

Wpływ krakowskich cmentarzy na środowisko przyrodnicze

The influence of cemeteries of Kraków on the environment

JÓZEF ŻYCHOWSKI

Instytut Geografii, Uniwersytet Pedagogiczny,
30-084 Kraków, ul. Podchorążych 2; jozych@ap.krakow.pl

Zarys treści. W celu poznania wpływu wybranych krakowskich cmentarzy na kilka komponentów środowiska przyrodniczego, badano zawartość pierwiastków w podłożu ponad pochówkami, w koniczynie i grzybach oraz stężenia jonów w wodach gruntowych. Uzyskane wyniki porównano z tłem geochemicznym i z wynikami pomiarów, przeprowadzonych na innych cmentarzach w południowo-wschodniej Polsce. Zwrócono także uwagę na produkty geologiczne dekompozycji. Ponad pochówkami stwierdzono niskie zawartości pierwiastków. Wysokie koncentracje jonów żelaza w wodach gruntowych wskazują na ich korzystną obecność w osadach dla sorpcji produktów dekompozycji. Relatywnie małe koncentracje zanieczyszczeń są związane z właściwą lokalizacją cmentarzy, czyli tam, gdzie głęboko zalegają wody gruntowe, w osadach obecne są sorbenty, powierzchnie cmentarzy są nieprzepuszczalne, a systemy odwodnień drożne.

Słowa kluczowe: lokalizacja cmentarzy, Kraków, migracja materii, wody gruntowe, jony, zawartość pierwiastków.

Wprowadzenie

Prowadzone badania wskazują, że cmentarze mogą być elementem negatywnie wpływającym na środowisko w związku z niewłaściwą ich lokalizacją oraz brakiem zabezpieczeń przed migracją zanieczyszczeń (Fisher i Croukamp, 1993). Problem ten nie jest jeszcze właściwie uregulowany prawnie. Pierwsze w Europie badania dotyczące wpływu cmentarzy na środowisko przeprowadził van Haaren (1951). Na ten problem szczególną uwagę zwróciła Światowa Organizacja Zdrowia (Ucisk i Rushbrook, 1998). Prace, na które powołuje się to opracowanie, wskazują na krótko- i długotrwały negatywny wpływ nekropolii na środowisko. Dotychczasowe badania sygnalizują podwyższone koncentracje w otoczeniu grobów: bakterii jelitowych (Dent i Knight, 1998; Matos, 2001), jonów i pierwiastków (Pacheco i inni, 1991; Knight i Dent, 1995; Spongberg i Becks, 2000; Trick i inni, 2001; Harmse i Tumagole, 2006; Żychowski i inni,

2006b; Żychowski, 2008), aminokwasów (Żychowski i inni, 2001, 2003) i związków organicznych w wodach gruntowych (Żychowski, 2007) oraz jadu trupięgo (Forbes i inni, 2002).

Cel i metody badań

Przedmiotem pracy jest wpływ krakowskich cmentarzy na wybrane komponenty środowiska przyrodniczego. Zwrócono uwagę na konsekwencje chowania dużej liczby zmarłych na stosunkowo małej powierzchni. Jak dowodzi szereg badań, prowadzonych na świecie i w Polsce, produkty dekompozycji występują przede wszystkim w podłożu i wodzie. Migrują one także wraz z wodą, w postaci jonów, do otoczenia grobów. W przedłożonym opracowaniu analizowano zawartość pierwiastków w podłożu ponad pochówkami, w koniczynie, grzybach rosnących na grobach, a także stężenie jonów oraz wybranych aminokwasów w wodach gruntowych pod i w sąsiedztwie grobów. Badania zawartości aminokwasów w wodach gruntowych prowadzono już wcześniej na innych cmentarzach w Polsce (Żychowski i inni, 2002, 2003, 2005).

W pracy porównano wyniki badań na wybranych cmentarzach Krakowa z tymi, które uzyskano na innych cmentarzach Polski południowo-wschodniej (Żychowski i inni, 2002, 2003, 2005; Żychowski, 2008). Do porównań zawartości pierwiastków w podłożach i jonów w wodzie wykorzystano także wyniki z prac zagranicznych (Dent i Knight, 1998; Knight i Dent, 1998, Trick i inni, 2001). Szczególną uwagę zwrócono na środowisko przyrodnicze nekropolii. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na duży wpływ lokalizacji cmentarzy na mierzoną koncentrację.

