

Wpłynęło 13.10.2014 r.
Zrecenzowano 25.11.2014 r.
Zaakceptowano 20.01.2015 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ZAGROŻENIA MIKROBIOLOGICZNE WÓD PODZIEMNYCH W STREFIE ODDZIAŁYWANIA SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH

Jacek GRZYB^{ABEF}, **Krzysztof FRĄCZEK**^{BD}, **Maria J. CHMIEL**^{DE}

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii

Streszczenie

Składowisko odpadów komunalnych stanowi bardzo specyficzne środowisko ze względu na ciągły dopływ materii organicznej i nieorganicznej w postaci odpadów. Powoduje to ciągły stan zagrożenia skażeniem bakteriologicznym okolicznych wód, zarówno powierzchniowych, jak i podziemnych.

Celem niniejszych badań było stwierdzenie, czy obecność składowiska i deponowanych na nim odpadów wpływa na jakość mikrobiologiczną wód podziemnych.

Badano liczebność bakterii mezofilnych, psychrofilnych oraz wskaźnikowych – bakterii z grupy *coli*, paciorkowców kałowych oraz *Clostridium perfringens*.

Stwierdzono dużą liczebność wszystkich badanych grup bakterii w wodach pochodzących z 9 badanych piezometrów. Było to rezultatem zanieczyszczenia tych wód przez odcieki pochodzące ze składowiska.

Słowa kluczowe: bakterie, skażenie mikrobiologiczne, składowisko, wody podziemne

WSTĘP

Aktywność człowieka od zarania dziejów powoduje powstawanie odpadów. Ilość produkowanych odpadów przez całe dziesięciolecia stale wzrastała. Stwierdzono istnienie ścisłej zależności pomiędzy ilością produkowanych odpadów a PKB na głowę mieszkańca. W ciągu ostatnich kilkunastu lat ta tendencja uległa zahamowaniu [GIUSTI 2009].

Do cytowania For citation: Grzyb J., Frączek K., Chmiel M.J. 2015. Zagrożenia mikrobiologiczne wód podziemnych w strefie oddziaływania składowiska odpadów komunalnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 1 (49) s. 47–58.

Liczba składowisk odpadów w Polsce od 2005 r. zmalała o połowę. W tym samym okresie zmniejszyła się również o kilkanaście procent masa odpadów deponowanych na składowisku. Polacy nie zmniejszyli nagle wytwarzania śmieci. Te kilkanaście procent z całej masy odpadów jest obecnie albo zbierane selektywnie, albo też unieszkodliwiane w spalarniach lub kompostowniach [GUS 2013]. Wciąż jednak corocznie na składowiskach są deponowane ogromne ilości odpadów (ponad 9,5 mln Mg), co stanowi zagrożenie dla środowiska przyrodniczego na przyległych terenach. Zanieczyszczeniem przez odcieki pochodzące z odpadów są zagrożone wody podziemne. Stopień ich zanieczyszczenia jest uzależniony od kilku czynników: właściwości fizykochemicznych deponowanych odpadów, ich składu i ilości, a także miejsca ich deponowania, zastosowanych rozwiązań technologicznych mających na celu ochronę gruntu oraz sposobu ujęcia odcieków.

Ze względu na zagrożenia stwarzane przez składowiska konieczne jest prowadzenie ich monitoringu zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów [Rozporządzenie... 2013]. W odniesieniu do wód podziemnych ustawodawca nakazuje wykonywanie pomiarów ich poziomu oraz oznaczanie wybranych parametrów fizykochemicznych: pH, przewodności elektrolitycznej, OWO (ogólnego węgla organicznego), sumy WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych) oraz stężenia kilku metali ciężkich). Spośród parametrów mikrobiologicznych są wymienione jedynie dwa: liczebność bakterii z grupy *coli* i termotolerancyjnych bakterii z grupy *coli*. Badania te powinny być wykonywane w fazie eksploatacji (na sektorze czynnym) – co 3 miesiące, a w fazie poeksploatacyjnej (na sektorach zrehabilitowanych) – co 6 miesięcy.

Wody podziemne, jako największe zasoby słodkiej wody w Unii Europejskiej, są głównym źródłem zaopatrzenia w wodę pitną w wielu regionach. Wody podziemne, najbardziej narażone na zanieczyszczenie, tworzą zasób naturalny, który powinien być chroniony przed pogorszeniem stanu i zanieczyszczeniem, zarówno chemicznym, jak i mikrobiologicznym [WIOŚ 2013].

Parametry wód podziemnych istotnie różnią je od wód powierzchniowych. Są to: stosunkowo wolny przepływ, dłuższe czasy zatrzymania i bardzo powolna eliminacja zanieczyszczeń, związana m.in. z ich właściwościami fizyczno-chemicznymi i biologicznymi [OLAŃCZUK-NEYMAN 2001].

