

**Czesława Rosik-Dulewska**  
**Urszula Karwaczyńska**

Uniwersytet Opolski,  
Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi  
[dulewska@ipis.zabrze.pl](mailto:dulewska@ipis.zabrze.pl)  
[ukar@uni.opole.pl](mailto:ukar@uni.opole.pl)

## **WPLYW LOKALNYCH PUNKTOWYCH ŹRÓDEŁ ZANIECZYSZCZEŃ NA STAN JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH**

### **The impact of local point sources of pollution on the quality of underground waters**

**Abstract:** The multi-annual research cycle aimed to analyse the impact of a local, point source of pollution, the now closed municipal waste dump, on the quality of underground waters in this area. The waste dump was located in an unsealed working of the openpit chalky clay mining spot and used for over 50 years. The Turonian and Cenomanian underground waters can be found within the sphere of the waste dump impact. The study presents the most characteristic changes in the selected physical and chemical indicators on the water quality. Even though 13 years have passed since the closure of the dump, it still remains the main point source of pollution for underground waters. The analysis of the results indicates that the Turonian-level waters, leaching the dump's bowl, are still characterised by very low quality and pose a potential threat to the lower-lying Cenomanian level, which is in part the water-bearing level for the city of Opole.

**Słowa kluczowe:** składowisko, zanieczyszczenia, wody podziemne

**Key words:** waste dump, pollution, underground waters

### **WPROWADZENIE**

Najbardziej rozpowszechnioną i jednocześnie najstarszą metodą unieszkodliwiania stałych odpadów komunalnych (nie tylko w Polsce) jest ich składowanie. Przy zachowaniu odpowiednich reżimów technologicznych można bezpiecznie składować zarówno stałe odpady komunalne, jak i odpady przemysłowe (w tym niebezpieczne). Co prawda ilość generowanych odpadów komunalnych i przemysłowych w ostatnich latach uległa zmniejszeniu, ale problem ich zagospodarowania i unieszkodliwiania pozostał.

Z powstających odpadów komunalnych 95,75% składa się na składowiskach, 2,45% stanowią wyselekcjonowane surowce wtórne, pozostałe 1,8% odpadów poddaje się kompostowaniu. Zgodnie z zasadami ochrony środowiska i gospodarowania odpadami, po pierwsze należy minimalizować ilość powstawania odpadów, po drugie maksymalizować ich odzysk, a dopiero w przypadku, kiedy te dwa ogniwa są niemożliwe do realizacji należy w sposób bezpieczny dla środowiska je unieszkodliwiać, w tym składować.

Składowiska odpadów należą do grupy najtrudniejszych budowli inżynierskich, bowiem charakteryzuje je: powierzchnia od kilku do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych, pojemność – od setek tysięcy do milionów metrów sześciennych odpadów, miąższość składowanych odpadów – od kilku do kilkudziesięciu metrów, okres czynnej eksploatacji – do kilkudziesięciu lat, maksymalna szczelność i minimalne oddziaływanie na otoczenie. Składowiska odpadów komunalnych w klasyfikacji obiektów budowlanych ze względu na zagrożenie środowiska, które mogą powodować, należą (zgodnie z ENV 1997–1) do trzeciej kategorii geotechnicznej (Rosik-Dulewska 2007).

W Polsce odpady komunalne składowane są na obiektach: niezorganizowanych, półorganizowanych i zorganizowanych. Składowiska niezorganizowane zajmują zagłębienia terenu lub wyrobiska, bez dodatkowego specjalnego uszczelnienia. Efekty takiego składowania odpadów to: zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych, niekontrolowana emisja gazów do atmosfery, zanieczyszczenie otaczających obszarów rozwiewanymi ze składowiska pyłami i odpadami drobnej frakcji, nadmierny rozwój ptactwa i gryzoni. Nowoczesne składowiska w Polsce, spełniające wymogi ochrony środowiska, są dopiero wytworem ostatnich kilkunastu lat (Rosik-Dulewska 2007).

Każde składowisko, nawet prawidłowo zaprojektowane i eksploatowane, stanowi potencjalne ognisko zanieczyszczenia w swoim otoczeniu, dlatego konieczne jest prowadzenie monitoringu eksploatacyjnego i poeksploatacyjnego zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2002 r. (Rozporządzenie... 2002).

Przeszłość pozostawiła nam jednak obiekty składowania, które nadal stanowią zagrożenie dla środowiska. Z powyższych powodów badaniom wpływu składowisk odpadów na środowisko przypisuje się coraz większe znaczenie.

Celem prowadzonych badań było przedstawienie wpływu lokalnego, punktowego źródła zanieczyszczenia, jakim jest nieczynne (od trzynastu lat) składowisko odpadów komunalnych (zlokalizowane w wyrobisku pomargłowym), na stan jakości wód podziemnych (poziomu turońskiego i cenomańskiego), zalegających w zasięgu jego oddziaływania. Przedstawiono także dynamikę zmian właściwości chemicznych zachodzących w wodach podziemnych w analizowanym okresie czasu.

## FIZJOGRAFIA TERENU

Składowisko odpadów komunalnych dla miasta Opola (nieczynne od 1996 r.) zlokalizowano w wyrobisku pomargłowym „Grundman”, w centralnej części miasta.

W odległości około 500 m od granicy składowiska przeważają tereny zabudowane. Na wschód od terenu składowiska znajdują się ogrody działkowe, a na południowy-zachód zabudowania Przedsiębiorstwa Usług Komunalnych Remondis (byłego użytkownika i zarządcy składowiska). Badany obiekt od północy graniczy z Zespołem Szkół Zawodowych i budynkami internatu. W odległości dalszej 250–550 m znajdują się wielorodzinne budynki mieszkalne z ogródkami.

W rejonie składowiska występują dwa poziomy wód kredowego poziomu wodonośnego: turoński i cenomański.

