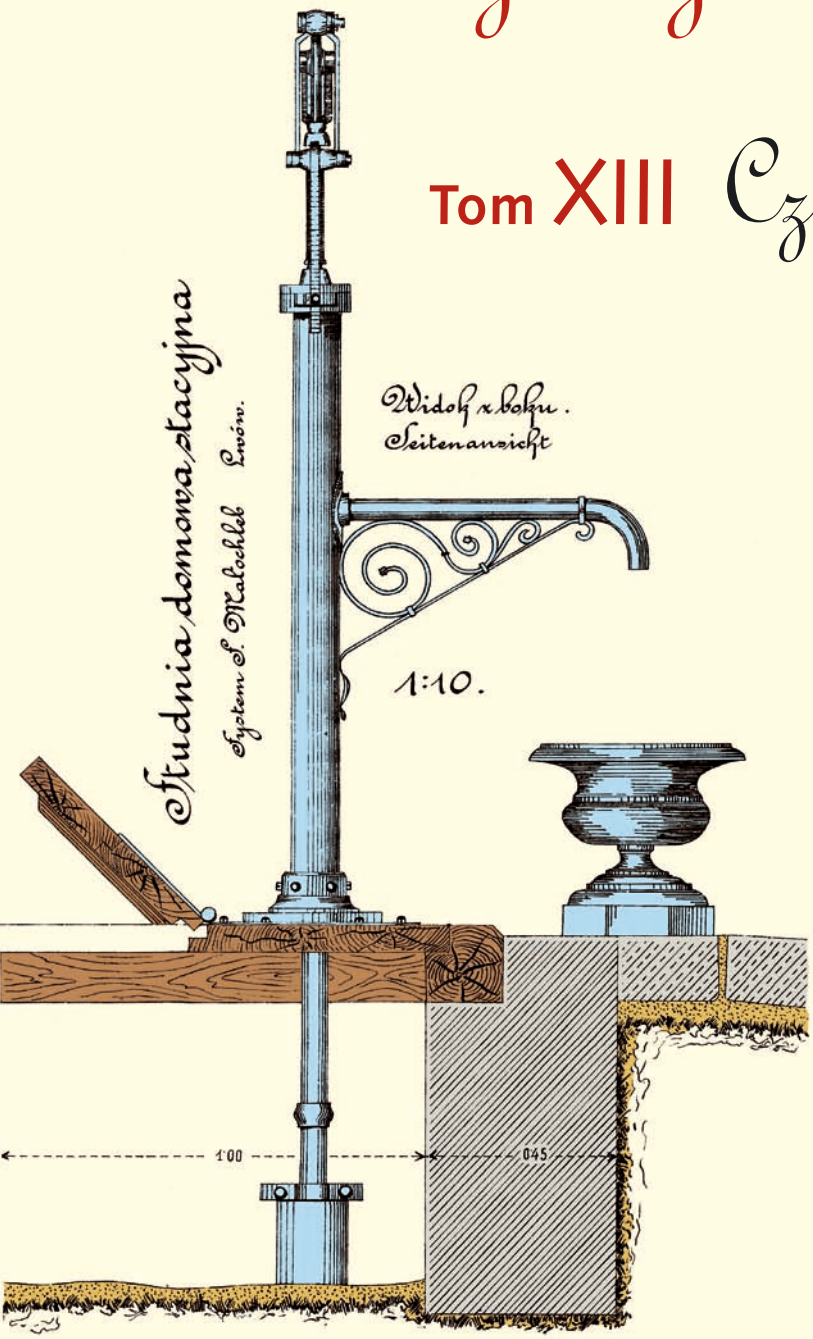
Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007

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 Różkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staśko
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 TEX: preTEXt, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

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

Marcin Siepak, Marcin Frankowski,
Anetta Zioła, Jan Przybyłek

Metale ciężkie oraz żelazo i mangan w wodach podziemnych piętra neogeńskiego miasta Poznania

Heavy Metals and Iron, Manganese in the Groundwater of the Neogene Layer of Poznań City