Na zanieczyszczenie wód podziemnych oraz powierzchniowych, a także gleb na terenach przyległych do składowisk odpadów komunalnych największy wpływ mają odcieki z masy odpadów. Ilość powstających odcieków zależy między innymi od okresu eksploatacji składowiska, rodzaju odpadów, sposobu ich składowania oraz wielkości opadów atmosferycznych. Skład odcieków zależy od etapu rozkładu odpadów i substancji, które są w nich zawarte [PODGÓRSKI 1998; SZYMAŃSKI 1997].

Badania wód podziemnych wokół składowisk są prowadzone nie tylko w ramach wymaganego prawem monitoringu, lecz również w ramach szeroko zakrojo-

nych badań naukowych [BOJARSKA i in. 2001; GOLIMOWSKI i in. 2001; LUCYGA i in. 2011; TALALAJ 2001].

CEL BADAŃ

Celem badań mikrobiologicznych wokół składowiska odpadów komunalnych było stwierdzenie, czy obecność składowiska i deponowanych na nim odpadów wpływa na jakość mikrobiologiczną wód podziemnych. Badania przeprowadzono ze względu na możliwość mikrobiologicznego skażenia wód podziemnych przez odcieki pochodzące ze składowanych odpadów.

METODY BADAŃ

Składowisko Barycz w Krakowie jest eksploatowane od 1974 r. Jego całkowita powierzchnia wynosi 37 ha. Z sektora pierwszego korzystano od końca 1974 r. do 1992 r., z drugiego – do 2005 r., a obecnie jest eksploatowany trzeci, jedenastohektarowy sektor, który pierwotnie stanowił nieckę. Deponowanie odpadów odbywa się na wydzielanych polach eksploatacyjnych o powierzchni ok. 300 m². Deponowane odpady są codziennie zgniatane kompaktorami do warstwy o miąższości 2 m, dezynfekowane wapnem chlorowanym i izolowane warstwą ziemi o grubości 20–25 cm lub pianką izolacyjną „Plastsoil” (wodny roztwór żywicy formaldehydowo-mocznikowej). Począwszy od 1998 r. jest to składowisko w całości ponadpoziomowe.

W otoczeniu składowiska dominującą rolę pod względem wodonośności odgrywa poziom trzeciorzędowy mioceński M (piaski bogucickie).

Do wód podziemnych w rejonie składowiska mogą infiltrować zanieczyszczenia pochodzące z jego terenu. Aby temu zapobiec, odcieki ze składowiska są ujmowane przez system drenażowy poprowadzony u podłoża obwałowań od strony wewnętrznej. Zbierające się odcieki są kierowane bezpośrednio do miejskiego kolektora sanitarnego, którym są odprowadzane grawitacyjnie do Oczyszczalni Ścieków Płaszów w Krakowie.

Próbki wód podziemnych do badań mikrobiologicznych pobierano z 9 piezometrów zlokalizowanych na kierunku spływu wód wokół terenu składowiska (rys. 1). Próbki pobierano próbnikiem czerpakowym raz na kwartał, w latach 2011–2012 (w lutym, maju, sierpniu i listopadzie). Przypisywano je do określonej pory roku. Przed pobraniem próbek do badań stosowano pompowanie oczyszczające, w celu wymiany wody stojącej w piezometrze na świeżą, napływającą z warstwy wodonośnej. Piezometry WP1–WP7 ujmowały wody podziemne spływające z czynnego (III) sektora składowiska, WP8 – z sektora II, czynnego do 2005 r., a WP9 – z sektora I, eksploatowanego do 1992 r. Obecnie sektory I i II są zrehabilitowane.



Rys. 1. Lokalizacja piezometrów, z których pobierano próbki do badań; źródło: opracowanie własne

Fig 1. The location of piezometers for collecting ground water samples; source: own elaboration