Poziom turoński ma charakter szczelinowy. Skałą wodonośną są margle i wapienie margliste turonu, na głębokości od kilku do 35 m ppt. Ze względu na zmienność skał w profilu turonu szczeliny mają często niewielki zasięg i są wypełnione materiałem ilastym. Ogranicza to cyrkulację wody. Zwierciadło wód poziomu turońskiego zalega na głębokości 1,5–2,5 m ppt. i jest swobodne. Ilość płynącej wody zależy tu od spękania skały i wielkości opadów atmosferycznych. Współczynnik filtracji dla margli wapnistych wynosi  $4,2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . Migracja wód w spągowych częściach turonu jest utrudniona, dlatego, że zbudowane są one z margli ilastych, w których spękania i szczeliny mają ograniczony zasięg, niewielkie rozwarście i są zazwyczaj wypełnione materiałem ilastym. Ich współczynnik filtracji wynosi od  $1,7 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  do  $4,2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ .

Poziom turoński jest zasilany opadami atmosferycznymi na całej powierzchni wychodni poprzez warstwę zwietrzliny oraz infiltrację z utworów czwartorzędowych. Z danych hydrogeologicznych wynika, że spływ wód poziomu turońskiego odbywa się w kierunku Odry.

Skały cenomanu mieszczą drugi poziom wodonośny. Czas przesączania wód przez spągową warstwę margli o miąższości 7–9 m określono na około 21–38 lat. Zwierciadło wód poziomu cenomańskiego jest napięte. Warstwą napinającą w stropie są margle turonu, natomiast w spągu ily kajpru. Warstwę wodonośną stanowią różnoziarniste piaskowce cenomanu o współczynniku filtracji od  $8,4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  do  $2,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . Zalegają one na głębokości 35–65 m ppt. Po nawiercaniu w otworach studziennych i badawczych poziom wód cenomanu stabilizował się na około 15–17 m ppt. Zasilanie wód tego poziomu odbywa się głównie poprzez wychodnie na skrzydłach Niecki Opolskiej. Z dostępnych materiałów hydrogeologicznych wynika, że spływ wód poziomu cenomańskiego odbywa się w stronę byłego ujęcia wodociągowego przy ulicy Dubois (w kierunku WNW – studnia C–3 – zasypana od października 1997r.).

Klimat miasta Opolą jest kształtowany przez bliskie sąsiedztwo Sudetów. Ma on też cechy klimatu oceanicznego, przejawiającego się łagodnymi przejściami pomiędzy porami roku. Według Schmucka Opolszczyzna należy do najcieplejszych regionów w Polsce o małym zróżnicowaniu termicznym. Maksymalne opady na Opolszczyźnie występują w lipcu i sierpniu (są one dwa do trzech razy wyższe niż w lutym i marcu). Teren jest stosunkowo dobrze przewietrzany (przeważają wiatry z kierunków S i NWW) (Strefa obserwacji... 1994).

Wyrobisko bez izolacji podłoża było eksploatowane jako składowisko odpadów komunalnych od 1945 r. Odpady składowano od głębokości 25 m, a jego powierzchnia wynosiła około 15 ha. W pierwszym okresie eksploatacji nie kontrolowano jakości składowanych odpadów.

Badania odpadów zapoczątkowano w 1975 roku. Składowanie odpadów w tym czasie oszacowano na około 130–140 000 m<sup>3</sup> na rok (3). W latach 1990–1995 składowano 180–255 000 m<sup>3</sup>/rok. W roku 1997 w części wschodniej i północno-wschodniej obiektu zeskładowano różne odpady po powodzi (Karwaczyńska 2000).

Rekultywację składowiska (większa niecka) zapoczątkowano w 1996 r. wg projektu, który obejmował: formowanie bryły, odprowadzanie odcieków, odgazowanie oraz nawiezenie warstwy ziemi urodzajnej o grubości 30 cm, uprawę mechaniczną, nawożenie, w tym wapnowanie, wysiew mieszanki traw. Docelowo zaplanowano zadrzewianie i zakrzewianie terenu (Karwaczyńska 2000).

## METODYKA BADAŃ

Punkty poboru wód podziemnych zlokalizowano na kierunku ich napływu i spływu ze składowiska (zachodnim i południowo-zachodnim – turon, północno-zachodnim – cenoman).

Jako punkt odniesienia dla wód turonu przyjęto piezometr P-1 zlokalizowany na dopływie wód (na wschód od składowiska), w odległości 200 m od niego. Umiejscowienie pozostałych piezometrów dla tego poziomu wodonośnego przedstawia się następująco:

- piezometr P-2: na kierunku spływu wód turonu, 260 m na północny-zachód od składowiska,
- piezometr P-3: na kierunku spływu wód turonu, 220 m na zachód od składowiska,
- piezometr P-4: na kierunku spływu wód turonu, 270 m na południowy-zachód od składowiska,
- piezometr P-5: znajduje się na składowisku „Grundman” – ujmowane z niego wody znajdują się pod czaszą obiektu.

Dla wód poziomu cenomańskiego punktem odniesienia – kontrolnym, jest piezometr C-7 znajdujący się na dopływie wód cenomanu na składowisko – 220 m na południowy wschód od niego. Położenie pozostałych studni i piezometrów:

- C-3: na kierunku spływu wód poziomu cenomańskiego – 800 m na północny-zachód od składowiska (zasypana od października 1997 r.),
- C-5: obok piezometru P-5 – ujmowane z niego wody znajdują się pod czaszą składowiska „Grundman”,
- C-6: na kierunku spływu wód cenomańskich, 200 m na wschód od składowiska.

Przed pobraniem prób wodę w piezometrach odpompowywano. Wody pobierano do butelek (szklanych i polietylenowych) i utrwalano. Ich analizę przeprowadzono wg metodyk przyjętych przez Polskie Normy. Wszystkie oznaczenia fotometryczne zostały wykonane na spektrofotometrze firmy PHILIPS PU 8620.

Oznaczenie metali ciężkich wykonano na absorpcyjnym spektrometrze atomowym (ASA), model PU 9100 X firmy UNICAM – PHILIPS.

Analizę statystyczną wyników analiz wód z poziomów wodonośnych wykonano w programie Microsoft Excel. Obliczono średnią wartość wskaźników w poszczególnych punktach poboru, a następnie różnice tych średnich. Ocena różnic wykonano przy poziomie istotności 0,05 (Karwaczyńska 2000).

