



## **ZMIENNOŚĆ SKŁADU CHEMICZNEGO WÓD W STUDNIACH UJĘCIA „STARE UJĘCIE” W STAŁOWEJ WOLI**

*Stefan Satora, Tomasz Kotowski*  
*Uniwersytet Rolniczy im. Kollątaja w Krakowie*

### **CHEMICAL COMPOSITION VARIABILITY OF WATER IN WELLS OF THE „STARE UJĘCIE” INTAKE IN STAŁOWA WOLA**

#### *Streszczenie*

Przedmiotem opracowania są czwartorzędowe wody podziemne ujęte 10 studniami wierconymi wykonywanymi w latach 1971 – 1993 o numeracji S-7a, S-9a, S-11b, S-12b, S-15a, S-16a, S-17a, S-18a, S-20a i S-21 stanowiącymi „Stare ujęcie” zlokalizowane w miejscowości Stałowa Wola. Ustalone łączne zasoby eksploatacyjne tych ujęć wynoszą  $Q_c = 394,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  przy głębokościach studni wynoszących od 30,0 do 36,0 m n.p.m. Stężenia manganu ogólnego w wodach ujęcia „Stare ujęcie” występują w zakresie od  $0,001 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $2,57 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a żelaza ogólnego od  $0,01 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $6,50 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Biorąc pod uwagę klasy czystości wód „Starego ujęcia” to w przewadze zaliczone są one do klas III i IV i charakteryzują się nie najlepszą jakością. Zmienność składu chemicznego ujmowanych wód przedstawiona jest w opracowaniu przestrzennie w postaci izolinii, natomiast zmienność czasową omówiono opisowo oraz przy wykorzystaniu statystycznego współczynnika zmienności. Stężenia żelaza ogólnego w wodach „Starego ujęcia” charakteryzują się w przypadku studni S-7a i S-17a bardzo dużą zmiennością, studni S-9a, S-18a, S-20a i S-21 dużą, a studni S-15a średnią zmiennością. Stężenia manganu ogólnego w wodach studni S-15a i S-18a charakteryzują się małą zmiennością, w wodach studni S-7a, S-9a i S-21 średnią zmiennością, a w wodach studni S-17a i S-20a dużą zmiennością.

**Słowa kluczowe:** wody podziemne, hydroizolinie stężeń żelaza i manganu, współczynnik zmienności

### Summary

The subject of the study is quaternary groundwater intaken by 10 drilled wells numbered as follows: S-7a, S-9a, S-11b, S-12b, S-15a, S-16a, S-17a, S-18a, S-20a and S-21 constructed in the period 1971 – 1993 and forming „Stare ujęcie” located in Stalowa Wola. Total manganese concentration in waters of „Stare ujęcie” intake falls within the range from  $0.001 \text{ mgMn}\cdot\text{dm}^{-3}$  to  $2.57 \text{ mgMn}\cdot\text{dm}^{-3}$ , and total iron – from  $0.01 \text{ mgFe}\cdot\text{dm}^{-3}$  to  $6.50 \text{ mgFe}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Given the quality classification of „Stare ujęcie” waters – they predominantly belong to 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> class and their quality is unsatisfactory. The chemical composition variability of the intaken waters is spatially presented in the study in the form of hydroisolines, while the temporal variability was discussed descriptively and with the use of statistical coefficient of variation. The variability of total iron concentration in waters of „Stare ujęcie” is very high in the case of wells S-7a and S-17a, in the case of wells S-9a, S-18a, S-20a and S-21 – it is high, while in well S-15a the variability is medium. Concentration of total manganese in waters of wells S-15a and S-18a is characterized by low variability, in waters of wells S-7a, S-9a and S-21 – by medium variability, while in waters of wells S-17a and S-20a its variability is high.