Słowa kluczowe metale ciężkie, żelazo, mangan, wody podziemne, piętro neogeńskie

Key words heavy metals, iron, manganese, groundwater, Neogene layer

Abstract The article presents the results of determination of heavy metals and iron, manganese in the groundwater of the Neogene layer from the area of Poznań city. Water samples for chemical analyses were taken between May and June 2006 from 39 wells. The elements were determined by the method of atomic absorption spectrometry with flame atomisation (F-AAS). The concentrations of the trace elements found in the groundwater were in the ranges:

- Cd<0.001–0.005 mg L^{-1};
- Cr<0.002–0.030 mg L^{-1};
- Cu 0.001–0.030 mg L^{-1};
- Ni<0.002–0.042 mg L^{-1};
- Pb<0.003–0.069 mg L^{-1};
- Zn 0.002–2.25 mg L^{-1};
- Fe 0.265–13.4 mg L^{-1};
- Mn 0.006–0.167 mg L^{-1}.

Significant correlations were found to occur in the water samples between Cd–Zn, Cd–Pb, Cu–Ni, Pb–Zn, and Fe–Mn.

1. Wstęp

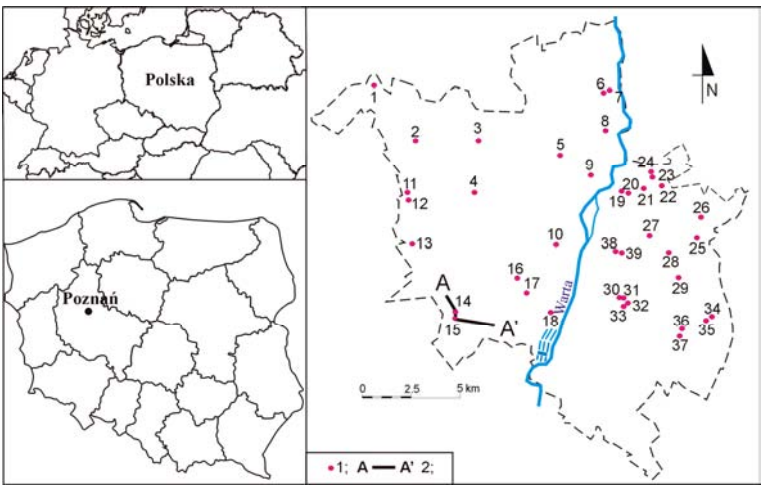
Metale ciężkie oraz żelazo i mangan należą do pierwiastków naturalnie występujących w środowisku. Wzrost ich stężeń w środowisku, w tym i w wodach podziemnych spowodowany może być czynnikami geogenicznymi oraz antropogenicznymi. Do źródeł antropogenicznych mających główny wpływ na wzrost stężeń metali w wodach podziemnych możemy zaliczyć różne gałęzie przemysłu, górnictwo, transport, rolnictwo czy urbanizację terenów (Kabata-Pendias, 2001; Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Pomimo, że Poznań jest prawie w całości zwodociągowany, to na jego terenie istnieje szereg indywidualnych ujęć wód podziemnych ujmujących piętro neogeńskie. Studnie ujmujące wody poziomu mioceńskiego zlokalizowane są na lewym i prawym brzegu rzeki Warty, pod której doliną w przybliżeniu przebiega południkowo rów tektoniczny, będący częścią systemu dyslokacyjnego Poznań-Oleśnica (Widera i in., 2004). Wody podziemne piętra neogeńskiego występują w utworach piaszczystych miocenu. Wody te pełnią istotną rolę uzupełniającą w zaopatrzeniu ludności w wodę do picia, jak i do celów gospodarczych, a także tworzą sieć punktów awaryjnego poboru wody w mieście. Wieloletnia eksploatacja wód poziomu mioceńskiego przyczyniła się do obniżenia ich zwierciadła, zaburzenia naturalnego przepływu tych wód oraz zmienności w ich strefowości hydrochemicznej. Lokalnie zaobserwowano ascenzję z piętra mezozoicznego wód zasolonych oraz stwierdzono przemieszczanie się frontu zabarwionych wód w obrębie poziomu mioceńskiego (Górski, Przybyłek, 1996; Siepak i in., 2006).

W niniejszym artykule podjęto próbę analizy przestrzennej zmienności stężeń oraz wskazania źródła pochodzenia kadmu, chromu, miedzi, niklu, ołowiu, cynku, żelaza i manganu w wodach podziemnych piętra neogeńskiego na terenie miasta Poznania, poddanego wieloletniej eksploatacji.