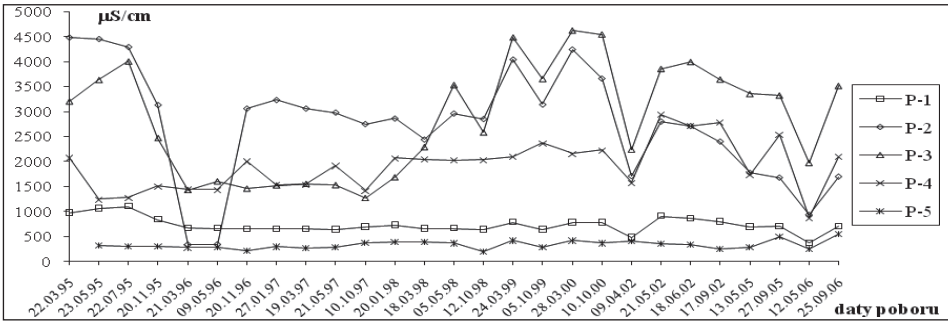
## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wiadomo, że oddziaływanie nieuszczelnionego składowiska na wody podziemne zależy m.in. od jakości i masy składowanych odpadów, sposobu eksploatacji, podatności środowiska gruntowo-wodnego na przenikanie i rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń.

Ryzyko zanieczyszczenia jest szczególnie duże wtedy, gdy (Karwaczyńska 2000):

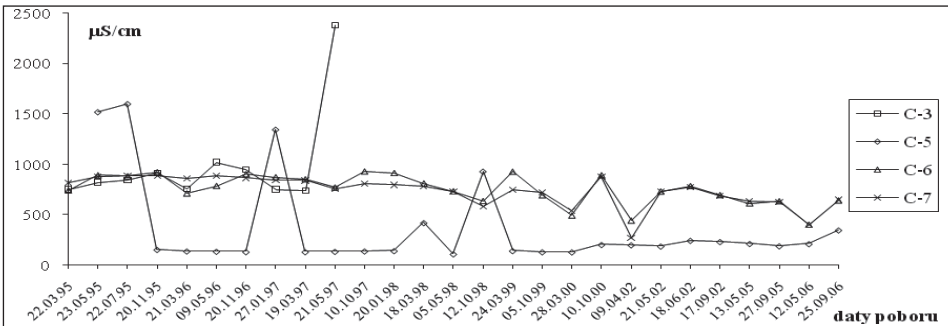
- a. droga przepływu jest relatywnie krótka,
- b. wody podziemne przemieszczają się szybko (10–100 cm/dobę)
- c. zanieczyszczenia odznaczają się dużą ruchliwością (jak np. związki azotu).

Z całej gamy wskaźników analizowanych w omawianych wodach podziemnych najlepiej ilustrują dynamikę przemian i przemieszczanie się zanieczyszczeń są: przewodność elektrolityczna właściwa, utlenialność, BZT<sub>5</sub>, formy azotu, chlorki, siarczany (Ryc. 1.–14.).



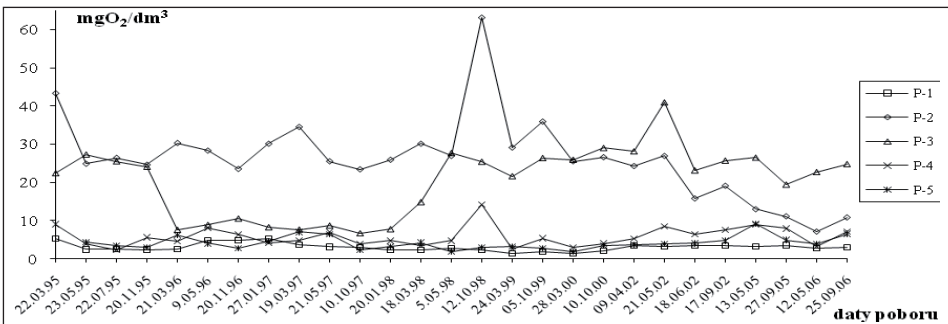
Ryc. 1. Przewodność w wodach poziomu turońskiego

Fig. 1. Conductivity in Turonian water



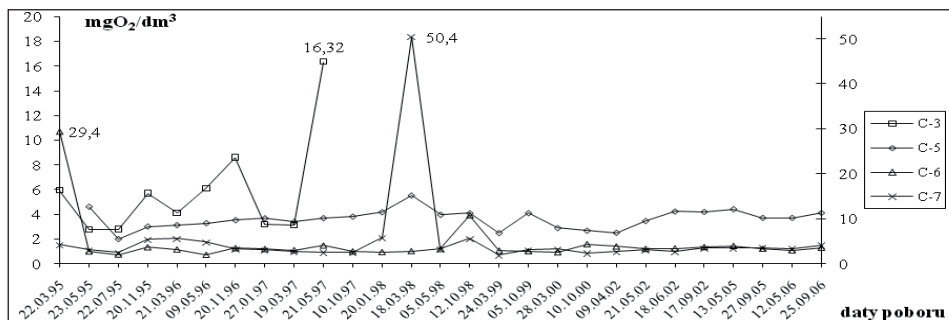
Ryc. 2. Przewodność w wodach poziomu cenomańskiego