W pobranych próbkach podłoża mierzono stężenie: Ca, P, Fe i Cr. Pierwiastki Ca i P dominują w ludzkich ciałach (Dent i Knight, 1998; Ucisik i Rushbrook, 1998). Żelazo (Fe) reprezentuje właściwości środowiska i jest dobrym sorbentem, np. jonów fosforu. Jony lub uwodnione tlenki Fe tworzą związki rozpuszczalne i nierozpuszczalne z produktami dekompozycji. Pierwiastek śladowy Cr z grupy żelaza (grupy technologiczne) jest niezbędny dla organizmu człowieka, występuje w podłożu i roślinach oraz w przedmiotach związanych z pochówkiem.

Próbki podłoża z cmentarzy pobrano z głębokości około 0,2 m poniżej poziomu próchnicznego (A). Poziom ten występuje w tych miejscach bardzo rzadko w związku z ciągłymi wykopami i pracami ziemnymi. Badania te pozwoliły ocenić oddziaływanie pochówków na podłoże w górnych częściach pionowych profili. Próbki podłoża z większych głębokości pobrano tylko w Grębałowie we wschodniej, niżej położonej części cmentarza. Tylko tu uzyskano zgodę na pobór gruntu z wykopu prowadzonego pod nowy grób w miejscu starego pochówku. Dlatego analiza materiałów dotyczyła głównie produktów mineralogiczno-petrograficznych, które powstają w miejscu pochówku. Materiał pobrano z głębokości 0,31–0,35 m, 0,65–0,69 m, 1,05–1,09 m, 1,36–1,40 m i 1,55–1,59 m.

Jeśli cmentarz był położony na stoku, to próbki gruntu i roślin pobierano w dolnej jego części. W przypadku płaskich powierzchni, a takie dominowały, materiał do analiz pozyskiwano w centralnych częściach obiektów. Jedyną rośliną występującą na terenie większości badanych cmentarzy była czerwona koniuczyna (*Trifolium pratense* L.). W badaniach koncentracji P i Ca uwzględniono jej liście. Dodatkowe pomiary koncentracji tych pierwiastków przeprowadzono w sąsiedztwie badanych cmentarzy, aby uzyskać tło geochemiczne. Wybór tych miejsc wykluczał podejrzenie o wpływ grobów na stanowiska poboru próbek.

W wysuszonych kapeluszach grzybów mierzono koncentrację P, Fe i Pb. Grzyby były różnych gatunków, dlatego porównywanie stężeń było obarczone bliżej nieokreślonym błędem. Grzyby mają zdolność do tworzenia barwników polifenolowych, które wiążą metale ciężkie, takie jak Pb, Zn, Cd i Cs. Grzybnia unieruchamia ciężkie metale i hamuje ich transfer do tkanek roślinnych (Khan i inni, 2000). Mikoryza wzmacnia więc tolerancję roślin na toksyczne stężenia metali ciężkich w glebach (Krupa i Kozdrój, 2004). Nadmiar metali w podłożu jest wiązany w elektroujemnych miejscach ścian komórkowych grzybni albo pierwiastki są unieruchamiane przez strącenie ich do postaci polifosforanów (Tam, 1995). Grzybnie niektórych szczepów grzybów tolerują podwyższone stężenie ciężkich pierwiastków. Są one zdolne do wiązania kilkakrotnie większych stężeń pierwiastków metali w porównaniu z roślinami (Joner i inni, 2000). Ocena toksyczności podłoża może więc być przeprowadzona na podstawie badania stopnia mikoryzacji (stopnia kolonizacji, obfitości tworzenia arbuskul lub żywotności mikoryz i zarodników), a nie tylko metodami chemicznymi (Lovera i Cuenca, 1996). Grzybnia tworzy sieć strzępek oraz wydziela substancje wiążące lub sklejające cząsteczki gleby (Miller i Jastrow, 2000). Nasza wiedza o grzybach mikoryzowych jest jednak dalece niepełna (Smith i Read, 1997).