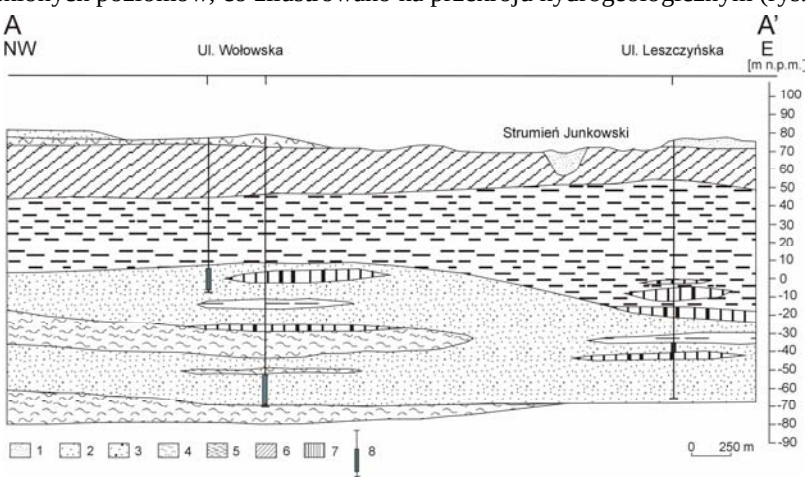
2. Warunki hydrogeologiczne

Wody podziemne poziomu mioceńskiego na terenie miasta Poznania (rys. 1) występują w warstwach piasków drobnoziarnistych i mułkowatych, lokalnie średnioziarnistych o miąższości od około kilkunastu do 80 m. Warstwy te przedzielone są warstwami mułków i węgli brunatnych o charakterze nieciągłym. Poznański poziom mioceński obejmuje wody o charakterze naporowym o wodach subartezyjskich w obrębie wysoczyzn i artezyjskim w obrębie doliny rzeki Warty. Formację pokrywową, a zarazem napinającą, stanowi zespół osadów ilastych i ilasto-mułkowych warstw poznańskich górnego miocenu, o zmiennej miąższości. Zwierciadło naporowe wody występuje przeważnie od 2 m n.p.m. do 30 m n.p.m. Wartość współczynnika filtracji dla mioceńskiego poziomu wodonośnego waha się od 1 do 25 m/d, najczęściej spotykana jest wartość 5 m/d.



Rysunek 1. Lokalizacja studni, z których pobrano próby wód podziemnych do analizy chemicznej
Objaśnienia: 1 – studnie; 2 – linia przekroju (rys. 2)
Figure 1. *Location of wells from which groundwater was sampled for chemical analyses*
Explanation: 1 – wells; 2 – cross-section line (fig. 2)

Poziom mioceński w granicach miasta Poznania rozdzielony jest na trzy warstwy: górną, środkową i dolną. Do badań wytypowano studnie, które zafiltrowane są w każdym z wymienionych poziomów, co zilustrowano na przekroju hydrogeologicznym (rys. 2).



Rysunek 2. Przekrój hydrogeologiczny A-A'
Objaśnienia: 1 – piaski drobnoziarniste; 2 – piaski średnio i gruboziarniste; 3 – żwiry; 4 – mułki; 5 – iły; 6 – gliny morenowe; 7 – węgle brunatne; 8 – strefa zafiltrowania studni
Figure 2. *Hydrogeological cross-section A-A'*
Explanation: 1 – fine sands; 2 – medium and coarse sands; 3 – gravels; 4 – silt; 5 – clays; 6 – loams; 7 – brown coal; 8 – well screen

