrócenia trendu przyjmuje się stężenie analizowanego wskaźnika zanieczyszczającego równe 75% wartości granicznej danego parametru (standardu jakości wód podziemnych – *groundwater quality standard* lub wartości progowej – *threshold value*).

Według RDW (2000) i DWP (2006) ocena trendów dla części wód podziemnych powinna się opierać na wartościach średnich wskaźników z poszczególnych punktów monitoringowych dla każdej części wód podziemnych lub dla zagregowanych części wód podziemnych.

W ramach projektu WFD-GW (Grath et al., 2001) określono wytyczne do oceny trendów zmian jakości wód podziemnych zgodnie z RDW (2000) i DWP (2006). Powstał także program GWStat, wykorzystany w dalszej części niniejszej pracy (program ten, razem z pełnym raportem z ww. projektu dostępny jest na stronie [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net) (Grath et al., 2001)). Zaimplementowany w programie algorytm oceny trendów jest odporny na występowanie w zbiorze obserwacji odstających.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono minimalną liczbę pomiarów konieczną do identyfikacji trendu oraz odwrócenia trendu.

**Tabela 1.** Liczba pomiarów do oceny trendu monotonicznego (za Grath i in., 2001)

**Table 1.** Number of measurements for the estimation of the monotonic trend (Grath et al., 2001)

Częstotliwość prowadzenia badań monitoringowych	Minimalna liczba lat w serii	Maksymalna liczba lat w serii	Minimalna liczba pomiarów
1 raz na rok	8	15	8
2 razy do roku	5	15	10
4 razy do roku	5	15	15

**Tabela 2.** Liczba pomiarów do identyfikacji odwrócenia trendu (Grath et al., 2001)  
**Table 2.** Number of measurements for the identification of the reversal trend (Grath et al., 2001)

Częstotliwość prowadzenia badań monitoringowych	Minimalna liczba lat w serii	Maksymalna liczba lat w serii	Minimalna liczba pomiarów
1 raz na rok	14	30	14
2 razy do roku	10	30	18
4 razy do roku	10	30	30

Agregacji wyników dokonuje się dla każdego punktu monitoringowego, obliczając wartości średnie dla przedziałów czasowych (Grath et al., 2001).

Metodyka oceny trendów zmian jakości wód w czasie z wykorzystaniem programu GWStat zostanie przedstawiona w oparciu o wyniki badań prowadzonych od 1998 roku przez ZHGI AGH w Zdroju Królewskim w Krakowie, ujmującym wody podziemne w utworach jurajskich. Szczegółowej analizie poddane zostaną wyniki oznaczeń żelaza.

## Charakterystyka obiektu badań

Pod koniec lat osiemdziesiątych, w związku z koncepcją budowy metra w Krakowie wykonano szereg wierceń, mających na celu rozpoznanie budowy geologicznej podłoża, a także warunków hydrogeologicznych i geotechnicznych. W większości wykonanych otworów osiągnięto stropowe warstwy jury górnej, natomiast w kilku z nich nawiercono zawodnione wapienie. Uzyskane wyniki spowodowały podjęcie decyzji o wykonaniu kolejnych wierceń, mających na celu realizację ujęć wody z utworów jurajskich zdolnej do picia. Na skutek tych działań i w wyniku inicjatywy Urzędu Wojewódzkiego w latach 1990–1993 oddano do użytkowania pięć źródeł ulicznych, z których mieszkańcy Krakowa czerpią wodę pitną wypływającą pod naturalnym ciśnieniem.

Wiek tych wód określa się na ok. 10 000 lat (Motyka, Zuber, 1992). Okresem zasilania dla wód ujmowanych w źródłach jest koniec ostatniego zlodowacenia. Stwierdzono, że podatność tych wód na zanieczyszczenia antropogeniczne jest niska, lecz jednocześnie ich zasoby są dość małe, a ich odnawialność jest słaba (Kleczkowski, 1994).

Wody tych źródeł pochodzą z tego samego poziomu wodonośnego, a odległości pomiędzy źródłami są niewielkie, jednak mają zróżnicowany skład chemiczny. Wiąże się to z faktem, iż wody eksploatowane są z izolowanych bloków tektonicznych (Kleczkowski i in., 1994; Myszką, Gołda, 2003).

Jako pierwszy przekazano do użytkowania źródło Nadzieja znajdujący się przy ulicy Podchorążych, następnie źródło Królewski przy ulicy Królewskiej, w Parku Krakowskim. Później powstały źródła Lajkonik przy ulicy Kościuszki koło Mostu Dębnickiego, Jagielloński przy Placu Generała Sikorskiego oraz źródło Dobrego Pasterza przy ulicy Majora (Kleczkowski, 2000).

Podstawowe parametry źródła Królewskiego zestawione są w tabeli 3.