W celu określenia liczebności bakterii mezofilnych, bakterii psychrofilnych oraz *Clostridium perfringens* zastosowano posiew na szalki metodą kolejnych rozcieńczeń, z kolei by oznaczyć liczbę bakterii z grupy *coli*, termotolerancyjnych bakterii z grupy *coli* oraz paciorkowców kałowych zastosowano metodę filtracji membranowej, używając filtrów o średnicy porów $0,45 \mu\text{m}$ (objętość filtrowanej wody wynosiła 100 cm^3). Po okresie inkubacji wyznaczano liczbę jednostek tworzących kolonie badanych mikroorganizmów w 1 cm^3 wody (bakterii mezofilnych i psychrofilnych), w 100 cm^3 wody (bakterii z grupy *coli* i termotolerancyjnych bakterii z grupy *coli*) lub miano (paciorkowców kałowych i *Clostridium perfringens*). Zakres badań oraz warunki inkubacji drobnoustrojów przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie badania wykonano zgodnie ze standardowymi procedurami mikrobiologicznymi dotyczącymi tego typu badań.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Największą liczebność bakterii mezofilnych stwierdzono w wodzie podziemnej pochodzącej z piezometru WP2 (z sektora czynnego – III) – szczególnie latem i jesienią 2011 r. W kolejnym roku liczebność tych bakterii w analogicznych okresach była 2–3-krotnie mniejsza. Sumaryczna liczebność tych drobnoustrojów z 8 pomiarów w wodzie z piezometru WP2 wynosiła prawie $900 \text{ tys. jtk} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Tabela 1. Warunki inkubacji i podłoża mikrobiologiczne do hodowli bakterii**Table 1.** Incubation parameters and microbiological media for bacteria cultivation

Badane bakterie Examined bacteria	Pożywka Medium	Temperatura inkubacji Incubation temperature °C	Czas inkubacji Incubation time h
Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	agar odżywczy nutrient medium	37	24
Bakterie psychofilne Psychrophilic bacteria	agar odżywczy nutrient medium	20	72
<i>Clostridium perfringens</i>	agar siarczynowo-żelazawy sulphite-ferrous medium	37	48
Bakterie grupy <i>coli</i> Coliform bacteria	agar Endo Endo medium	37	48
Termotolerancyjne bakterie grupy <i>coli</i> Thermo-tolerant coliform bacteria	agar Endo Endo medium	44	48
Paciorkowce kałowe Faecal streptococci	podłoże Slanetz-Bartley Slanetz-Bartley medium	37	48

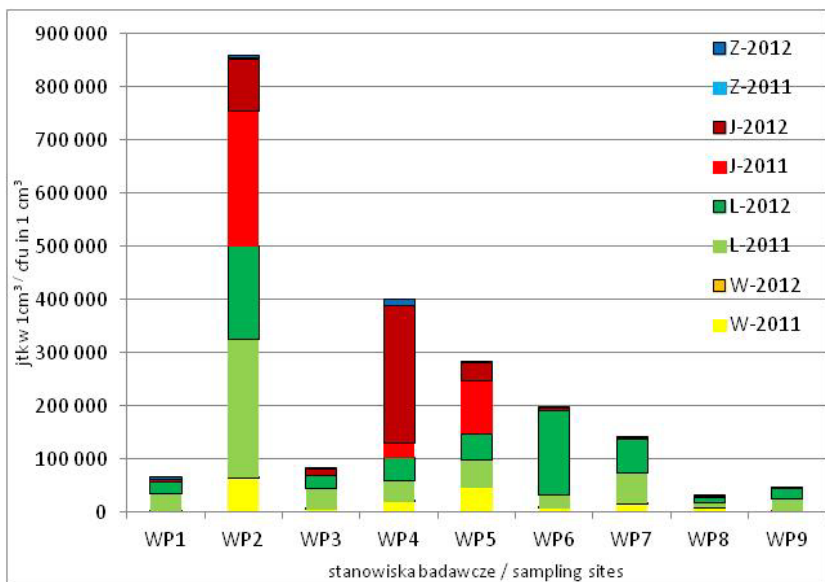
Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

W wodzie z piezometru WP4 (przy sektorze III) bardzo dużą liczebność bakterii mezofilnych stwierdzono jedynie jesienią 2012 r. Na drugim biegunie należy umieścić wyniki z piezometru WP8 (z sektora II czynnego do 2003 r.) – sumarycznie liczebność bakterii mezofilnych określona w całym okresie badawczym wyniosła niecałe 30 tys. jtk·cm⁻³ (rys. 2a).