3. Metodyka badań

3.1. Pobieranie próbek

Próbki wód podziemnych do analizy chemicznej pobrano w maju i czerwcu 2006 roku, z eksploatowanych studni wierconych ujmujących piętro neogeńskie. Wydajność studni wynosi od kilku do kilkudziesięciu m^3/godz. Studnie posiadają filtry zabudowane strefowo w przedziale głębokości od 79 do 175 m. Eksploatacja studni odbywa się za pomocą pomp głębinowych. Wodę do analizy pobrano po ustabilizowaniu się takich parametrów jak: temperatura, odczyn pH, przewodnictwo elektrolityczne w wypompowanej wodzie (ISO 5667-11; ISO 5667-18). Pomiarów temperatury, odczynu pH i przewodnictwa elektrolitycznego dokonywano bezpośrednio w terenie (Elbanowska i in., 1997) z wykorzystaniem wielofunkcyjnego przyrządu pomiarowego o symbolu CX-731 firmy Elmetron (Polska). Próbki wody były pobierane do butelkach polietylenowych (PE). Dokonywano utrwalania próbek 65% kwasem azotowym oraz 37% kwasem chlorowodorowym firmy Merck (Merck, Darmstadt, Niemcy).

3.2. Aparatura i roztwory

Oznaczeń Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe i Mn dokonano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją w płomieniu (F-AAS), z wykorzystaniem dwuwiązkowego aparatu firmy Perkin Elmer model AAnalyst 300 (Perkin Elmer, Norwalk, Connecticut, USA). Parametry metody analitycznej (F-AAS) dla oznaczeń badanych metali zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry metody analitycznej (F-AAS) dla oznaczeń Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Fe i Mn (n=10)

Table1. *Parameters of the analytical method (F-AAS) used for determinations of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Fe and Mn (n=10)*

F-AAS		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe	Mn
Granica wykrywalności (3σ)	[mg L^{-1}]	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002	0,007	0,002
Granica oznaczalności (6σ)	[mg L^{-1}]	0,003	0,006	0,003	0,009	0,003	0,006	0,021	0,006

W trakcie prac stosowano odczynniki chemiczne o czystości analitycznej i wodę dejonizowaną o oporności <18MΩ z urządzenia Milli-Q (Milipore, Francja). Roztwory wzorcowe sporządzano ze wzorców handlowych dla analizy absorpcyjnej spektrometrii atomowej firmy Merck (Merck, Darmstadt, Niemcy).

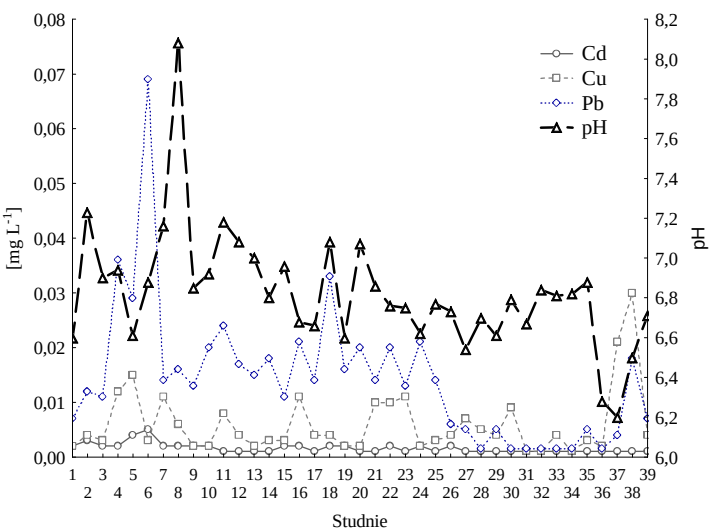
4. Wyniki badań i dyskusja

Wody podziemne piętra neogeńskiego z terenu miasta Poznania charakteryzowały się stężeniami metali w następujących przedziałach: Cd <0,001–0,005 mg L^{-1}; Cr <0,002–0,030 mg L^{-1}; Cu 0,001–0,030 mg L^{-1}; Ni <0,002–0,042 mg L^{-1}; Pb <0,003–0,069 mg L^{-1}, Zn 0,002-2,25 mg L^{-1}, Fe 0,265-13,4 mg L^{-1} i Mn 0,006-0,167 mg L^{-1} (tab. 2).