Wodę gruntową pobierano ze studni, obudowanych i użytkowanych. Większość z nich była przykryta płytą. Probki zamrażano w termosie i dostarczano do laboratorium. Wodę pobraną na cmentarzach przy ulicy Rakowickiej i Prandoty badano pod względem zawartości 11 jonów: azotanowych, amonowych, siarczanowych, fosforanowych, fluorkowych, chlorkowych, żelaza, manganu, cynku, miedzi i glinu. Do porównań wybrano tylko jony fosforanowe, azotanowe, miedzi i żelaza. Reprezentują one produkty dekompozycji oraz środowisko pochówku. Uczestniczą w procesach powstawania nowych związków (Żychowski i inni, 2006a; Żychowski, 2008). W opracowaniu porównano także uzyskane wyniki z normami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. (Dz.U. nr 32, poz. 284).

Zawartość wybranych aminokwasów (lizyny, glicyny, leucyny, izoleucyny i kwasu glutaminowego¹) w wodach gruntowych krakowskich cmentarzy porów-

¹ W wyniku procesów dekarboksylacji i przy udziale bakterii lizyna może rozłożyć się w procesach gnilnych organizmów do kadaweryny, zwanej potocznie jadem trupim. W większych stężeniach jest ona toksyczna dla człowieka. Glicyna jest najprostszym aminokwasem budującym wszystkie białka, a szczególnie kolagen. Kwas glutaminowy, glicyna, leucyna i izoleucyna dobrze rozpuszczają się w wodzie. Związki te mogą być łatwo transportowane na znaczne odległości. Leucyna i izoleucyna wykazują silne właściwości hydrofobowe i tworzą w wodnym środowisku bardzo stabilną strukturę.

nano także z ich stężeniem w próbkach pobranych z innych cmentarzy południowo-wschodniej Polski (Żychowski i inni, 2002, 2003, 2005). Nie podano natomiast przykładów ze świata z powodu braku danych.

Próbki najpierw suszono na wolnym powietrzu, a następnie poddano procedurze zgodnej z wymogami spektrometru absorpcji atomowej (ASA) firmy Perkin Elmer (AAAnalyst 200). Spektrometrem pomierzono względną (eliminacja tła) zawartość 20 pierwiastków w próbkach podłoża, a także ich bezwzględną koncentrację w koniczynie i grzybach. Analizę wody przeprowadzono za pomocą chromatografu cieczowego Varian HPLC. W badaniach mineralogiczno-petrograficznych wykorzystano mikroskop polaryzacyjny uniwersalny Olympus BX-51 oraz skaningowy Joel 540 z przystawką do półilościowych analiz chemicznych EDS. Metoda ta pozwala na dokonywanie analizy elementarnej składu obserwowanych próbek. Przy użyciu przystawki EDS (spektrometr energodispersyjny) można określać zmiany zawartości wybranych pierwiastków wzdłuż linii skanowania.

Teren badań

Badania podłoża przeprowadzono na krakowskich cmentarzach: Podgórskim, Rakowickim, wojskowym przy ulicy Prandoty (groby żołnierzy radzieckich i angielskich), Grębałowskim oraz żydowskim i na terenie obozu z II wojny światowej w Płaszowie, gdzie w 1944 r. rozsypano prochy kilku tysięcy osób (tab. 1, 2, 3). Miejsca dobrano w ten sposób, aby reprezentowały różne środowisko przyrodnicze Krakowa (ryc. 1).

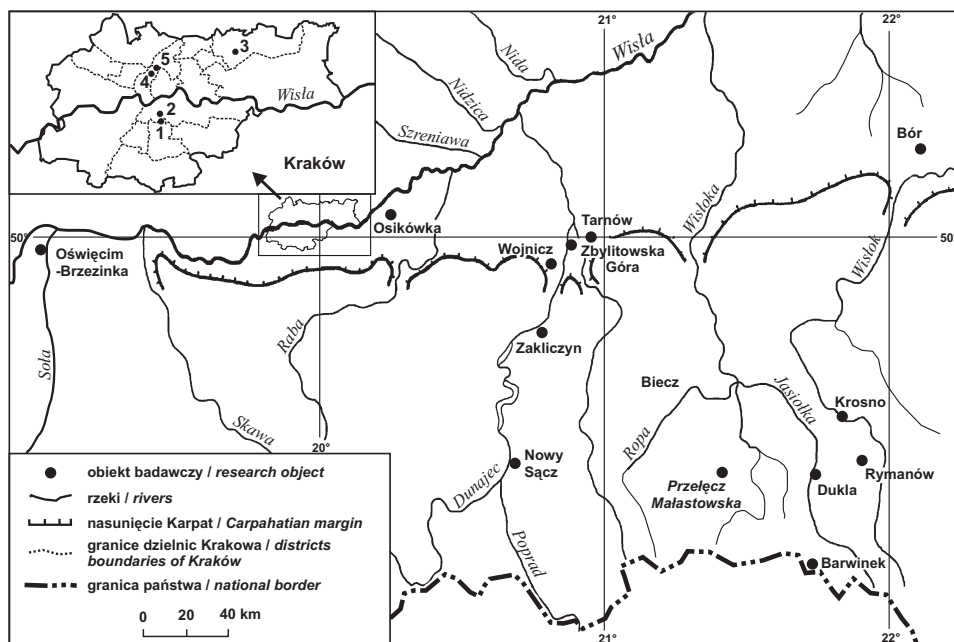
W przypadku P, Ca i Cr porównywano ich koncentrację w podłożu ponad pochówkami z cmentarzy w Krakowie z obiektami w Dukli, Nowym Sączu i Tarnowie (tab. 1, 2, 3).