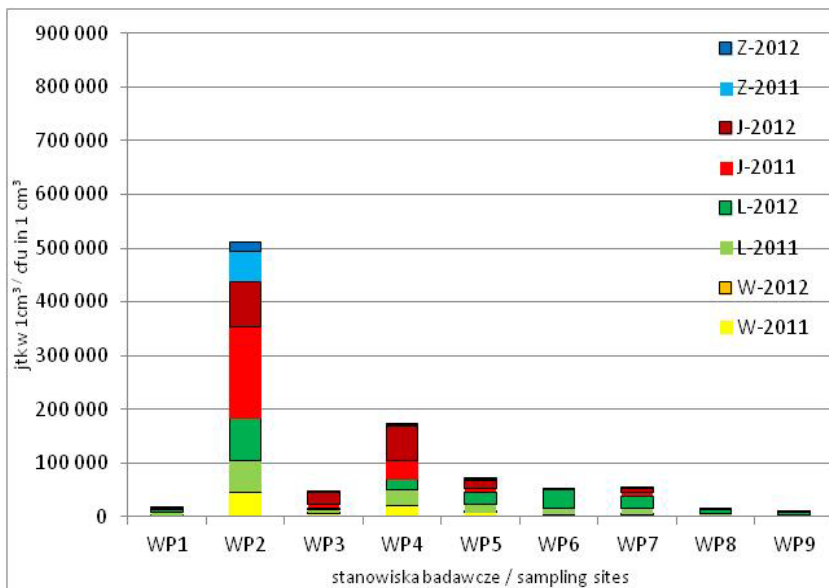
W przypadku bakterii psychrofilnych ponownie wyróżnia się woda pochodząca z piezometru WP2 (sektor III), w której sumaryczna liczebność tych drobnoustrojów, określona we wszystkich pomiarach, wynosiła ponad 500 tys. jtk·cm⁻³. Największą liczebność bakterii psychrofilnych stwierdzono w wodzie z tego piezometru jesienią 2011 r. (170 tys. jtk·cm⁻³), a równie znaczącą – latem i jesienią kolejnego roku. Liczebność tej grupy bakterii w wodzie z innych piezometrów była znacząco mniejsza. W wodzie z piezometru WP9 (sektor I, eksploatowany do 1992 r.) sumaryczna liczebność ($n = 8$) bakterii psychrofilnych wyniosła jedynie ok. 8 tys. jtk·cm⁻³. Równie małą liczebność zanotowano w wodzie z piezometrów WP1 i WP8. Średnia ze wszystkich pomiarów liczebność bakterii psychrofilnych w poszczególnych piezometrach wynosiła od $6 \cdot 10^5$ do $3 \cdot 10^2$ jtk·cm⁻³ (rys. 2b).

Bakterie grupy *coli* są wskaźnikiem kałowego skażenia wody. Obecność tych bakterii świadczy o stosunkowo świeżym zanieczyszczeniu wody kałem, ściekami, glebą lub gnijącym materiałem roślinnym. Bakterie grupy *coli* to szczepy *Escherichia coli* oraz drobnoustroje pochodzące z rodzajów: *Enterobacter*, *Citrobacter* i *Klebsiella* [TYSKI, ROGULSKA 1999].