Tabela 2. Wyniki oznaczeń metali w wodach podziemnych [mg L^{-1}], n=39
Table 2. *Results of determination of metals in groundwater [mg L^{-1}], n=39*

Pierwiastek	Minimum	Maksimum	Średnia	Mediana	Dolny kwartyl	Górny kwartyl	Odchylenie standardowe
Cd	<0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
Cr	<0,002	0,030	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005
Cu	0,001	0,030	0,006	0,004	0,002	0,009	0,006
Ni	<0,002	0,042	0,003	0,002	0,002	0,003	0,008
Pb	<0,003	0,069	0,014	0,014	0,005	0,020	0,013
Zn	0,002	2,25	0,205	0,023	0,010	0,190	0,490
Fe	0,265	13,4	2,26	1,20	0,860	1,89	2,75
Mn	0,006	0,167	0,056	0,045	0,033	0,067	0,036

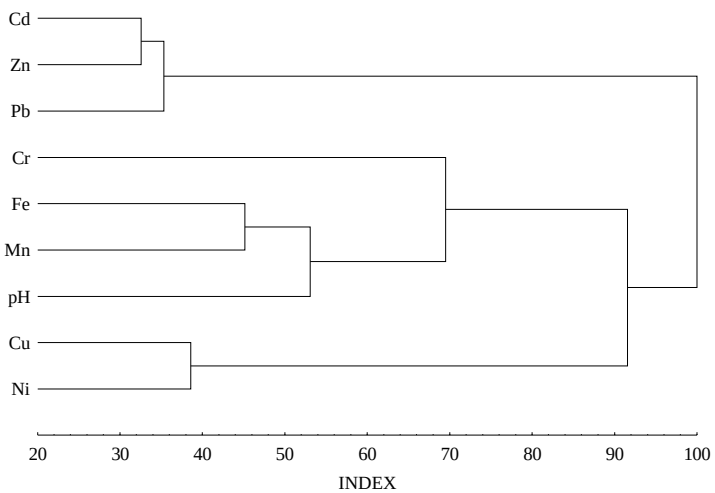
Kadm w badanych wodach występował na niskim poziomie stężeń, a jego najwyższe stężenie wynosiło 0,005 mg L^{-1}. Dla 10% badanych próbek kadm występował na poziomie poniżej granicy wykrywalności metody analitycznej (F-AAS). Stwierdzono wzrost tego pierwiastka w próbach wód pobranych ze studni zlokalizowanych w północnej części miasta (studnie nr 5 i 6, rys. 3), gdzie odczyn pH wody kształtował się na poziomie <7. Zaobserwowano współwystępowanie tego pierwiastka z cynkiem i ołowiem, co graficznie przedstawiono na rysunku 4. Współczynnik korelacji dla Cd-Zn oraz Cd-Pb wynosił odpowiednio 0,73 i 0,71 ($p < 0,05$).



Rysunek 3. Stężenia Cd, Cu i Pb oraz odczyn pH w wodach podziemnych piętra neogeńskiego
Figure 3. *Concentrations of Cd, Cu and Pb as well as the pH reaction of the groundwater of the Neogene layer*

Chrom dla 67% badanych próbek występował na poziomie poniżej granicy wykrywalności metody analitycznej (<0,002 mg L^{-1}). Zaobserwowano wzrost stężeń tego pierwiastka w próbach wód charakteryzujących się wysoką barwą. I tak, najwyższe stężenia tego pierwiastka (0,030 mg L^{-1}) stwierdzono w próbie o anomalnej barwie wynoszącej 4100 mg Pt L^{-1} (studnia nr 10); (Siepak i in., 2006).

Zawartość miedzi w wodach podziemnych kształtowała się na poziomie od 0,001 do 0,030 mg L^{-1}. Podobnie jak dla kadmu, zaobserwowano wzrost tego pierwiastka w próbach, gdzie woda miała odczyn kwaśny. Najwyższe stężenia tego pierwiastka stwierdzono dla studni nr 37 i 38, a zatem dla prób charakteryzujących się najniższymi wartościami odczynu pH dla całego zbioru prób (rys. 3). Zaobserwowano, że pierwiastek ten dla badanych wód współwystępuje z niklem (rys. 4). Zależność ta determinowana jest próbą pobraną ze studni nr 38, gdzie obserwowano najwyższe stężenia miedzi i ołowiu w porównaniu z innymi badanymi studniami.