**Key words:** groundwater; hydroisolines of iron and manganese concentrations, coefficient of variability

### WPROWADZENIE

Korzystne warunki hydrogeologiczne występujące w obrębie tarasów dużych cieków powierzchniowych przepływających przez daną miejscowość dają możliwość ujmowania czwartorzędowych, aluwialnych wód podziemnych, szeregiem studni wierconych. Wody aluwialne mogą niekiedy jednak zawierać podwyższone stężenia jonów żelaza i manganu, których wielkość zmieniać się może wraz z upływem czasu eksploatacji [Milijanović, Satora 2009; Satora, Kaczor 2005].

Celem opracowania była analiza zmienności wybranych wskaźników jakości wód podziemnych ujmowanych studniami wierconymi na terenie miasta Stalowa Wola. Badaniami zostało objęte ujęcie wody o nazwie „Stare ujęcie” składające się z 10 studni, w tym 7 czynnych i 3-ch rezerwowych, zlokalizowanych w zachodniej części miasta.

W oparciu o Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych, wydzielono w obszarze ujęcia tereny o zróżnicowanych stężeniach jonów Fe i Mn, którym na mapach, przyporządkowano odpowiednią klasę czystości wód. Zgodnie z tym Rozporządzeniem wydzielono pięć klas czystości wód podziemnych:

1. klasa I – wody bardzo dobrej jakości,
2. klasa II – wody dobrej jakości,
3. klasa III – wody zadowalającej jakości,
4. klasa IV – wody niezadowalającej jakości,
5. klasa V – wody złej jakości.

Analizą zmienności czasowej objęto odczyn, twardość ogólną i przewodność właściwą wody oraz ze względu na ich ponadnormatywną zawartość stężenia manganu i żelaza ogólnego. W badaniach wykorzystano wyniki analiz składu wody z lat 1999-2008 wykonane przez Laboratorium MZK Sp. z o. o. w Stalowej Woli z częstotliwością raz w roku.

## **CHARAKTERYSTYKA OBSZARU UJĘCIA**

Wody na cele wodociągowe dla miasta Stalowa Wola ujmowane są z czwartorzędowego poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodnym występującym na głębokości 2,6 – 15,0 m p.p.t. Miąższości warstw wodonośnych w obszarze omawianego ujęcia wahają się od 17,50 m do 28,20 m. Współczynnik filtracji ujętej warstwy wodonośnej waha się od  $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  do  $6,62 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . „Stare ujęcie” położone jest na terenie zalesionym po wschodniej stronie drogi Rozwadów – Bojanów. Składa się ono z 10 studni o numeracji S-7a, S-9a, S-11b, S-12b, S-15a, S-16a, S-17a, S-18a, S-20a i S-21 o ustalonych zasobach eksploatacyjnych  $Q_e = 394,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  przy depresjach  $s = 0,9 - 5,9 \text{ m}$ . W chwili obecnej pobór wód podziemnych piętra czwartorzędowego z terenu „Starego ujęcia” wynosi  $195 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . W bezpośrednim otoczeniu ujęcia nie ma cieków powierzchniowych. Całość obszaru ujęcia znajduje się w obszarze lewobrzeżnej zlewni Sanu [Praca zbiorowa 2001 i 2007].

Głębokości studni wierconych o średnicach 299 mm wynoszą od 30,0 do 36,0 m n.p.m. Studnie wykonywane były w latach 1971 – 1993. Strop paleogenu zalega w ich sąsiedztwie na głębokości 27,0 – 33,0 m. Zasoby eksploatacyjne poszczególnych studni ujęcia wynoszą 25,0 – 124,0  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  przy depresjach

0,85 – 5,95 m, a jednostkowe od 11,00 do 40,00  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . W „Starym ujęciu” strop ilastego miocenu występuje na rzędnych od 133,00 m n.p.m. do 138,00 m n.p.m. (S-17a). Miąższość utworów czwartorzędowych wynosi od 27,0 m (S-15a) do 33,0 m (S-20)[Praca zbiorowa 2001].