**Tabela 3.** Charakterystyka źródła Królewskiego (Myszka, Gołda, 2003)  
**Table 3.** Characteristics of the Królewski Spring (Myszka, Gołda, 2003)

Nr otworu	OS-3
Nazwa źródła czerpalnego	Królewski
Głębokość otworu [m] p.p.t.	85,0
Głębokość nawierconego zwierciadła wody [m] p.p.t.	66,5
Rzędne: terenu/ustalonego zwierciadła wody [m] n.p.m.	206,0 / 224,0
Wydajność samowypływu [m <sup>3</sup> /h]	1,533
Data oddania do użytkowania	5.12.1991

Wody ze źródła Królewskiego są akratopegami. Są one uznane za bezpieczne dla zdrowia zarówno pod względem chemicznym, jak i bakteriologicznym. Ze względu na publiczny charakter ujęcia, jego jakość jest kontrolowana raz na kwartał przez stację sanitarno-epidemiologiczną. Gromadzeniem i analizą wyników badań zajmują się służby ochrony środowiska Wojewody Małopolskiego.

Praktycznie od początku eksploatacji wyniki badań świadczyły o braku stabilności pewnych składników wód źródeł. Głównymi parametrami, które ulegały zmienności były zawartość Fe i mętność. Względnie stałymi parametrami są natomiast czystość bakteriologiczna, stosunek Ca:Mg, zawartość mikroelementów, nieznaczna ilość lub nieobecność Zn, Mn, azotanów i azotynów, mineralizacja w granicach 0,7–0,9 g/L, a także, świadczące o znacznej agresywności wody zawartości wolnego CO<sub>2</sub>, amoniaku, siarkowodoru i wysokie stężenia siarczanów (200–350 mg/L). Stałość wymienionych parametrów jest niewątpliwie zaletą wód zdrojowych. Znikoma obecność związków azotu świadczy o braku niekorzystnych wpływów zewnętrznych (antropogenicznych). Zaletą są także podwyższone zawartości magnezu. Pod tym względem źródło Królewskie ma przewagę nad pozostałymi krakowskimi źródłami. Do pozostałych zalet zaliczają się odpowiadająca optymalnej zawartości fluoru, wysoka twardość oraz temperatura wody, która waha się w granicach 11–12°C. Wody są obojętne, ich pH waha się od 7,2 do 7,8. Ujemną cechą tych wód jest duża zawartość siarkowodoru, który powoduje ich nieprzyjemny zapach. Gaz ten jednak ulatnia się dość szybko (Myszka, Gołda, 2003).

## Metodyka badań

Badania wód ze źródła Królewskiego w Krakowie prowadzone są przez Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH od 1998 roku. Próbkę pobierane są w odstępach średnio dwutygodniowych, za pomocą kurków czerpalnych. Próbkę wody filtrowane są w terenie za pomocą filtra membranowego o średnicy 0,45 µm, a następnie w krótkim czasie (około 20 minut) dostarczane do laboratorium. W terenie oznaczane są wskaźniki nietrwale (pH, Eh, temperatura, przewodność elektrolityczna właściwa), a pozostałe składniki chemiczne oznaczane są w laboratorium ZHGI metodą ICP-AES (atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie) za pomocą spektrometru PLASMA 40 firmy Perkin Elmer. Granica oznaczalności żelaza tą metodą wynosi 0.01 mg/L (Osmęda-Ernst, 1995).

W okresie od 25.11.1998 do 30.05.2006 pobrano ogółem 156 próbek. Podstawowe statystyki opisowe dla wyników oznaczeń żelaza w tych próbkach zestawione są w tabeli 4.

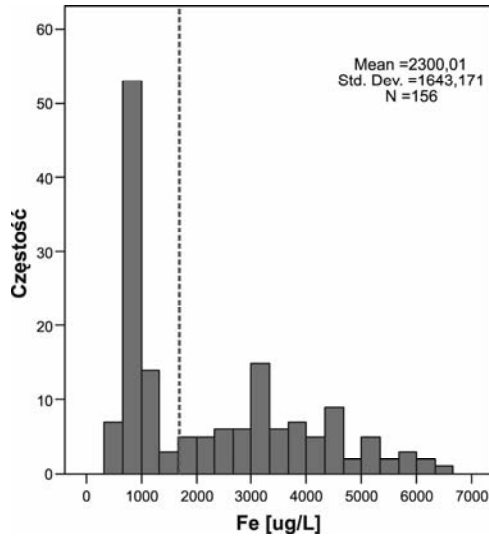
**Tabela 4.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego [ $\mu\text{g/L}$ ]. Podstawowe statystyki opisowe (obliczenia wykonano za pomocą programu SPSS v. 14.0)  
**Table 4.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring [ $\mu\text{g/L}$ ]. Main descriptive statistics (calculations made with use of the SPSS program, version 14.0)