Rysunek 4. Dendrogram dla oznaczeń metali i odczynu pH w wodach podziemnych piętra neogeńskiego (metoda Warda)

Figure 4. *Dendrogram for metal and pH determinations in the groundwater of the Neogene layer (Ward's method)*

Dla 92% badanych próbek stężenie niklu występowało na bardzo niskim poziomie <0,002 mg L^{-1}. Stężenie niklu na poziomie 0,010 mg L^{-1} i 0,027 mg L^{-1} stwierdzono odpowiednio w studniach nr 35 i 23 (rys. 3). Stężenia te jednak kształtowały się na niższym poziomie w porównaniu z próbą wody pobranej ze studni nr 38 (0,042 mg L^{-1}).

Najwyższe stężenia ołowiu w próbach wód podziemnych piętra neogeńskiego podobnie jak dla kadmu stwierdzono w wodach pobranych ze studni eksploatowanych sezonowo zlokalizowanych głównie w lewobrzeżnym Poznaniu, na terenie ogródków działkowych (studnie nr 4, 5, 6 i 18, rys. 3). Natomiast w części prawobrzeżnej Poznania stwierdzono zdecydowanie niższe stężenia Pb w badanych wodach (studnie nr 28, 30-34, rys. 3). Dla

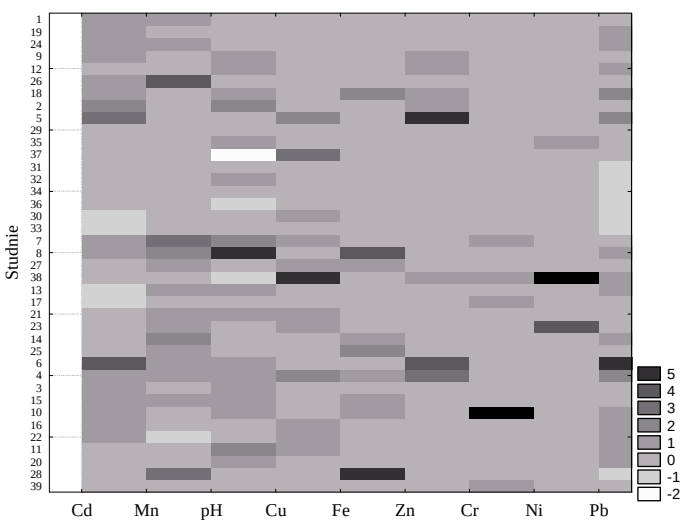
18% prób, stężenie Pb występowało na poziomie poniżej granicy wykrywalności metody analitycznej (<0,003 mg L^{-1}). Zaobserwowano współwystępowanie tego pierwiastka z Cd i Zn (rys. 4). Współczynnik korelacji Pb-Zn wynosił 0,68 ($p < 0,05$). Współwystępowanie Pb z Cd w wodach podziemnych stwierdzili również Baghvand i in. (2006).

Najwyższe stężenia cynku, podobnie jak i kadmu oraz ołowiu zaobserwowano w próbkach wód pobranych ze studni zlokalizowanych w lewobrzeżnym Poznaniu. Stwierdzono dla badanych wód anomalne stężenia Zn sięgające do 2,25 mg L^{-1} (studnia nr 5), najprawdopodobniej spowodowane jest to wymywaniem tego pierwiastka z ocynkowanych rur.

Strefą o najwyższych stężeniach żelaza, jest obszar związany z wpływem struktury tektonicznej Poznań-Oleśnica, który rozciąga się od południowej, aż po północno-zachodnią część miasta wzdłuż doliny rzeki Warty (studnie nr 6-10, 16-18). Wzdłuż tego pasa strefowo występują miejsca o anomalnych wartościach barwy wynoszącej do 4100 mg Pt L^{-1} (studnia nr 10, rys. 1). Stąd oznaczone anomalne stężenia żelaza mogą być związane z tworzeniem się kompleksów tego pierwiastka z substancją organiczną.

Wody badanego poziomu charakteryzują się stężeniami manganu w przedziale od 0,006 do 0,167 mg L^{-1}, przy medianie wynoszącej 0,045 mg L^{-1} (dla n=39). Najwyższe stężenia Mn w wodach podziemnych stwierdzono w północnej oraz północno zachodniej części miasta. Zaobserwowano istotne korelacje tego pierwiastka z żelazem oraz odczynem pH wody.

W celu graficznej prezentacji uzyskanych wyników badań metali w wodach podziemnych dla tej samej warstwy wodonośnej (miocen górny, środkowy oraz dolny) zastosowano analizę skupień (rys. 5).