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Mętność wód mieściła się w latach badawczych 1999-2008 w granicach 0,1 – 2,9  $\text{mgSiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Twardość ogólna w badanych wodach przyjmowała wartości 28,5 (studnia S-21) – 404,0  $\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-15a). Na ujęciu w Stalowej Woli ujmowane są wody od bardzo miękkich do średnio twardych. Wody poszczególnych studni charakteryzują się niskim stopniem zmineralizowania. Przewodność właściwa mieściła się od 88,8 do 654,0  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Wskazuje to na występowanie wód ultrasłodkich, bardzo i normalnie słodkich. Zawartość azotu amonowego (III) mieściła się w zakresie od ilości śladowych 0,001 do 1,74  $\text{mgN}_{\text{NH}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-15a). Stężenie azotu azotanowego (III) wynosiło od 0,001 do 0,016  $\text{mgN}_{\text{NO}_2} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-18a) a stężenia azotu azotanowego (V) wód 0,3 – 14,39  $\text{mgN}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-18a). Woda pompowana z ujęcia „Stare ujęcie” nie spełnia norm dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi [Rozporządzenie 2010] w zakresie odczynu pH oraz stężeń manganu i żelaza ogólnego.

Ujmowane wody charakteryzują się odczynem od słabo kwaśnego (pH 4,85-6,0 studnie: S-9a, S-15a i S-18a) do bardzo słabo zasadowego (pH 6,1-6,8 S-9a, S-17a, S-20a i S-21). Stężenie manganu ogólnego waha się w badanych wodach od 0,001  $\text{mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  (w studniach S-7a, S-17a, S-20 i S-21) do 2,57  $\text{mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-15a). Przekroczoną zawartość manganu ogólnego stwierdza się w wodach 3 studni (S-9a, S-15a i S-18a). Największe stężenia w ciągu całego okresu badawczego występowały w wodzie studni S-15a.

Przekroczenie normowego stężenia żelaza ogólnego występuje w sposób ciągły we wszystkich studniach „Starego ujęcia” (najczęściej w S-15a, S-18a, S-20 i S-21), natomiast sporadycznie w studniach: S-7a, S-9a i S-17a. Stężenia żelaza ogólnego wahają się od 0,01  $\text{mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  w studni S-17a do maksimum wynoszącego 6,50  $\text{mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  w studni S-18a.

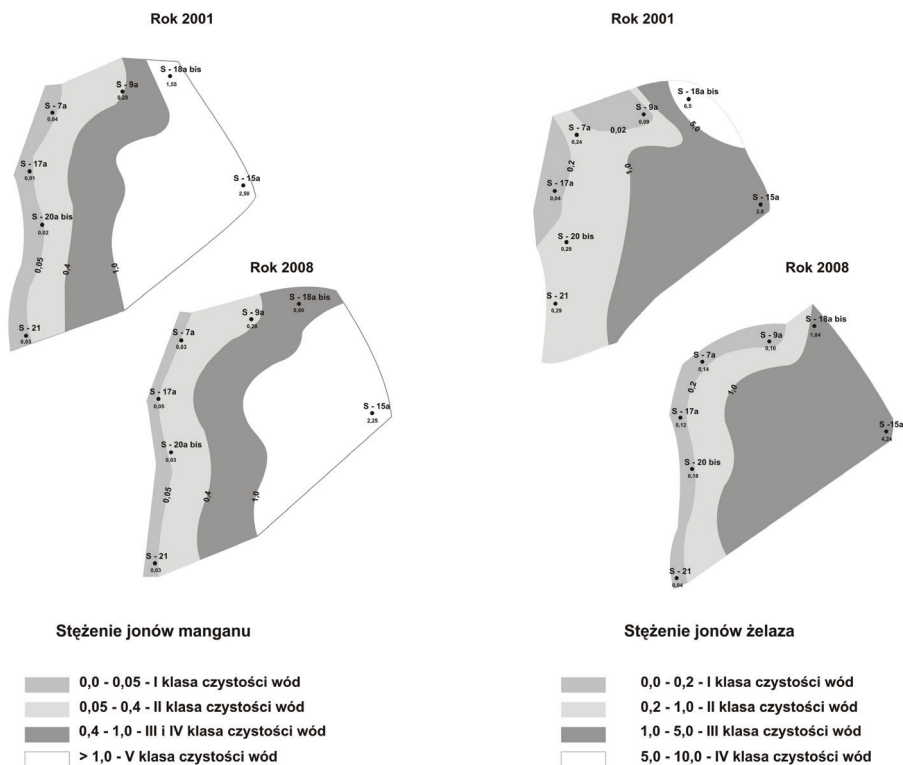
Odczyn ujmowanej wody charakteryzuje się małą zmiennością, zarówno w wodach poszczególnych studni, jak i w badanych latach. W żadnej studni odczyn wody nie odpowiada normom [Rozporządzenie 2010]. Zaznacza się jednak