Fig. 2. Conductivity in Cenomanian water

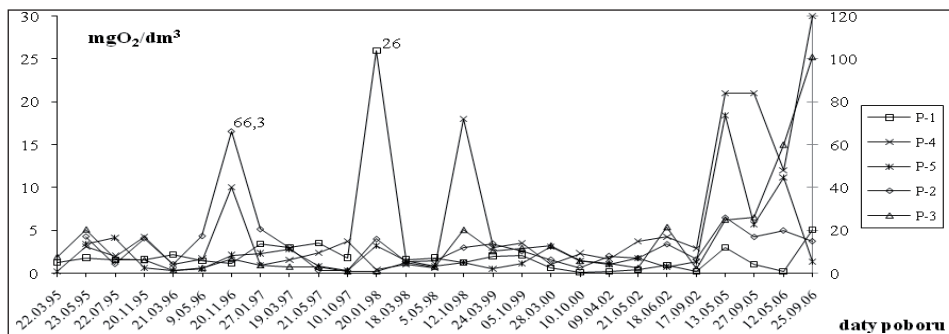


Ryc. 3. Utlenialność w wodach poziomu turońskiego

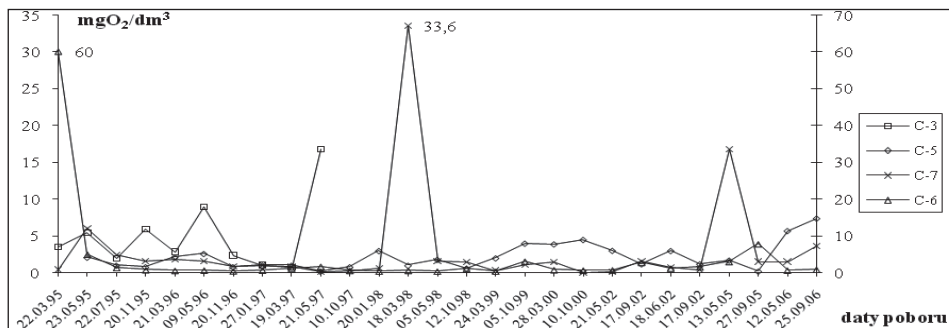
Fig. 3. Oxidation in Turonian water



Ryc. 4. Utlenialność w wodach poziomu cenomańskiego  
 Fig. 4. Oxidation in Cenomanian water

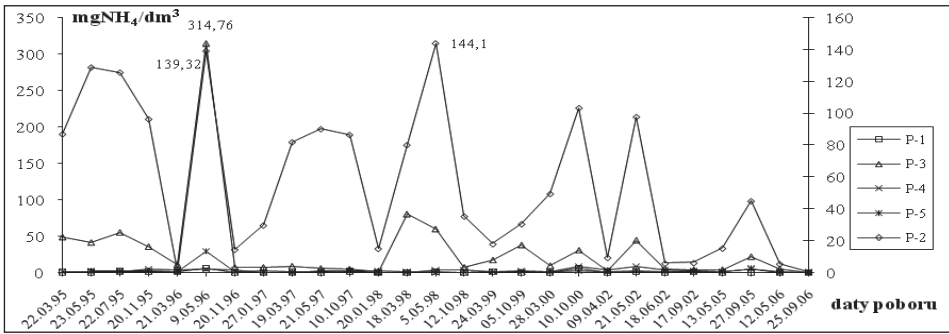


Ryc. 5. BZT<sub>5</sub> w wodach poziomu turonańskiego  
 Fig. 5. BOD<sub>5</sub> in Turonian water



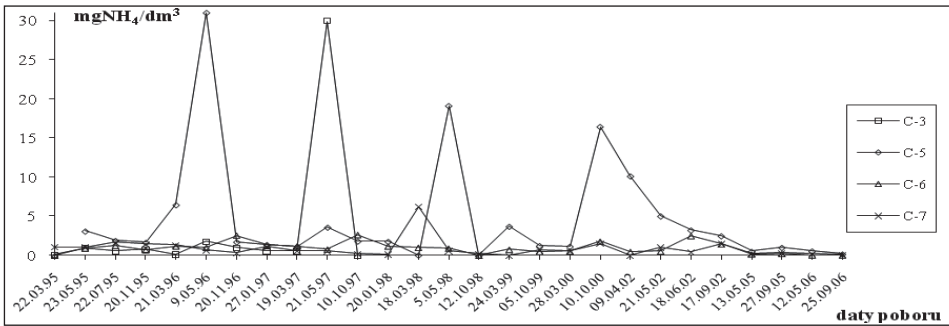
Ryc. 6. BZT<sub>5</sub> w wodach poziomu cenomańskiego  
 Fig. 6. BOD<sub>5</sub> in Cenomanian water





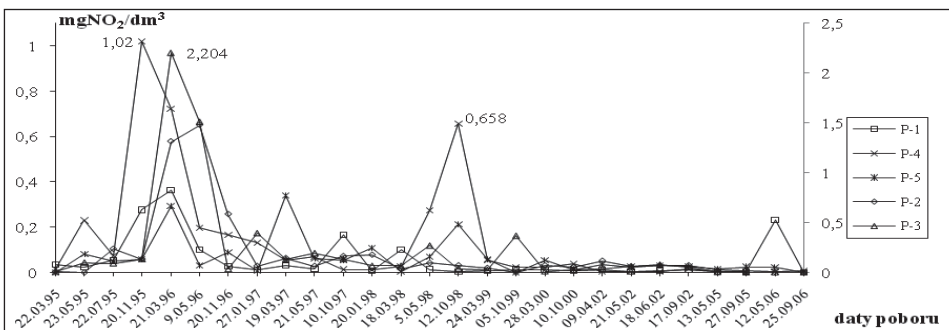
Ryc. 7. Zawartość amoniaku w wodach poziomu turońskiego

Fig. 7. Ammonia content in Turonian water



Ryc. 8. Zawartość amoniaku w wodach poziomu cenomańskiego

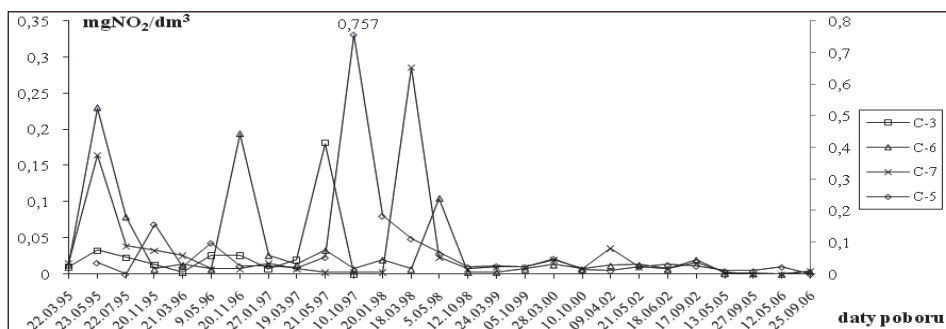
Fig. 8. Ammonia content in Cenomanian water