Rysunek 5. Analiza skupień, procedura grupowania obiektów i cech dla wyników oznaczeń Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Fe, Mn i odczynu pH w próbach wód piętra neogeńskiego

Figure 5. *Cluster analysis, the procedure for the grouping of objects and parameters for determinations of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Fe, Mn and pH in the water samples from the Neogene layer*

Dokonano procedury grupowania obiektów i cech, pomiędzy ujmowaną warstwą wodonośną, a stężeniami metali ciężkich w wodzie. Na szczególną uwagę zasługuje grupa studni od numeru 30 do 37 (rys. 5), które to ujmują miocen środkowy grupując się, w tej samej wschodniej części miasta. Zawartości Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Fe i Mn w próbach wód występowały na zbliżonym do siebie poziomie stężeń, co na diagramie odzwierciedla się w postaci zwartych pól o identycznym odcieniu szarości (rys. 5).

Porównując uzyskane wyniki badań z obowiązującym „Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi" można stwierdzić, że pod względem zawartości Cd, Cr i Cu woda nadaje się do spożycia. Natomiast w przypadku ponadnormatywnych stężeń stwierdzonych dla Ni (2 próby), Pb (4 próby) i Mn (17 prób) analizowane wody piętra neogeńskiego pobrane z dwudziestu studni nie nadają się do spożycia przez ludzi. Wartości stężeń jakie stwierdzono dla oznaczeń Fe w przypadku wszystkich prób, nie odpowiadały one obowiązującym normatywom. Zatem wody te przed spożyciem powinny zostać poddane uzdatnieniu, głównie w celu redukcji związków Fe i Mn.

Stężenia metali ciężkich w wodach gruntowych i międzyglinowych piętra czwartorzędowego na terenie Poznania stwierdzone przez Kabacińskiego i in. (1997) oraz Łęckiego i in. (2005) występowały na zdecydowanie wyższym poziomie niż w wodach podziemnych piętra neogeńskiego. W wodach podziemnych piętra czwartorzędowego z rejonu Wielkopolski (Niedzielski i in., 2001) stwierdzono porównywalne stężenia Fe i zdecydowanie wyższe stężenia Mn, niż występowały w wodach analizowanego piętra wodonośnego na terenie Poznania. Dragon (2006) w wodach podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej (GZWP nr 144) w rejonie między Obrą a Wartą stwierdził występowanie Cu i Ni na wyższym poziomie stężeń, a Cd i Pb na zbliżonym poziomie stężeń, w stosunku do wód podziemnych badanego obszaru. Porównując uzyskane wyniki badań z wynikami dla wartości stężeń metali ciężkich najczęściej spotykanych w niskozmineralizowanych wodach podziemnych (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002) można stwierdzić, że analizowane pierwiastki występują na zbliżonym do siebie poziomie stężeń. W pracach innych autorów (Santoyo i in., 2000; Heydel, New, 2004) zajmujących się analizą metali ciężkich w wodach podziemnych na terenach zanieczyszczonych, można odszukać zdecydowanie wyższe stężenia omawianych pierwiastków.

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wody podziemne charakteryzowanego piętra, które izolowane są od powierzchni terenu warstwą glin oraz iłów serii poznańskiej górnego miocenu, w niewielkim stopniu narażone są na zanieczyszczenia antropogeniczne badanymi metalami. Najniższe stężenia metali stwierdzono w próbkach wód piętra neogeńskiego, które eksploatowane są przez zakłady produkcyjne w okresie całego roku (studnie nr 27, 30-37, rys. 3) – głównie wschodnia część miasta (prawobrzeżna). Natomiast najwyższe stężenia oznaczanych pierwiastków występowały w próbach wód pobranych ze studni zlokalizowanych na terenach ogródków działkowych (eksploatowanych sezonowo), położonych w zachodniej (lewobrzeżnej) części miasta (studnie nr 4, 5, 6 i 18, rys. 3) oraz w rejonie dyslokacji Poznań-Oleśnica. Przestrzennie najwyższe stężenia, Fe występowały