Parametr		Cały zbiór (1998–2006)	I grupa (1998–2002)	II grupa (2002–2006)
Liczba obserwacji, N		156	81	75
Wartość średnia		2300.01	3605.78	889.79
Przedział ufności dla średniej	Górna granica	2559.89	3327.58	832.36
	Dolna granica	2040.13	3883.97	947.21
Mediana		1809.50	3384.00	818.00
Moda		730(a)	3028	730(a)
Odchylenie standardowe		1643.171	1258.123	249.587
Współczynnik zmienności		71.44%	34.89%	28.05%
Wariancja		2700011.56	1582874.35	62293.46
Rozstęp		5885	5783	1650
Minimum		527	629	527
Maksimum		6412	6412	2177
Percentyle	16	769.60	2450.44	727.48
	84	4279.80	5034.36	1017.84

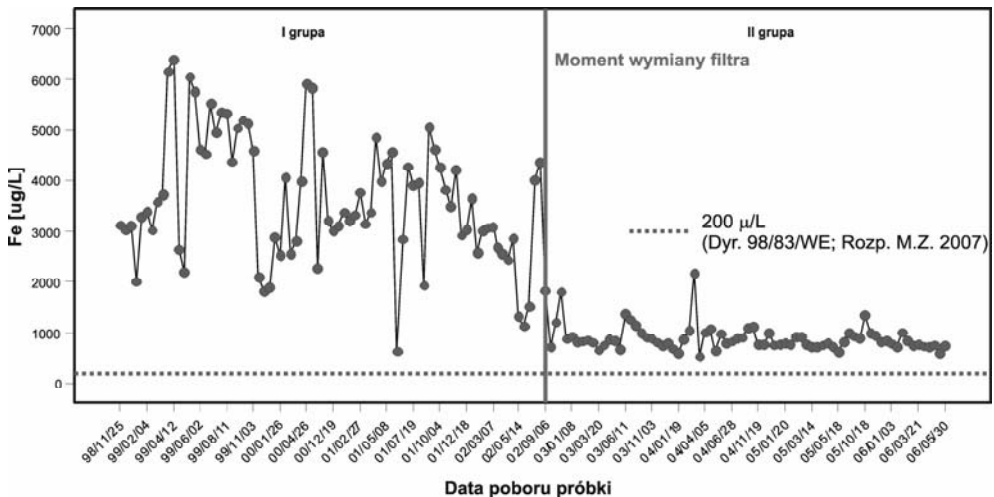
(a) Multiple modes exist. The smallest value is shown

We wszystkich przypadkach obserwowane stężenia przekraczają maksymalne dopuszczalne stężenia żelaza w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi (200  $\mu\text{g/L}$ ), jednak podwyższone zawartości tego wskaźnika są pochodzenia geogenicznego. Ograniczenie stężeń żelaza w wodach pitnych opiera się na przesłankach natury estetycznej, gdyż żelazo nie wykazuje właściwości toksycznych. Przy wyższych stężeniach tego wskaźnika zmieniają się właściwości organoleptyczne wody — żółte zabarwienie i mętnienie (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Analizowany zbiór danych posiada rozkład bimodalny (rys. 1). Na rysunku 2 przedstawiono wyniki oznaczeń stężeń żelaza w analizowanych próbkach w układzie czasowym. Naniesiono także linie referencyjne określające maksymalne dopuszczalne stężenie żelaza w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi, określone w Dyrektywie dla wód pitnych (98/83/EC) oraz rozporządzeniu Ministra Zdrowia (2007).



**Rysunek 1.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego. Histogram rozkładu  
**Figure 1.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring. Histogram of distribution



**Rysunek 2.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego. Wykres przebiegu  
**Figure 2.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring. Sequence plot