Ryc. 9. Zawartość azotynów w wodach poziomu turońskiego

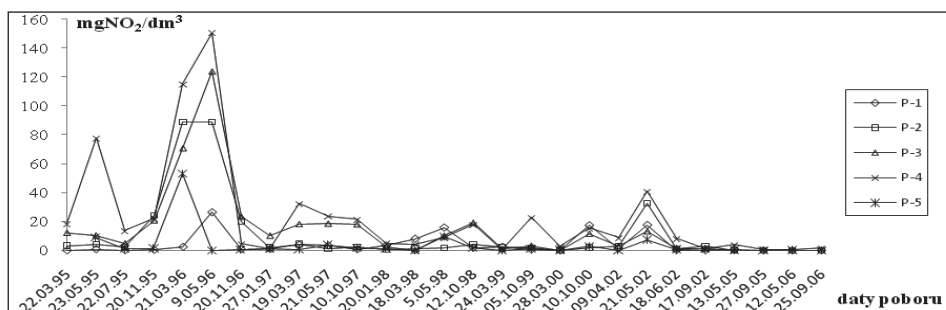
Fig. 9. Nitrite content in Turonian water





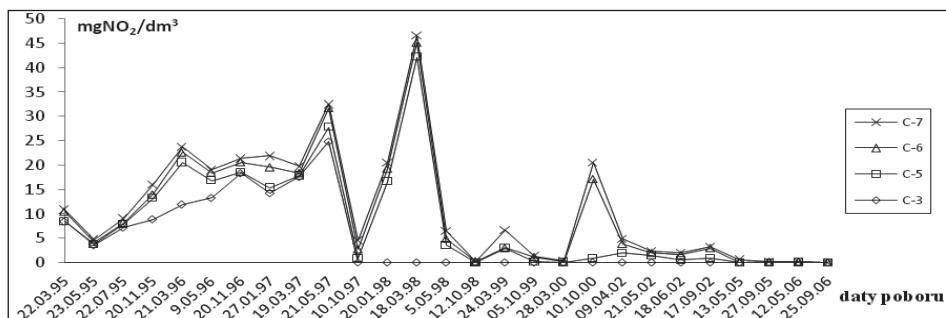
Ryc. 10. Zawartość azotynów w wodach poziomu cenomańskiego

Fig. 10. Nitrite content in Cenomanian water



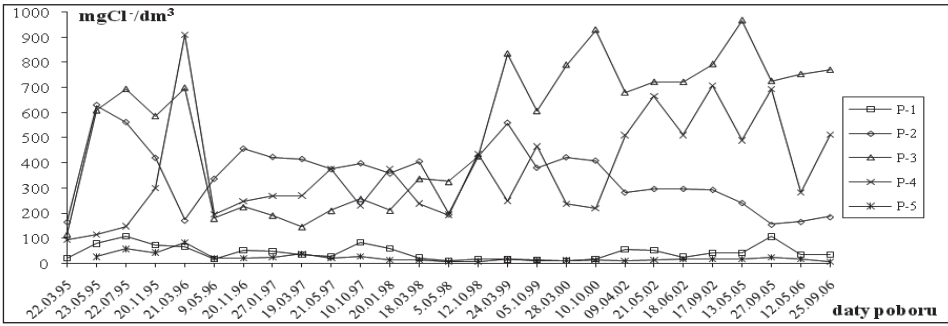
Ryc. 11. Zawartość azotanów w wodach poziomu turońskiego

Fig. 11. Nitrate content in Turonian water



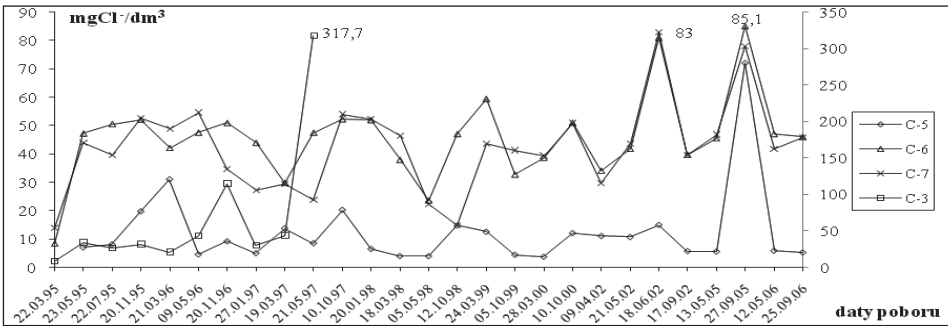
Ryc. 12. Zawartość azotanów w wodach poziomu cenomańskiego

Fig. 12. Nitrite content in Cenomanian water



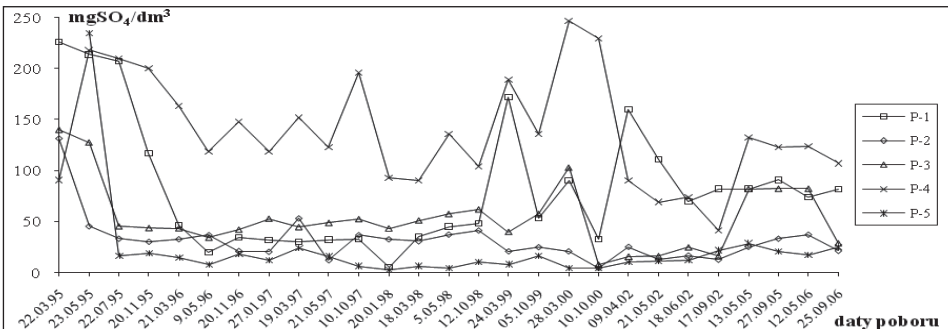
Ryc. 13. Zawartość chlorków w wodach poziomu turońskiego