w pasie ciągnącym się południkowo wzdłuż doliny rzeki Warty oraz w północnozachodniej części miasta. Stężenia Fe w wodzie surowej dla wszystkich przebadanych studni nie odpowiadały obowiązującym normatywom jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Stwierdzono również istotne korelacje dla badanych wód pomiędzy Cd-Zn, Cd-Pb, Cu-Ni, Pb-Zn oraz Fe-Mn. Zaobserwowano współwystępowanie w wodach podziemnych piętra neogeńskiego następujących metali: Cd-Zn, Cd-Pb, Zn-Pb, Cu-Ni oraz Fe-Mn. Ponadto stwierdzono znaczący wpływ odczynu pH na współwystępowanie Fe i Mn w badanych próbach (rys. 4). Porównując uzyskane wyniki badań z wynikami innych badaczy, którzy oznaczyli metale w wodach podziemnych piętra czwartorzędowego miasta Poznania, można stwierdzić, że metale ciężkie w wodach piętra neogeńskiego występowały na zdecydowanie niższym poziomie stężeń.

6. Literatura

Boghvand A., Nabi G.R., Mehrdadi N., Givehchi S., Ardestani M., 2006: *Contamination of ground water in heavy metals concentration of Tebriz industria zone*. Journal of Applied Sciences, 1652-1658.

Dragon K., 2006: *Chemizm wód podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej w obszarze między Obrą a Wartą*. Geologos 8, Monographiae 2, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.

Elbanowska H., Zerbe J., Górski J., Siepak J., 1997: *Fizyczno-chemiczne badania gruntów na potrzeby hydrogeologiczne*. Wydawnictwo naukowe UAM, Poznań.

Górski J., Przybyłek J., 1996: *Budowa geologiczna i wody podziemne*. [in:] Środowisko naturalne miasta Poznania, Część I, 23-44, Poznań.

Heyden C.J., New M.G., 2004: *Groundwater pollution on the Zambian Copperbelt: deciphering the source and the risk*. Science of the Total Environment, 327, 17–30.

ISO 5667-11, 1993: Water quality – Sampling – Part 11: *Guidance on sampling of groundwaters.* International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 5667-18, 1999: Water quality – Sampling – Part 18: *Guidance on sampling of groundwater at contaminated sites*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Kabaciński M., Zerbe J., Sobczyński T., Siepak J., 1997: *Wpływ antropopresji na wody gruntowe na obszarze województwa poznańskiego i miasta Poznania*. Wydawnictwo Sorus, Poznań.

Kabata-Pendias A., 2001: *Trace Elements in Soil and Plants*. CRC Press LLC, Washington D.C.

Łęcki P., Troć M., Wojtasik A., Sobczyński T., Zioła A., 2005: *Pollution by heavy metal of the Near-Surface soil layers and the groundwater (ground and interclay horizons in the city of Poznań)*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 14, Supplement V, 87-94.

Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002: *Hydrogeochemia, Strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*. Wydawnictwo PWN Warszawa.

Niedzielski P., Siepak J., Siepak M., 2001: *Total content of arsenic, antimony and selenium in groundwater samples from western Poland*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 10(5), 347-350.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2007 r., Nr 61, poz. 417).

Santoyoa E., Santoyo-Gutie´rrezb S., Vermaa S.P., 2000: *Trace analysis of heavy metals in groundwater samples by ion chromatography with post-column reaction and ultraviolet–visible detection.* Journal of Chromatography A, 884, 229–241.

Siepak M., Frankowski M., Zioła A., Kurzyca I., Przybyłek J., 2006: *Badania mikro i makroskładników w wodach piętra neogeńskiego w Poznaniu dla identyfikacji wymiany wód z piętrem czwartorzędowym oraz ascenzji z piętra mezozoicznego*. Burewicz A., (red.), [in:] Chemia w zrównoważonym rozwoju, 507-514, Poznań.

Widera M., Banaszak J., Cepińska S., Derdowski R., 2004: *Analiza paleotektoniczna paleogeńskiej i neogeńskiej aktywności północnych fragmentów strefy dyslokacyjnej Poznań-Oleśnica*. Przegląd Geologiczny, Vol. 52, nr 8/1, 665-674.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy nr N305 074 31/2944 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz w ramach stypendium Polskiego Towarzystwa Geologicznego (im. Krzysztofa Beresa), którego stypendystą jest dr Marcin Siepak.