a) mezofilnych mesophilic



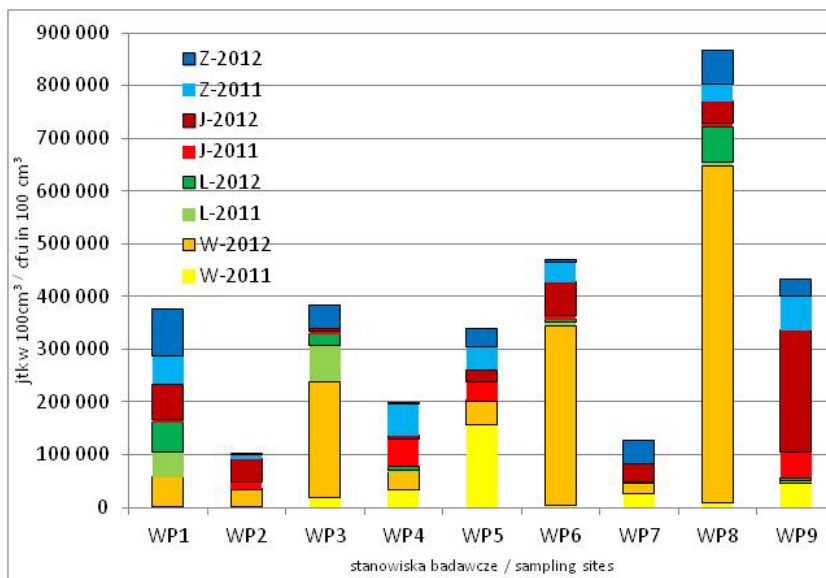
b) psychrofilnych psychrophilic



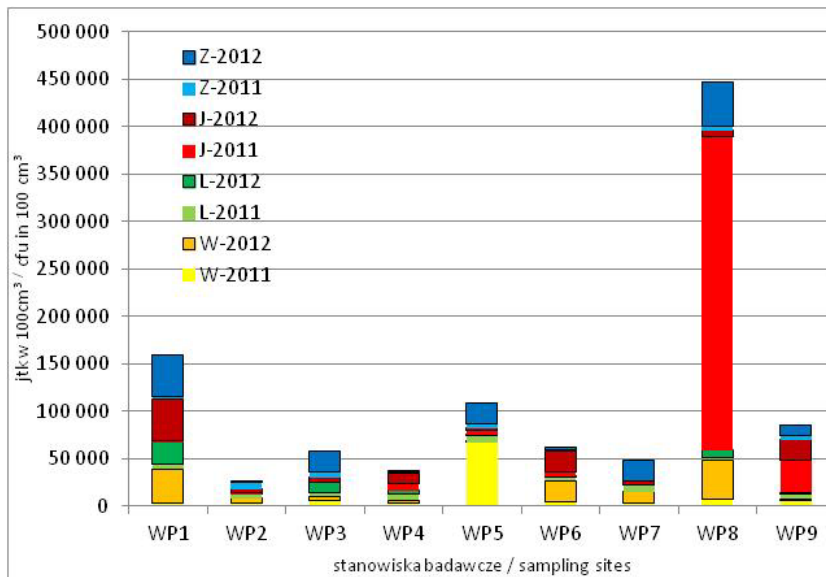
Legenda

	Z-2012 – zima winter 2012		Z-2011 – zima winter 2011
	J-2012 – jesień autumn 2012		J-2011 – jesień autumn 2011
	L-2012 – lato summer 2012		L-2011 – lato summer 2011
	W-2012 – wiosna spring 2012		W-2011 – wiosna spring 2011

c) grupy *coli* coliform



d) termotolerancyjnych grupy *coli* thermo-tolerant coliform



Rys. 2. Liczba bakterii w układzie pór roku; WP1–WP9 – piezometry jak na rysunku 1; źródło: wyniki własne

Fig. 2 Count of bacteria according to seasons; WP1–WP9 – piesometers as in fig. 1; source: own study

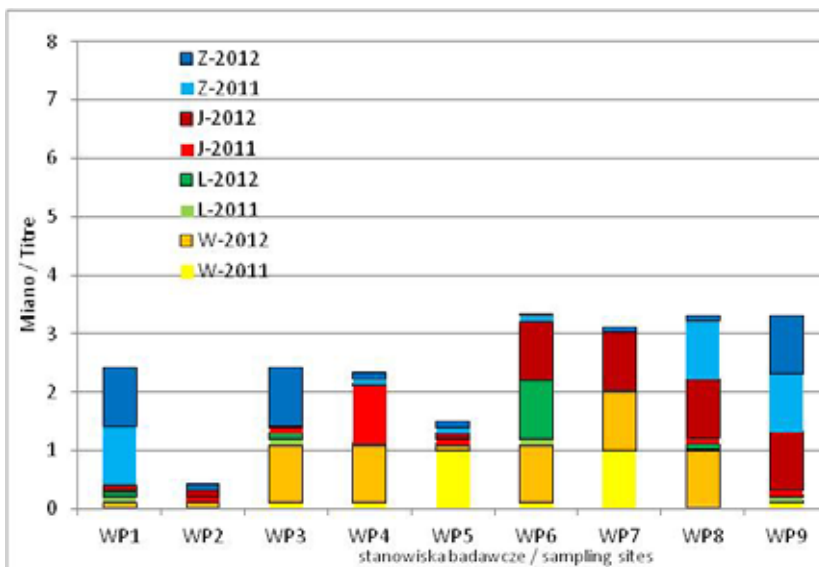
Najbardziej zanieczyszczona bakteriami z grupy *coli* była woda pochodząca z piezometru WP8 (sektor II). Sumaryczna liczebność bakterii tej grupy wynosiła prawie $9 \cdot 10^5$ jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$. Na ten rezultat w największym stopniu wpłynął wynik pomiaru wykonanego wiosną 2012 r. – liczebność badanych drobnoustrojów wyniosła wtedy $6 \cdot 10^5$ jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$, co stanowi 2/3 ich sumarycznej liczebności określonej w 8 pomiarach. Bardzo dużą liczebność bakterii z grupy *coli* stwierdzono wiosną 2012 r. w wodzie z piezometrów WP6 (340 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$) oraz WP3 (220 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$), zlokalizowanych wokół czynnego III sektora. Najmniejszą liczebność tych bakterii odnotowano w wodzie z piezometru WP2 (suma liczebności – ok. 100 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$). Średnia ze wszystkich pomiarów liczebność bakterii należących do tej grupy wynosiła od $4 \cdot 10^3$ do $5 \cdot 10^4$ jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$ (rys. 2c). GRISEY i in. [2010] badali liczebność bakterii z grupy *coli* w wodzie pochodzącej z piezometru zlokalizowanego przy składowisku Etueffont w północno-wschodniej Francji przez 15 miesięcy. Stwierdzili, że liczebność bakterii z grupy *coli* wynosi od 15 do $2 \cdot 10^4$ jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$ (średnio – $3,8 \cdot 10^3$ jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$). Największą liczebność zanotowali w lipcu.