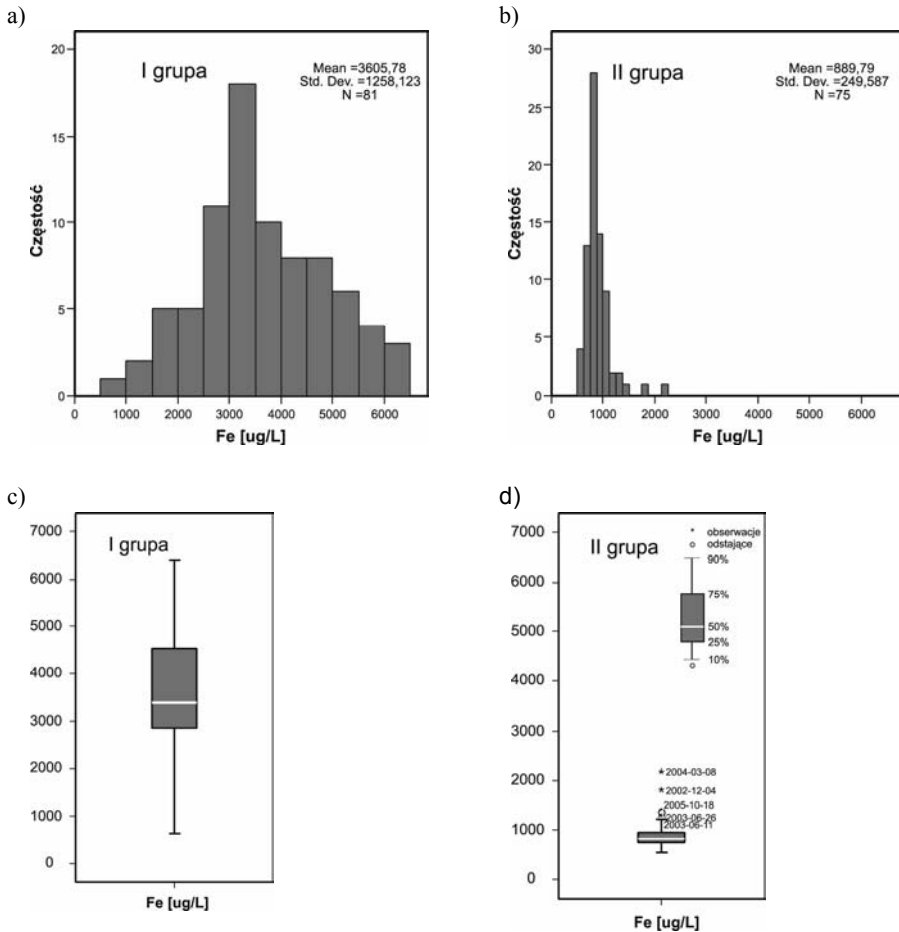
Na wykresie zaznaczają się bardzo wyraźnie dwie grupy wyników:

- grupa I – dane z lat 1998–2002, z wyższymi stężeniami żelaza, na poziomie 3500 µg/L dużą zmiennością wyników i tendencją do zmian okresowych (tab. 4);
- grupa II – dane z lat 2003–2006, z niższymi, w miarę stabilnymi wartościami stężeń żelaza, na poziomie ok. 1000 µg/L (tab. 4).



Na przełomie września i października 2002 roku przeprowadzone zostały prace rekonstrukcyjne, polegające na wymianie filtra i ograniczeniu kontaktu wody z rurami okładzinowymi (Myszka, Gołda, 2003). Wysokie stężenia żelaza w pierwszej grupie mają swoją przyczynę w korozji rur i stalowego filtra, a wahania sezonowe spowodowane były zmianami poboru wody przez mieszkańców. W drugiej grupie wyników widoczne są pojedyncze wartości odstające, ich przyczyną może być zmiana próbkobiorców w trakcie prowadzenia badań (i błędy wynikające np. z niewłaściwej wymiany wody stagnującej w kolumnie). Zagadnienie to zostało szczegółowo opisane w pracy Szczepańskiej i Kmiecik (2005).

Na rysunku 3 porównano wyniki w obu grupach za pomocą histogramów (rys. 3a i b) oraz wykresów skrzynkowych (rys. 3c i d).



**Rysunek 3.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego. Histogram rozkładu:

a) I grupa; b) II grupa; wykresy skrzynkowe: c) I grupa; d) II grupa

**Figure 3.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring. Histogram of distribution:

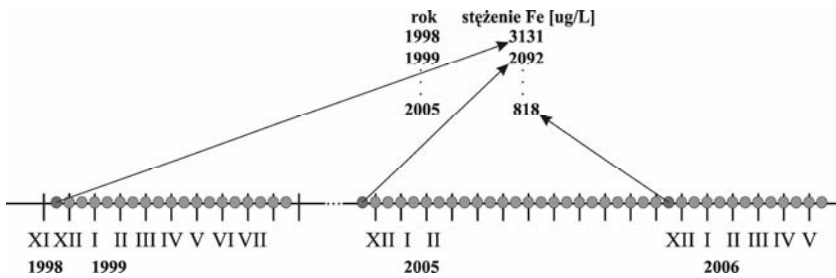
a) group I; b) group II; box plot: c) group I, d) group II