wyraźny trend wzrostowy jego wielkości w czasie trwania eksploatacji. Twardość wody charakteryzuje mała zmienność (w obrębie poszczególnych studni) jedynie w studniach S-15a i S-18a zmienność jest średnia i również w wodach tych studniach występuje największa różnica między maksymalnym stężeniem i minimalnym. I tak dla wód studni S-15a różnica ta wynosi  $248,50 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ , a dla wód studni S-18a –  $137 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ . W poszczególnych latach zmienność czasowa, określona statystycznym współczynnikiem zmienności jest średnia (rok 1999, 2001, 2004 i 2005) oraz duża (rok 2000, 2002 i 2003).

Zmienność manganu ogólnego zależy od studni i tak w wodach studni S-15a i S-18a charakterystyczna jest mała zmienność, w wodach studni S-7a, S-9a i S-21 średnia zmienność, a w wodach studni S-17a i S-20a duża zmienność. Największa różnica między wartością maksymalną, a minimalną stężenia tego jonu wynosząca  $0,98 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  wystąpiła w wodach studni S-15a, a w wodach studni S-18a była nieco mniejsza  $0,74 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Wody tych studni charakteryzują się również najwyższymi stężeniami manganu ogólnego. W poszczególnych latach badanego wielolecia współczynnik zmienności stężeń manganu w ujętych wodach za wyjątkiem roku 2000 był większy od 100% wskazując na bardzo dużą zmienność. Badając linie trendu dla wszystkich studni tego ujęcia jedynie wody studni S-15a i S-18a przedstawiają wyraźny trend zmian w czasie. Dla wód studni S-15a jest to trend wzrastający, zaś dla wód studni S-18a malejący w czasie.

Stężenia żelaza ogólnego w wodach studni tego ujęcia charakteryzują się w studniach S-7a i S-17a bardzo dużą zmiennością, w studniach S-9a, S-18a, S-20a i S-21 dużą a w studni S-15a średnią zmiennością. W wodach ostatniej studni wystąpiła największa różnica między wartością maksymalną i minimalną wynosząca  $6,25 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Duża różnica, bo wynosząca  $5,45 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  wystąpiła też w wodach studni S-18a. Zmienność stężenia tego jonu, określona na podstawie wielkości współczynnika zmienności w latach 1999 i 2000 jest średnia, a w latach 2001 – 2008 bardzo duża. Podobnie jak w przypadku zawartości jonów manganu ogólnego w wodach poszczególnych studni, również stężenie jonu żelaza w wodach studni S-15a wykazuje trend wzrastający, a w studni S-18a malejący w czasie.

Stężenia azotu amonowego (III) w latach 2000-2007 wykazują bardzo dużą zmienność, a w latach 1999 i 2008 brak zmienności. Stężenia badanego jonu (w studniach S-9a, S-18a) mają zmienność średnią, w studniach S-7a, S-15a i S-20a dużą a w studniach S-17a i S-21 bardzo dużą.