Termotolerancyjnych bakterii grupy *coli* w wodach jest zazwyczaj mniej niż bakterii grupy *coli*, a ich liczebność jest zwykle bezpośrednio związana z ilością pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*), która stanowi trzon bakterii tworzących tę grupę. Prezentowane tu badania potwierdzają tę regułę – dotyczy to wód podziemnych ze wszystkich piezometrów. Największą liczbę bakterii tej grupy ponownie – podobnie jak w przypadku bakterii grupy *coli* – stwierdzono w wodzie z piezometru WP8 (sektor II). Sumaryczna liczebność określona we wszystkich pomiarach wynosiła ok. 450 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$, lecz w największym stopniu na ten rezultat wpłynął wynik jednego pomiaru – z jesieni 2011 r. (330 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$, co stanowi prawie 75% sumy). Prawie 3-krotnie mniejszą sumaryczną liczebność odnotowano w wodzie z piezometru WP1 – ok. 150 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$. Najmniej licznie ta grupa bakterii występowała w wodzie z piezometru WP2 – 25 tys. jtk $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$, czyli 18 razy mniej niż w wodzie z piezometru WP8 (rys. 2d).

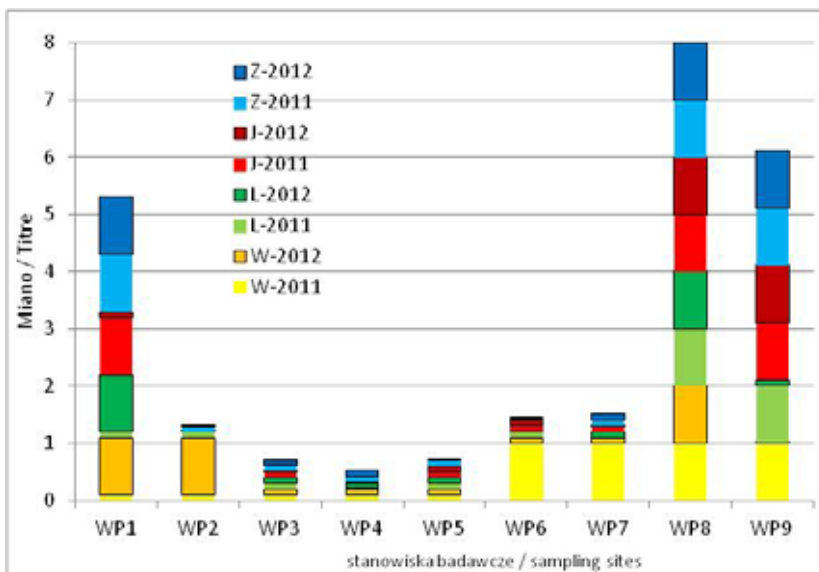
Bakterie należące do gatunku *Clostridium perfringens* to kolejny wskaźnik czystości wody, świadczący o obecności zanieczyszczeń, które pojawiły się najdawniej. Powszechnie uważa się, że obecność tych bakterii jest dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia wody pierwotniakami z rodzaju *Giardia* i *Cryptosporidium*. Wyniki w tym przypadku są podane jako miana, zatem największa wartość oznacza wodę najmniej zanieczyszczoną przez *Clostridium perfringens*. Nie zanotowano miana mniejszego niż 10^{-4} . Tę najmniejszą wartość stwierdzono w wodzie pochodzącej z piezometru WP2 latem 2012 r. W wodzie z tego piezometru zanotowano także najmniejszą sumaryczną wartość tego wskaźnika określoną w ciągu całego okresu badawczego. Najmniej licznie *C. perfringens* występował w wodzie z trzech piezometrów: WP6, WP8 i WP9. Najniższe miana tej bakterii notowano w większości przypadków w porze letniej, natomiast najwyższe – zimą. Obecność tej bakterii była najwyraźniej skorelowana z temperaturą, która zależała od pory

roku, można zatem wysnuć wniosek, że im wyższa temperatura, tym liczniej występuje *C. perfringens*, co jest spowodowane większym tempem biodegradacji odpadów (rys. 3a).

a) *Clostridium perfringens*



b) paciorkowców kałowych faecal streptococci



Rys. 3. Miano w układzie pór roku; oznaczenia jak na rysunku 2.; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Titre according to seasons; explanations as in Fig. 2; source: own study

Paciorkowce kałowe (enterokoki) żyją w środowisku wodnym dłużej niż bakterie z grupy *coli*, są bardziej odporne na działanie chloru, są stosowane jako wskaźniki czystości kąpielisk. Najbardziej w enterokoki obfituje woda podziemna z piezometru WP2 (sektor III). W przypadku tego piezometru zanotowano najbardziej zróżnicowane wyniki – miano wynosiło od 10^{-5} do 1, co świadczy o zmiennym skażeniu tymi bakteriami wskaźnikowymi – największe było latem i jesienią. Najmniej paciorkowców stwierdzono w przypadku wody z piezometru WP8 – 8-krotnie stwierdzono w nim miano wynoszące 1. Nieco bardziej zanieczyszczona była woda z piezometru WP9 (6-krotnie stwierdzono miano wynoszące 1) (rys. 3b). GRISEY i in. [2010] również badali obecność enterokoków w wodzie z piezometru. Ich wyniki były w dużym stopniu zbliżone z uzyskanymi w niniejszych badaniach.