Fig. 13. Chloride content in Turonian water



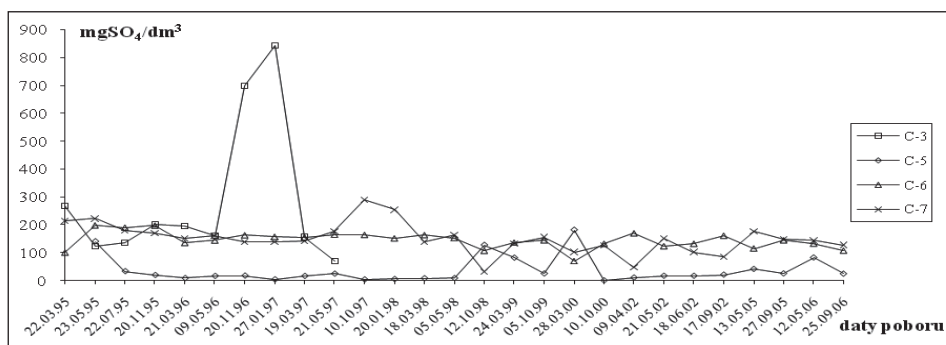
Ryc. 14. Zawartość chlorków w wodach poziomu cenomańskiego

Fig. 14. Chloride content in Cenomanian water



Ryc. 15. Zawartość siarczanów w wodach poziomu turońskiego

Fig. 15. Sulfate content in Turonian water



**Ryc.16.** Zawartość siarczanów w wodach poziomu cenomańskiego

**Fig.16.** Sulfate content in Cenomanian water

W czasie prowadzenia badań odczyn wszystkich analizowanych wód, z obu poziomów wodonośnych, zawierał się w przedziale (6,5–9,5) I klasy jakości wg Rozporządzenia z 23 lipca 2008 r. Badane wody pod względem odczynu spełniają kryteria stawiane wodzie do picia (Rozporządzenie... 2007).

W latach 1995–2006 najniższe i stabilne w czasie wartości przewodności właściwej oznaczono w wodach poziomu turońskiego (Ryc. 1.) w piezometrze P–5, położonym na rzędnych obszarze składowiska (I klasa wód – max nie przekracza 540  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Rozporządzenie...2008)). Może to wskazywać na kolmatację zmineralizowanych pozostałości zanieczyszczeń z odpadów w spągu składowiska. Nieco wyższe wartości tego wskaźnika (średnio 734  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) odnotowano w wodach z piezometru P–1 usytuowanego na napływie. Wody z piezometrów usytuowanych na spływie z obiektu (P–2 i P–3) charakteryzowały się bardzo wysokimi wartościami przewodności (max. 4480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – marzec 1995 r. w P–2 i 4620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – marzec 2000r. w P- 3) klasyfikując je tym samym do V i do IV klasy jakości wg Rozporządzenia (2008).

Przewodność właściwa w wodach poziomu cenomańskiego (Ryc. 2.) pobieranych ze wszystkich piezometrów mieściła się w przedziale wartości charakterystycznych dla wód klasy II wg Rozporządzenia (2008), a wartości średnie kształtowały się następująco: C–3 – 991  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , C–5 – 364  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , C–6 – 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , C–7 – 740  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . W wodzie z piezometru: C–3: przewodność wahała się od 738  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (marzec 1997 r.) do 2380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (maj 1997 r.), C–5 od 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (maj 1998 r.) do 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (lipiec 1995 r.), z C–6 od 399  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (maj 2006 r.) do 927  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (październik 1997 r.), z C–7 od 273  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (kwiecień 2002 r.) do 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$  (lipiec 1995 r., maj 1996 r.). Analiza statystyczna wykazała istotne różnice dla przewodności pomiędzy wodami napływającymi, a pozostałym i co sugeruje, iż były one zanieczyszczane na obszarze oddziaływania składowiska.

Najniższe wartości utlenialności (chemicznego zapotrzebowania na tlen metodą nadmanganianową) w wodach turonu (Ryc. 3.) zanotowano w wodzie z piezometrów: P-1 znajdującego się na napływie wód na składowisko – średnio  $3,04 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (max  $5,2 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  w marcu 1995 i styczniu 1997 r.), P-4 usytuowanego najdalej od składowiska – średnio  $5,9 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (max  $14,2 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  – październik 1998 r.) oraz P-5 – monitorującego wody spod czaszy składowiska – max  $9,3 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  – maj 2005 r.). W wodzie z piezometru P-2, usytuowanego w najbliższym sąsiedztwie obiektu (na kierunku spływu wód poziomu turońskiego), wartość utlenialności była najwyższa w październiku 1998 r. i wynosiła  $63,2 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ , a najniższa w maju 2006 r. –  $7,21 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ .

W wodach poziomu cenomańskiego utlenialność wód (Ryc. 4.) z piezometru C-5, ujmującego wody spod czaszy składowiska, utrzymywała się na najniższym poziomie (od  $2,0 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  – lipiec 1995 r., poprzez  $5,5 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  – marzec 1998 r. do  $4,1 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  – czerwiec 2006 r.). W wodach ze studni usytuowanych na spływie, utlenialność wahała się: w C-6 od  $1,92 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (min maj 1996 r.) do  $29,4 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (max marzec 1995 r.), w C-3 od  $2,78 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (maj 1995 r.) do  $16,32 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  (maj 1997 r.). Zasypanie studni C-3 (w okresie od maja do października 1997 r.) uniemożliwiło przeprowadzenie dalszych badań.

Utlenialność jako wskaźnik o dużym znaczeniu, głównie przy charakterystyce stopnia zanieczyszczenia wód związkami organicznymi, wskazuje na podobne tendencje w zróżnicowaniu stopnia zanieczyszczenia wód z piezometrów turonu i cenomanu na napływie, w stosunku do pozostałych. Istotność tych różnic potwierdziła także analiza statystyczna. Z powyższego wynika, że wody turonu przepływające na głębokości 2,5–14 m ppt. roznoszą jednak zanieczyszczenia ze składowiska na cały analizowany obszar. Wskaźnik ten nie jest normowany Rozporządzeniami (Rozporządzenie... 2007, Rozporządzenie... 2008).

Najniższe biologiczne zapotrzebowanie na tlen, wyrażane wskaźnikiem  $\text{BZT}_5$ , oznaczono w wodach turońskich (Ryc. 5.) na kierunku ich napływu na składowisko, tj. pobranych z piezometru P-1 (średnia  $2,55 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ ) oraz ujmowanych spod czaszy składowiska z piezometru P-5 (średnia  $2,74 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ ), co oznacza, że były one najmniej zanieczyszczone. Najwyższe wartości  $\text{BZT}_5$  oznaczono w wodach turonu pobranych z piezometru P-2 (max.  $66,3 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  w listopadzie 1996 r.) i P-3 (max.  $101 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  we wrześniu 2006 r.), znacznie niższe z P-4 (max.  $30 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  we wrześniu 2006 r.).