**Rysunek 1.** Przestrzenna zmienność w latach 2001 i 2008 stężeń jonów manganu i żelaza w wodach „Starego ujęcia” w Stalowej Woli.

**Figure 1.** Spatial variability of manganese and iron ions in waters of „Stare ujęcie” intake in Stalowa Wola, in 2001 and 2008

Stężenie azotu azotanowego (V) w większości przypadków nie wykazuje większej zmienności zarówno w przypadku wód poszczególnych studni jak i badanym okresie. Duża zmienność związana jest tylko z wodami w studni S-18a oraz z wodami ze wszystkich studni w roku 2008. Azot azotanowy (III) w wodach studni S-7a charakteryzuje zmienność małą, w studniach S-9a, S-17a i S-20a średnia, w studniach S15a i S-18a duża, a w studni S-21 bardzo duża.

W obrębie obszaru „Stare ujęcie” zmienność przestrzenna stężeń żelaza i manganu w ujmowanych wodach została przedstawiona graficznie na rycinach. Dla każdego z badanych parametrów wykonano po 2 mapy. Pierwsza mapa obej-

muje sytuację z 2001 roku, druga natomiast 2008 roku, gdyż w tym czasie eksploatowane były wszystkie studnie, co wiązało się z posiadaniem większej ilości danych potrzebnych do dokładniejszego wykonania map.

Z uwagi na stężenie manganu ogólnego, największy obszar zlokalizowany we wschodniej części „Starego ujęcia” obejmuje wody klasy III i klas wyższych, czyli IV i V [Rozporządzenie 2008]. Zachodnia część ujęcia dzieli się odpowiednio na wody I klasy (studnie S-7a, S-17a, S-20a i S-21) i II klasy (studnia S-9a). Im bardziej na wschód tym niższa IV klasa (studnie S-15a i S-18a). W 2008 roku następuje poprawa jakości we wschodniej części ujęcia, szczególnie w sąsiedztwie studni S-18a w której woda jest już w III klasie czystości. Izolinie wykonane dla stężeń żelaza ogólnego w ujmowanych wodach w latach 2001 i 2008 wskazują na to, że w zachodniej części ujęcia w 2001 roku występują wody klasy I (studnie S-9a i S-17a), natomiast w 2008 roku są też w tej klasie również wody w studniach S-20a i S-21. Do wód II klasy czystości pod kątem stężeń żelaza w 2001 roku możemy zaliczyć występujące w studniach S-7a, S-20a i S-21, a w 2008 roku jedynie wody w studni S-7a. Wschodnia część ujęcia to w 2001 roku wody klasy IV (studnie S-15a i S-18a). Najwyższe stężenie żelaza w wodach studni S-18a osiągnęło bardzo dużą wartość  $6,5 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . W 2008 roku w wodach studni tej następuje poprawa kwalifikująca je do III klasy czystości, IV klasa pozostaje w sąsiedztwie studni S-15a.

## PODSUMOWANIE

Najniższa twardość wody „Starego ujęcia” wynosi  $28,5 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-21) a najwyższa  $404,0 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-15a). Ujmowana woda charakteryzuje się niskim stopniem zmineralizowania wyrażonym wielkością przewodności właściwej wynoszącej od  $88,8 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  do  $654,0 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Wskazuje ona na występowanie najczęściej wód bardzo słodkich i normalnie słodkich. Zawartość manganu jest przekroczona w wodach 3 studni (S-9a, S-15a i S-18a). Stężenie manganu natomiast w wodach studni waha się od  $0,001 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnie S-7a, S-17a, S-20a i S-21) do  $2,57 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-15a). Największe stężenia w ciągu całego okresu badawczego występowały we wschodniej części ujęcia, w wodach studni S-15a. Przekroczenie normowego stężenia żelaza występuje w sposób ciągły w wodach wszystkich studni „Starego ujęcia” (najczęściej w studniach S-15a, S-18a, S-20a i S-21), sporadycznie natomiast w pozostałych. Stężenie żelaza waha się od  $0,01 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia



S-17a) do  $6,50 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  (studnia S-18a). Najwyższe stężenia żelaza występują w wodach wschodniej części ujęcia, gdzie osiągają swoje maksimum.