Na podstawie występowania bakterii mezofilnych i psychrofilnych, a także pozostałych wskaźników mikrobiologicznych można stwierdzić, że wszystkie badane wody podziemne (pobierane z piezometrów WP1–WP9) były zanieczyszczone bakteriologicznie.

Stwierdzono istnienie zależności pomiędzy średnią liczebnością różnych grup bakterii a pochodzeniem wody z piezometrów zlokalizowanych przy różnych sektorach składowiska Barycz (tab. 2). Średnio najmniej bakterii psychrofilnych i mezofilnych było w wodach z piezometrów zlokalizowanych przy sektorach zrekultywowanych (I i II), a najwięcej – w wodach z piezometrów przy czynnym sektorze III. Odwrotna zależność występowała w przypadku obydwóch grup bakterii *coli*. Pomijając wodę pochodzącą z piezometru WP1, zlokalizowanego przy sektorze III, najbardziej zasobne w te bakterie były piezometry WP9 (sektor I) oraz WP8

Tabela 2. Ranking piezometrów ze względu na średnią liczebność bakterii

Table 2. Rank of piezometers based on the mean count of bacteria

Bakterie psychrofilne Psychrophilic bacteria	Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	Bakterie grupy <i>coli</i> Coliform bacteria	Termotolerancyjne bakterie grupy <i>coli</i> Thermo-tolerant coliform bacteria
jtk·cm ⁻³	cfu·cm ⁻³	jtk·(100 cm ³) ⁻¹	cfu·(100 cm ³) ⁻¹
III-WP2 (56 600)	III-WP2 (81 750)	III-WP1 (553)	III-WP1 (140)
III-WP4 (19 400)	III-WP5 (39 700)	I-WP9 (391)	I-WP9 (77)
III-WP5 (7 750)	III-WP4 (24 300)	II-WP8 (376)	II-WP8 (52)
III-WP3 (5 150)	III-WP6 (2 710)	III-WP5 (347)	III-WP5 (51)
III-WP7 (4 750)	III-WP1 (2 675)	III-WP3 (205)	III-WP3 (50)
III-WP1 (950)	III-WP3 (2 570)	III-WP4 (201)	III-WP4 (43)
III-WP6 (810)	III-WP7 (1 690)	III-WP7 (116)	III-WP7 (35)
II-WP8 (580)	II-WP8 (1 130)	III-WP6 (78)	III-WP6 (35)
I-WP9 (295)	I-WP9 (425)	III-WP2 (47)	III-WP2 (32)

Objaśnienia: WP1–WP9 – piezometry jak na rysunku 1. Explanations: WP1–WP9 – piezometers as to Fig. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

(sektor II). Podobną zależność zaobserwowała OLAŃCZUK-NEYMAN [2001], która stwierdziła, że w warunkach silnego i długotrwałego zanieczyszczenia zmniejsza się liczebność mikroflory autochtonicznej, do której zaliczają się badane bakterie mezofilne i psychrofilne.

WNIOSKI

1. Wody podziemne w strefie oddziaływania składowiska odpadów komunalnych są w znaczący sposób zanieczyszczone mikrobiologicznie i mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt w przypadku przedostania się do wody pitnej.

2. W badanych wodach podziemnych, w strefie oddziaływania składowiska odpadów komunalnych, stwierdzono występowanie zarówno licznych bakterii mezofilnych i psychrofilnych, jak i typowych drobnoustrojów będących wskaźnikami zanieczyszczenia sanitarnego, stosowanymi do badań wód (bakterii grupy *coli*, termotolerancyjnych bakterii grupy *coli*, paciorkowców kałowych oraz *Clostridium perfringens*).

3. Woda pochodząca z każdego z 9 badanych piezometrów była zanieczyszczona mikrobiologicznie przez odcieki pochodzące ze składowiska.

4. Stwierdzono zróżnicowanie liczebności badanych drobnoustrojów, zarówno w latach badań, jak i porach roku. Latem i jesienią w wodach z piezometrów dominowały bakterie mezofilne, *Clostridium perfringens* oraz paciorkowce; wiosną – bakterie grupy *coli*, a jesienią, w części piezometrów – bakterie psychrofilne oraz termotolerancyjne bakterie z grupy *coli*.