## Ocena trendów zmian stężeń żelaza w wodach ze źródła Królewskiego

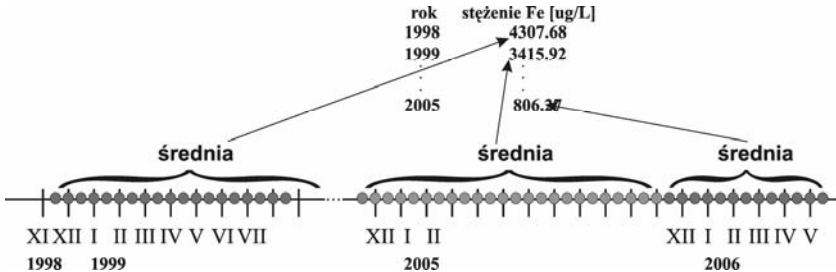
Aby sprawdzić, jaki wpływ na wnioski dotyczące oceny trendów zmian stężeń żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego ma częstotliwość prowadzenia badań, w oparciu o dostępny zbiór danych przygotowano różne warianty szeregów czasowych tych stężeń, zgodnie z wytycznymi dotyczącymi analizy trendów zawartymi w przepisach Unii Europejskiej (RDW 2000; DWP 2006) i przewodniku Grath et al. (2001):

### Częstotliwość prowadzenia badań – 1 raz na rok

- wybrane wyniki oznaczeń (dane z listopada):

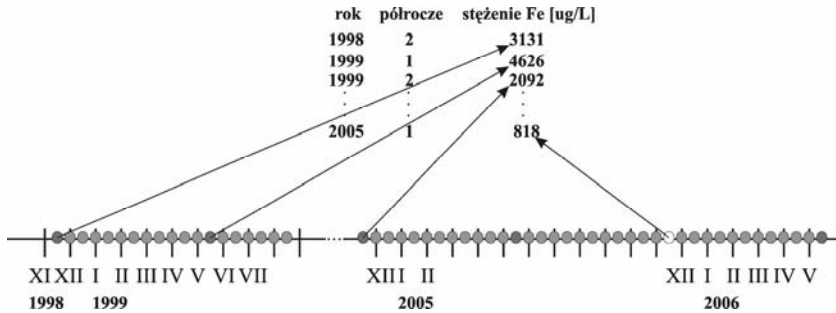


- wyniki oznaczeń zagregowane za pomocą średniej w układzie rocznym (rok hydrologiczny: od początku listopada danego roku, do końca października roku następnego):

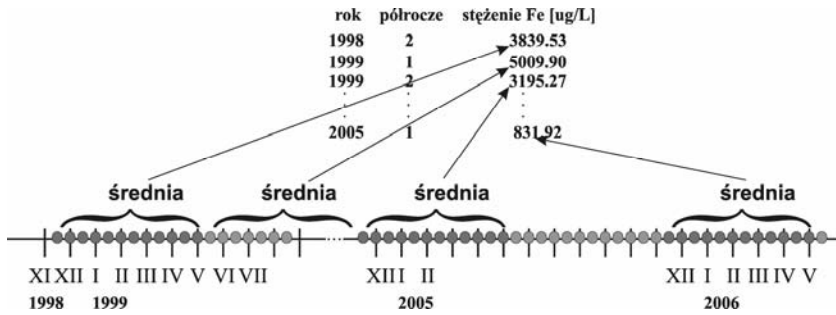


**Częstotliwość prowadzenia badań – 2 razy do roku (półroczne)**

- wybrane wyniki oznaczeń (listopad, maj)

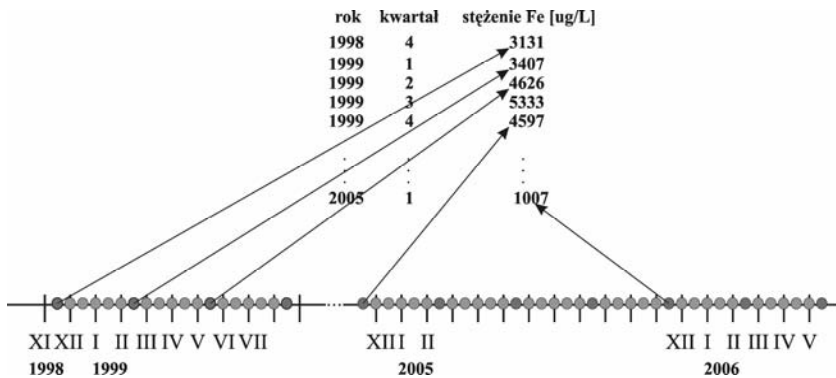


- wyniki oznaczeń zagregowane za pomocą średniej w układzie półrocznym:

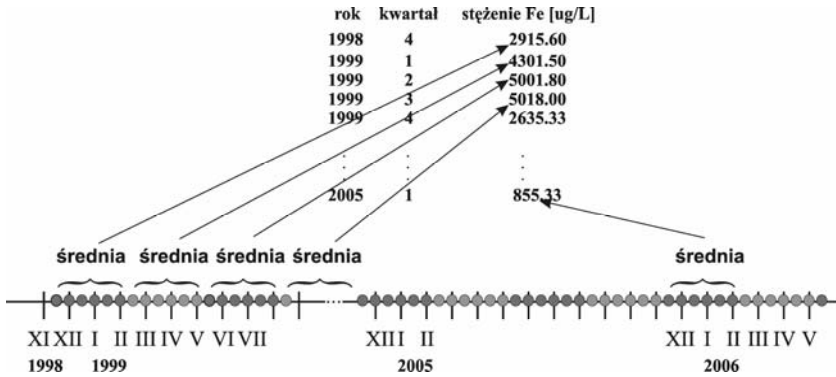


**Częstotliwość prowadzenia badań – 4 razy do roku (kwartalne)**

- wybrane wyniki oznaczeń symulujące szereg czasowy oznaczeń wykonywanych z częstotliwością 1 raz na kwartał (listopad, luty, maj, sierpień):



- wyniki oznaczeń zagregowane dla okresów kwartalnych (za pomocą średniej):



Analizy wykonano za pomocą programu GWStat (szczegółowy opis programu można znaleźć w przewodniku Grath et al. (2001) oraz w podręczniku Szczepańska, Kmiecik, 2005)), przykładowy arkusz z danymi przedstawiono na rysunku 4. Wyniki oceny trendów przedstawione są na rysunkach 5-6.

Data	Year	Fe [ug/L]	Id	D	E	F	G	H	I	J
1	1998.0	3131.0	4.0							
2	1999.0	3407.0	1.0							
3	1999.0	4626.0	2.0							
4	1999.0	5333.0	3.0							
5	1999.0	4597.0	4.0							
6	2000.0	4062.0	1.0							
7	2000.0	5843.0	2.0							
8	2000.0	4057.5	3.0							
9	2000.0	2272.0	4.0							
10	2001.0	3333.0	1.0							
11	2001.0	4337.0	2.0							
12	2001.0	3961.0	3.0							
13	2001.0	4220.0	4.0							
14	2002.0	3015.0	1.0							
15	2002.0	1329.0	2.0							
16	2002.0	1023.5	3.0							

**Rysunek 4.** Program GWStat. Przykład danych do oceny trendów zmian w układzie kwartalnym

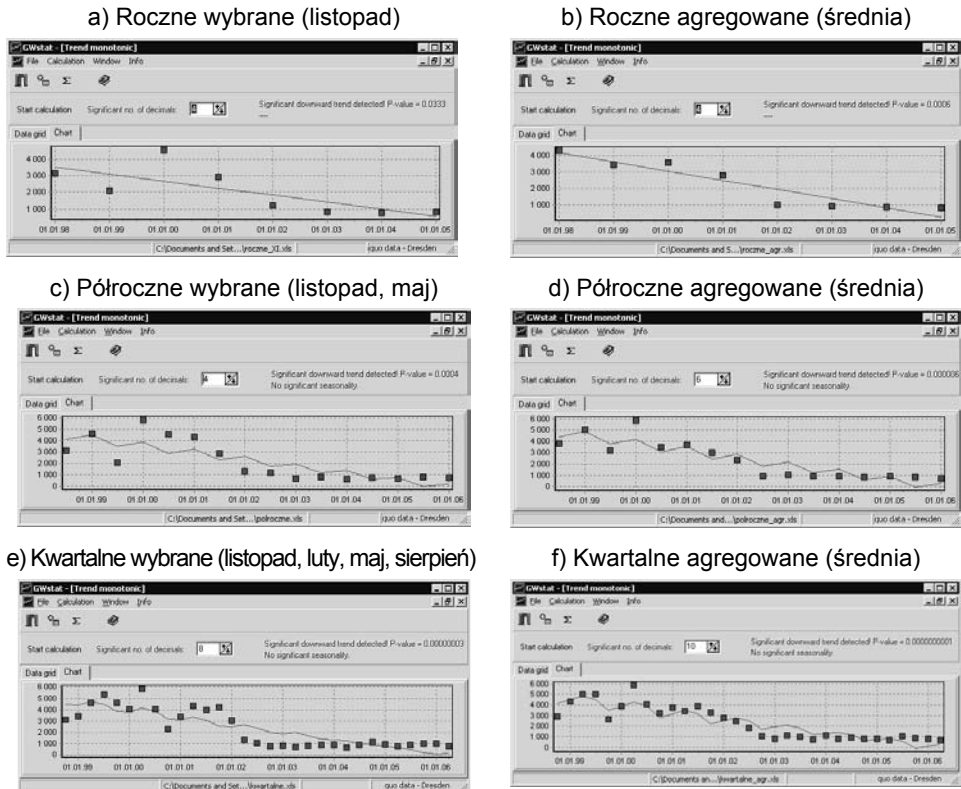
**Figure 4.** GWStat. Example of data for evaluation of quaterly trends

Dla wszystkich wariantów szeregów czasowych stężeń żelaza w wodach ze źródła Królewskiego w układzie rocznym stwierdzono istotny statystycznie trend malejący (*Significant downward trend detected*; rys. 5a, b). Podobnie w przypadku danych zestawianych w układzie półrocznym (rys. 5c, d) i kwartalnym (rys. 5e, f). W tych danych program zidentyfikował także wahania sezonowe, jednak są one nieistotne statystycznie (*No significant seasonality*; rys. 5c-f).