## WNIOSKI

Przeprowadzona szczegółowa analiza zmienności reżimu hydrogeologicznego analizowanego ujęcia „Stare ujęcie” pozwala na sformułowanie następujących wniosków i stwierdzeń.

1. Wydajności jednostkowe studni analizowanego ujęcia wykazują duże zróżnicowanie i wahają się w przedziale od 11,0 do  $40,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .
2. Stężenia manganu ogólnego w wodach „Starego ujęcia” występują w zakresie od  $0,001 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $2,57 \text{ mgMn} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a żelaza ogólnego od  $0,01 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $6,50 \text{ mgFe} \cdot \text{dm}^{-3}$ .
3. Biorąc pod uwagę klasy czystości to w przewodzie wody „Starego ujęcia” zaliczone są do klas III i IV i charakteryzują się nienajlepszą jakością.
4. W analizowanym okresie badawczym stwierdza się poprawę czystości ujmowanych wód „Starego ujęcia” w jego północno-wschodniej części, gdzie na korzyść III klasy ulega likwidacji IV klasa czystości wód.
5. Znajgorszą pod względem chemicznym uznaje się wodę ze studni S-15a i S-18a „Starego ujęcia”, z uwagi na występowanie w nich najwyższych stężeń manganu i żelaza ogólnego.
6. Ujmowane wody studni wierconych „Starego ujęcia” z uwagi na podwyższone stężenia jonów manganu i żelaza wymagają przed podaniem ich do sieci wodociągowej uzdatnienia.
7. W oparciu o wielkość statystycznego współczynnika zmienności można stwierdzić, że stężenia żelaza ogólnego w wodach „Starego ujęcia” charakteryzują się w przypadku studni S-7a i S-17a bardzo dużą zmiennością, studni S-9a, S-18a, S-20a i S-21 dużą a studni S-15a średnią zmiennością. Stężenia manganu ogólnego w wodach studni S-15a i S-18a charakteryzują się małą zmiennością, studni S-7a, S-9a i S-21 średnią zmiennością, a w wodach studni S-17a i S-20a dużą zmiennością.



## BIBLIOGRAFIA

- Milijanović E., Satora S. (2009). *Zróźnicowanie chemizmu wód podziemnych ujęć po długotrwałym okresie eksploatacji*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna Nr 9.
- Portka W. (2009). *Zmienność reżimu wód podziemnych ujmowanych studniami wierconymi dla miasta Stalowa Wola*. Praca magisterska KISiGW UR Kraków.
- Praca zbiorowa (2001). *Operat wodno-prawny na pobór wód podziemnych z ujęcia wody „Starego Ujęcia” dla potrzeb wodociągu miejskiego Stalowa Wola, Tarnobrzeg*.
- Praca zbiorowa (2007). *Strategia rozwoju miasta Stalowa Wola na lata 2007-2015, Urząd Miasta Stalowa Wola*.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23.07.2008 r., w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz. Ust. Nr 143 poz. 896)*.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20.04.2010 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. Ust. Nr 72 poz. 466)*.
- Satora S., Kaczor G. (2005). „*Przestrzenna i czasowa zmienność stężeń jonów żelaza i manganu w wodach triasowych ujęć na terenie mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich*”. s. 107-120. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich Kraków.

Dr hab. inż. Stefan Satora prof. UR  
Dr inż. Tomasz Kotowski  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy im.H.Kołłątaja  
Al. Mickiewicza 24/28  
30-059 Kraków  
Tel. 12-6325788  
rmsatora@cyf-kr.edu.pl  
tomasz.kotowski@ur.krakow.pl