5. Wody z piezometrów zlokalizowanych przy wszystkich trzech sektorach składowiska są zanieczyszczone bakteriami z grupy *coli* i enterokokami (bakteryjne wskaźniki świeżego zanieczyszczenia kałowego), co świadczy o tym, że proces przenikania odcieków do wód gruntowych odbywa się w sposób ciągły.

6. Z przeprowadzonych badań wynika, że celowe jest prowadzenie monitoringu zanieczyszczenia wód gruntowych wokół składowiska odpadów komunalnych przez 30 lat po zakończeniu deponowania na nim odpadów. Konieczne jest także poszerzenie badań o parametry mikrobiologiczne.

LITERATURA

- BOJARSKA K., BZOWSKI W., ZAWIŚLAK J. 2001. Monitoring wód gruntowych i powierzchniowych w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem. W: Gospodarka odpadami komunalnymi. Pr. zbior. Red. K. Szymański. Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej. Kołobrzeg, maj 2001 r. Koszalin. Wydaw. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej s. 103–112.
- GOLIMOWSKI J., KODA E., MAMEŁKA D. 2001. Monitoring wód w rejonie rekultywowanego składowiska odpadów komunalnych. W: Gospodarka odpadami komunalnymi. Pr. zbior. Red. K. Szymański. Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej. Kołobrzeg, maj 2001 r. Koszalin. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej s. 87–102.

- GIUSTI L. 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*. Vol. 29 s. 2227–2239.
- GRISEY E., BELLE E., DAT J., MUDRY J., ALEYA L. 2010. Survival of pathogenic and indicator organisms in groundwater and landfill leachate through coupling bacterial enumeration with tracer tests. *Desalination*. Vol. 261. Iss. 1–2 s. 162–168.
- GUS 2013. Mały rocznik statystyczny Polski 2013. Rocznik 56. Warszawa. ISSN 1640-3630.
- LUCYGA A., PŁAZA G., MATEJCYK M., ULFIG K. 2011. Charakterystyka mikrobiologiczna odcieków ze składowisk odpadów komunalnych. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*. Vol. 45. Nr 2 s. 50–59.
- OLAŃCZUK-NEYMAN K. 2001. Mikroorganizmy w kształtowaniu jakości i uzdatnianiu wód podziemnych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk. Vol. 1. Gdańsk. Wydaw. PG. ISBN 8388007769 ss. 131.
- PODGÓRSKI L. 1998. Mikrobiologiczne metody oceny zagrożenia środowiska przez odpady. Odpady zagrożeniem dla środowiska. Rzeszów. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów. Dz.U. 2013 r. poz. 523.
- SZYMAŃSKI K. 1997. Wpływ wysypisk odpadów komunalnych na skład odcieków i wód podziemnych. W: Wyznaczanie stref oddziaływania składowisk odpadów na podstawie monitoringu. Pr. zbior. Red. J. Lasa, Z. Makles. Kraków. AGH. Wydz. Fizyki i Informatyki Stosowanej s. 58–69.
- TALAŁAJ J.A. 2001. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w wodach gruntowych wokół składowiska odpadów komunalnych. W: Gospodarka odpadami komunalnymi. Pr. zbior. Red. K. Szymański. Koszalin. Wydaw. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej s. 79–86.
- TYSKI S., ROGULSKA B. 1999. Mikrobiologiczne kryteria jakości wody przeznaczonej do różnych celów – obowiązujące zalecenia i przepisy oraz projekty nowelizacji. *Mikrobiologia Medycyna*. Vol. 4. Nr 21 s. 9–18.
- WIOŚ 2013. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w roku 2012. Kraków ss. 108.

Jacek GRZYB, Krzysztof FRĄCZEK, Maria J. CHMIEL

MICROBIOLOGICAL THREATS FOR GROUNDWATER IN THE IMPACT ZONE OF MUNICIPAL DUMPING SITE

Key words: *bacteria, ground water, microbial pollution, municipal dumping site*

S u m m a r y

Municipal dumping site is a unique environment due to the permanent supply of organic and inorganic matter in wastes. It results in continuous bacteriological hazard to surrounding surface water, ground water and leachate. The aim of the study was to assess the impact of municipal dumping site and wastes from this dump on the microbiological quality of ground water from municipal dump and its vicinity. Bacteriological analyses included the evaluation of the number of mesophilic, psychrophilic and indicator bacteria – coliforms, fecal streptococci and *Clostridium perfringens*.

Results of microbiological tests revealed high bacteriological contamination of water samples collected from all piezometers. This was probably a result of groundwater contamination by leachate from the landfill.

Adres do korespondencji: dr inż. J. Grzyb, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; tel. + 48 12 662-41-81, e-mail: rrgryzb@cyfronet.pl