O ile oczywistym wydaje się być wzrost wartości  $\text{BZT}_5$  w wodach turonu o tyle niepokoi oznaczenie wyższych wartości  $\text{BZT}_5$  w wodach cenomanu (Ryc. 6.). Największe wahania  $\text{BZT}_5$  stwierdzono w wodach z piezometru C-3,

położonego najdalej od składowiska (800 m) na kierunku spływu wód (od 0,8 – marzec 1997 r. do 16,8 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> – maj 1997 r.).

Badania powyższe wskazują, że wody turonu były zanieczyszczone w większym stopniu niż wody cenomanu. Zdecydowanie niższe wartości stwierdzono w wodach turonu pobranych na kierunku napływu. Mimo widocznych różnic w oznaczonych wartościach, nie udowodniono ich statystycznie. Wskaźnik ten nie jest ujęty w klasyfikacji wód wg Rozporządzeń z 2007 i 2008r.

Występowanie amoniaku w badanych wodach jest ściśle związane z okresem wzrostu ilości powstających odcieków. W wodach turońskich (ryc. 7.) ujmowanych na napływie, zawartość jonów amonowych (oprócz początkowego okresu badań) utrzymywała się na stałym, niskim poziomie. Największe ilości NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w wodach turonu oznaczono na kierunku spływu tych wód z obiektu badań: w piezometrach P-2 (max. 144 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – maj 1998 r.) i P-3 (max. 314 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – maj 1996 r.) – V klasa wg rozporządzenia (2008). Po okresie występowania najwyższych stężeń tego wskaźnika następował gwałtowny jego spadek (marzec 1996 r. P-2, czy styczeń 1998 r. P-3).

Stężenie jonów amonowych w wodach drugiego poziomu wodonośnego (ryc. 8.) w początkowym okresie badań było wysokie, a tym samym klasyfikowało wody z piezometru C-3 (max 29,9 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – maj 1997 r.) i C-5 (max 31 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – maj 1996 r.) do klasy V, a z C-6 (max 2,67 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – październik 1997 r.) do klasy IV wg rozporządzenia (2008). Tak wysoka zawartość azotu amonowego w cenomanie wskazuje na istnienie ich kontaktu z wodami pierwszego poziomu (turonu). Podczas badań prowadzonych w latach późniejszych (2000–2006) zawartość jonów amonowych w wyżej wymienionych wodach uległa kilkukrotnemu zmniejszeniu (do 0,17 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – w C-5 we wrześniu 2006 r. i do 0,04 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup> – w C-6 we wrześniu 2006 r.).

Najniższe zawartości jonów azotynowych (Ryc. 9. 10.) klasyfikujących wody do I klasy jakości wg rozporządzenia (2008) oznaczono w wodach ujmowanych spod czaszy składowiska (C-5 i P-5). Na przestrzeni 11 lat badań zawartość tego wskaźnika w wodach poziomu turońskiego pobieranych na spływie ze składowiska uległa wyraźnemu zmniejszeniu (tzn. do roku 1998 były one pozaklasowe, w roku 2000 – zaliczono je do klasy III, a w 2006 – do klasy I wg rozporządzenia (2008)), oprócz wód z P-2 (0,23 mg<sub>NO2</sub>/dm<sup>3</sup> w roku 2006 – III klasa jakości), co jest dowodem na zachodzący proces samooczyszczania (utlenianie amoniaku) w strefie saturacji.

Wody cenomańskie charakteryzowały się bardzo niską zawartością azotynów spełniając tym samym normy wody pitnej wg rozporządzenia (2007).

Najniższą zawartość azotanów, spełniającą normy wód I klasy jakości wg Rozporządzenia z 2008 r., oznaczono w poziomie cenomańskim (Ryc. 11.) w wodach ujmowanych na napływie na obiekt (C-7 – max. 3,63 mg<sub>NO3</sub>/dm<sup>3</sup>).

Nieco wyższą zawartość tego wskaźnika oznaczono w wodach turońskich (Ryc. 12.) na napływie (P-1 – średnio  $4,11 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ , ale w początkowym okresie badań – maj 1996 r., maximum wynosiło  $26,6 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ ). Zawartość azotanów w wodach cenomanu oznaczono na zdecydowanie niższym poziomie w porównaniu do poziomu turońskiego, ale dynamika zmian była duża (w C-3 od  $3,54 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$  do  $24,9 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ , w C-5 od 0 do  $42,2 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ , w C-6 od 0 do  $16,3 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ ).

Wody turońskie z pozostałych punktów pomiarowych zaliczono do klasy IV (P-2 – max.  $89 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$  – marzec i maj 1996 r.) i V (P-3 – max.  $124 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$  – maj 1996 r. i P-4 max  $151 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$  – maj 1996 r., P-5 max.  $53,2 \text{ mg}_{\text{NO}_3}/\text{dm}^3$ ) w początkowym okresie badawczym, natomiast do roku 2006 jakość tych wód uległa zdecydowanej poprawie.

Najniższe zawartości jonów chlorkowych (odpowiadające I klasie jakości (Rozporządzenie... 2008)) oznaczono w wodach obu poziomów wodonośnych (Ryc. 13., 14.) z punktów: na napływie – kontrolnych oraz ujmujących wody spod czaszy składowiska, tj. P-5 – turon i C-5 – cenoman. W wodach turonu ujmowanych na spływie z obiektu zawartość chlorków była bardzo wysoka:  $968 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$  w P-3 (maj 2005 r.),  $910 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$  w P-4 (marzec 1996 r. i wrzesień 2002 r.),  $630 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$  w P-2 (maj 1995 r.), klasyfikując je tym samym do wód V klasy wg rozporządzenia z 2008 r.