Do dalszej analizy dane podzielono na dwie grupy wydzielone ze względu na moment wymiany filtra (rys. 2) i analizowano je w układzie półrocznym i kwartalnym (nie dysponowano wystarczającą liczbą pomiarów do analizy w układzie rocznym). Wyniki zestawione są na rysunku 6.

Po podziale danych na dwie grupy, dla szeregu czasowego „półrocznego” (rys. 6a, b) w grupie pierwszej nie stwierdzono trendu liniowego ani istotnych statystycznie wahań sezonowych. W grupie II natomiast uzyskano różne wyniki w zależności od sposobu agregacji danych (brak trendu liniowego we wszystkich przypadkach, ale różny układ punktów oraz istotne statystycznie wahania sezonowe dla danych wybieranych oraz nieistotne statystycznie dla danych agregowanych).

Dla szeregu czasowego „kwartalnego” (rys. 6c, d) w grupie pierwszej pojawiają się istotne statystycznie wahania sezonowe (dla danych agregowanych), nie ma trendu liniowego. W grupie II dla danych wybieranych stwierdzono istotny statystycznie trend rosnący i wahania sezonowe. W przypadku danych agregowanych stwierdzono istotny statystycznie trend malejący i nieistotne statystycznie wahania sezonowe.



**Rysunek 5.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego.

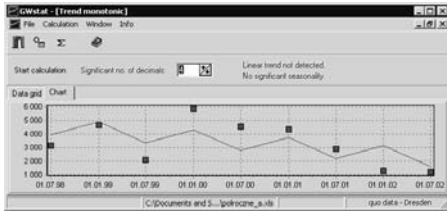
Ocena trendów zmian w układzie czasowym

**Figure 5.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring.

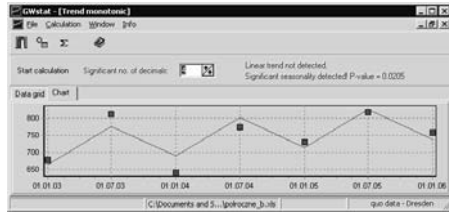
Evaluation of variation trends in time

a) Półroczne wybrane (listopad, maj)

I grupa

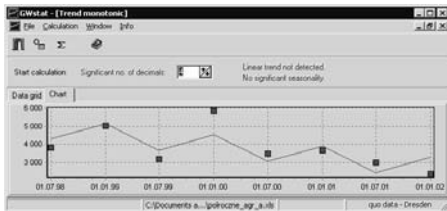


II grupa

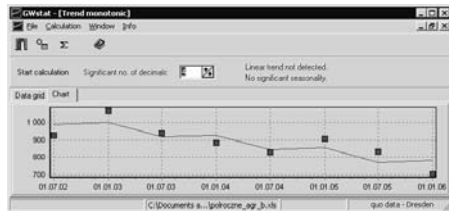


b) Półroczne agregowane (średnia)

I grupa

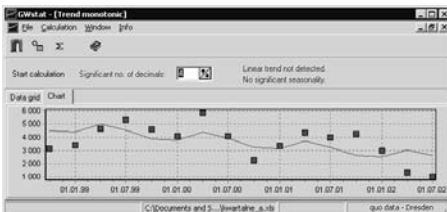


II grupa

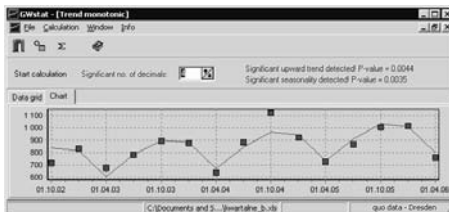


c) Kwartalne wybrane (listopad, luty, maj, sierpień)

I grupa

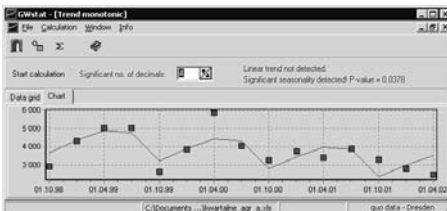


II grupa

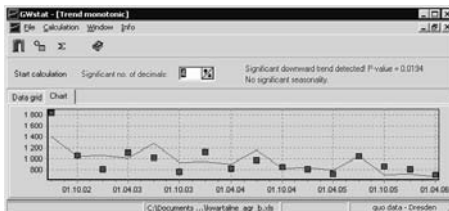


d) Kwartalne agregowane (średnia)