W wodach poziomu cenomańskiego najwyższe zawartości chlorków (podobne do średnich zawartości w wodach turonu) zaobserwowano w piezometrze C-3 (max  $318 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – maj 1997r.) klasyfikując je tym samym do IV klasy jakości wg rozporządzenia z 2008 r.. W wodach z pozostałych punktów pomiarowych zawartości chlorków były znacznie niższe (klasyfikując je do II klasy jakości (Rozporządzenie... 2008)) mimo, że charakteryzowały się znaczą dynamiką (w C-6 od  $8,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – marzec 1995 r. poprzez  $81 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – czerwiec 2002r. do  $47 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – maj 2006 r., w C-7 od  $14,1$  – marzec 1995 r. poprzez  $83$  – czerwiec 2002 r. i  $46 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – wrzesień 2006 r.).

Tylko w wodach z piezometru C-3 (max  $843,1 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$ ) siarczany oznaczono w ilościach kwalifikujących je do najniższej klasy – V wg rozporządzenia z 2008 r., natomiast wody z punktów na napływie – kontrolnych, jak i we wszystkich pozostałych (obu poziomów – ryc. 15, 16) – przyjmują wartości charakterystyczne dla II klasy jakości. Wody cenomańskie charakteryzowały się wyższą zawartością siarczanów niż wody turońskie, co może wskazywać, iż pochodzą one z wymywania ze skał oddzielających oba poziomy wodonośne.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można wyróżnić trzy strefy wód o zróżnicowanym stopniu zanieczyszczenia.

Do strefy pierwszej zaliczyć należy wody ujmowane z piezometrów kontrolnych (C-7 i P-1) zlokalizowanych na napływie wód podziemnych na składowisko i nie mających kontaktu z odciekami. Wody z piezometru P-1 zloka-



lizowanego na wschód od składowiska, w odległości 200 m od niego, charakteryzowały się dużą stałością badanych wskaźników (z wyjątkiem chlorków, azotanów, jonów amonowych – na co prawdopodobnie miała wpływ powódź w 1997 r.).

Strefę drugą stanowią wody pobierane z piezometrów zlokalizowanych na terenie składowiska (P-5 i C-5). Pomimo bezpośredniego kontaktu tych wód z odciekami ze składowiska nie zaobserwowano tu wyraźnie wysokich wartości wskaźników zanieczyszczeń (klasa I i II (Rozporządzenie... 2008). Podwyższone stężenia w omawianych wodach oznaczono tylko dla jonów amonowych.

Strefa trzecia to wody ujmowane z piezometrów zlokalizowanych na spływie (P-2, P-3, P-4 – turon, C-6 – cenoman). Wody z piezometru P-2, usytuowanego w bezpośrednim sąsiedztwie składowiska, charakteryzowały się bardzo wysoką zawartością takich wskaźników jak: utlenialność, jony amonowe, przewodność elektrolityczna właściwa, które kwalifikują je do wód najniższej, V klasy jakości. Wody z P-3, usytuowanego na kierunku spływu nieco dalej od składowiska, również zaliczamy do wód najniższej jakości ze względu na wartości: przewodnictwa, utlenialności, chlorków oraz jonów amonowych. Wody ujmowane z piezometru P-4, leżącego najdalej od składowiska, charakteryzują się nieco lepszymi wartościami ww. parametrów pozwalającymi na zakwalifikowanie ich do II i III klasy jakości (Rozporządzenie... 2008).

Wody cenomańskie ujmowane ze studni C-6 kwalifikują się do klasy II i III. Obserwuje się wzrost wartości analizowanych wskaźników w stosunku do wód z piezometru C-5 (zanieczyszczenia są wymywane i transportowane do niżej położonej studni C-6). Na spływie obserwuje się kilkakrotnie niższą zawartość tlenu (jako  $BZT_5$ ) w stosunku do wód ze studni kontrolnej C-7, co wskazuje na intensywne zużywanie go do procesów biochemicznych zachodzących w wodach przepływających pod czaszą składowiska.

Uzyskane, na przestrzeni jedenastu lat badań, wyniki wskazują na znaczną dynamikę zmian wartości analizowanych wskaźników.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania stanowią podstawę dla przedstawienia następujących wniosków:

1. Ocieki składowiskowe mają kontakt z wodami poziomu turonu, na co wskazują istotne statystycznie różnice pomiędzy wodami na napływie, a pozostałymi dla: utlenialności, przewodności,  $BZT_5$ , azotu amonowego, chlorków.

2. Mimo, że od zamknięcia obiektu upłynęło już 13 lat, nadal stanowi on główny punkt zanieczyszczenia wód podziemnych. Na podstawie analizy otrzymanych wyników stwierdzono, iż wody turońskie ługujące zwartość czaszy



składowiska charakteryzują się bardzo niską jakością i stanowią potencjalne zagrożenie dla niżej położonego poziomu cenomańskiego, który jest po części poziomem wodonośnym dla miasta Opola.

3. Zanieczyszczenie wód cenomanu wskazuje na kontakt tej warstwy wodonośnej z zanieczyszczonymi przez odcieki wodami turonu, a to sugeruje o występowaniu spękań skał wapiennych w partiach spągowych turonu.

4. O istotnym i niepodważalnym wpływie omawianego obiektu na środowisko świadczy fakt, iż najsilniej zanieczyszczone były wody z piezometrów turonu i cenomanu znajdujących się w najbliższym sąsiedztwie składowiska, na kierunkach ich spływu (P-2, C-3).

5. Podwyższone wartości zanieczyszczeń w wodach turonu i cenomanu charakteryzują się dużą zmiennością w czasie.

#### Literatura:

- Karwaczyńska U., 2000, Wpływ składowiska odpadów komunalnych na dynamikę przemian fizyko-chemicznych w wybranych elementach środowiska, rozprawa doktorska, maszynopis IPIŚ PAN Zabrze.
- Rosik-Dulewska Cz., 2007, *Podstawy gospodarki odpadami*, PWN Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów, 2002, *Dz. U.* Nr 220, poz. 1858.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, 2007, *Dz. U.* Nr 61, poz. 417.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych, 2008, *Dz.U.* Nr 143, poz.896.
- Strefa obserwacji oddziaływania istniejącego składowiska odpadów komunalnych, 1994, Projekt POLWOD, Opole.