I grupa



II grupa



**Rysunek 6.** Stężenia żelaza w próbkach ze źródła Królewskiego. Ocena trendów zmian w układzie czasowym w podziale na dwie grupy danych  
**Figure 6.** Concentrations of Fe in samples of the Królewski Spring. Evaluation of variation trends with division into two data groups

## Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy trendów zmian stężeń żelaza w próbkach wody podziemnej ze źródła Królewskiego w Krakowie wynika, że w przypadku, gdy zbiór danych posiada rozkład bimodalny i analizujemy zbyt długie szeregi czasowe, niezależnie od sposobu agregacji danych (w układzie rocznym, półrocznym, kwartalnym) stwierdzamy istotny statystycznie trend, w analizowanym przypadku, malejący.

Analiza zmian stężeń żelaza w oparciu o wykresy przebiegu wykazała, że w zbiorze danych z lat 1998-2006 zaznaczają się dwie grupy wyników o wyraźnie zróżnicowanych stężeniach:

- I grupa – dane z lat 1998-2002 (przed wymianą filtra) o wyższych stężeniach żelaza i dużej zmienności;
- II grupa – dane z lat 2002-2006 (po wymianie filtra) z niższymi i stabilnymi stężeniami żelaza.

Przeprowadzona analiza trendów w układzie półrocznym i kwartalnym dla tych dwóch grup danych (I i II) nie wykazała istotnego liniowego (rosnącego lub malejącego) trendu. Dla szeregu czasowego kwartalnego w obu grupach pojawiają się istotne statystycznie wahania sezonowe, co jest związane z ilością pobieranej wody i co się z tym łączy, różnym czasem stagnacji wody w kolumnie filtracyjnej, decydującym o poziomie stężeń żelaza.

Analiza trendów zmian stężeń żelaza w układzie czasowym wykazała, iż przy rozkładach wielomodalnych (w tym przypadku bimodalnym) stężeń składników chemicznych i długich szeregach czasowych ocena trendu musi być prowadzona w podziale na grupy o zróżnicowanych stężeniach analizowanego składnika, wynikających z przyczyn technologicznych (system eksploatacji, niewłaściwa konstrukcja i nieodpowiednie materiały, z których wykonano filtr – materiały reaktywne), czy też zmiennej metodyki opróbowania i oznaczeń składnika chemicznego.

## Literatura

- DWD, 1998: *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 98/83/EC z dnia 3 listopada 1998 r. dotycząca jakości wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi.*
- DWP, 2006: *Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.* Dz.Urz. 372/19.
- Grath J., Scheidleder A., Uhl S., Weber K., Kralik M., Keimel T., Gruber S., 2001: *The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. Final Report.* Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-I/6/00) European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794) In Kind Contributions by Project Partners; [www.wfdgw.net](http://www.wfdgw.net).
- Kleczkowski A. S., et al., 1994: *Krakowskie artezyjskie źródła wód pitnych z wapieni górnej jury.* AGH, Kraków.
- Kleczkowski A. S., 2000: *Krakowskie źródła*, Dziennik Polski, Kraków.

- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002: *Hydrogeochemia: Strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowe PWN.
- Motyka J., Zuber A., 1992: *Przepływ znaczników i polutantów przez węglanowe skały szczelinowate. Porowatość matrycy jako najważniejszy parametr*, [W:] Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Konferencja Naukowa, Wrocław.
- Myszka R., Gołda J., 2003: *Eksploatacja wód artezyjskich piętrowa jurajskiego w Krakowie*. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, Tom XI, cz. 1, s. 137-142.
- Osmęda-Ernst E., et al., 1995: *Analiza precyzji badań hydrogeochemicznych w monitoringu jakości wód podziemnych*, [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, tom VII, Kraków.
- Rajchel L., 1999: *Historia i terażniejszość wód mineralnych Krakowa*, Aura 1/99, Wydawnictwo Sigma & Not, Warszawa.
- RDW, 2000: *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29.03.2007 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. z 6.04.2007 nr 61, poz. 417.
- Szczepańska J., Kmieciak E., 2005 *Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych*, Kraków AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
- Szczygieł M., 2002 *Skład chemiczny wód jurajskich ujmowanych w krakowskich zdrojach artezyjskich*, Praca dyplomowa, AGH Kraków.
- Witczak S., et al., 2006 *The Polish concept of ground water vulnerability map*, Konferencja Ustroń.

*Praca częściowo finansowana w ramach umowy AGH 11.11.140.139.*