Zawartość P, Pb i Fe porównywano także w grzybach zebranych na cmentarzu Rakowickim, masowych grobach w Borze, Oświęcimiu, Barwinku i Przełęczy Małastowskiej oraz na cmentarzu w Krośnie (tab. 2).

Zawartość Ca i P w czerwonej koniczynie, którą znaleziono na cmentarzu w Zbylitowskiej Górze oraz na masowych grobach w Dukli i Zbylitowskiej Górze, zestawiono z wynikami uzyskanymi dla krakowskich cmentarzy: Rakowickiego, wojskowego przy ul. Prandoty oraz żydowskiego w Płaszowie (tab. 3).

Porównano stężenie jonów azotanowych, żelaza i miedzi w wodzie z cmentarzy w Wojniczu, Rymanowie, Bieczu, Oświęcimiu i Zakliczynie z ich koncentracjami z Wolverhampton (Żychowski, 2008; Trick i inni, 2001). Zawartość jonów fosforanowych w Rymanowie, Zakliczynie, Wojniczu i Bieczu porównano z dostępnymi w literaturze zagranicznej danymi z Adelaide i Perth w Australii (Żychowski, 2008; Dent i Knight, 1998; Dent, 2000a i b). Na badanych cmentarzach studnie lub piezometry zlokalizowane były wśród grobów, w pobliżu centralnych części nekropolii. Zasada ta dotyczy również cmentarzy przy ulicy

Rakowickiej oraz Prandoty. Tylko zakryta studnia w Bieczu znajduje się około 15 m poniżej masowego grobu z I wojny światowej, który założono w górnej części osuwiskowego stoku, a przydomowa studnia w Oświęcimiu oddalona jest około 150 m od dużego cmentarza radzieckich jeńców (około 6 000 ludzi).



Ryc. 1. Lokalizacja miejsc, w których prowadzono badania
(1 – Płaszów, 2 – Podgórze, 3 – Grębałów, 4 – Rakowice, 5 – ul. Prandoty)
Locations of research sites (1, 2, 3, 4, 5 – locations of cemeteries in Kraków)

Badania stężenia wybranych aminokwasów w wodach podziemnych dotyczyły cmentarzy przy ul. Prandoty i Rakowickiej (tab. 4). Wyniki porównano z koncentracją tych aminokwasów w próbkach wody z innych studni: z sąsiedztwa cmentarza jeńców w Oświęcimiu–Brzezince, z cmentarza w Rymanowie, poniżej masowego grobu z I wojny światowej w Bieczu oraz z wartościami średnimi obliczonymi dla 71 badanych cmentarzy z Polski południowo-wschodniej (Żychowski i inni, 2002, 2003, 2005).

Zawartość wybranych pierwiastków w podłożu

Sprawdzonym wskaźnikiem wpływu cmentarzy na środowisko przyrodnicze jest zawartość P (Arrhenius, 1929; Marcinek i Wiślański, 1959). Udział tego pierwiastka w składzie chemicznym organizmu człowieka wynosi około 1%.

Tabela 1. Charakterystyka środowiska geograficznego cmentarzy,
na których badano koncentrację pierwiastków w podłożu
A characterization of geographical environments at the cemeteries
where concentrations of elements in soils were investigated

Cmentarze <i>Cemeteries</i>	Liczba pochowanych <i>No. of buried</i>	Region geograficzny <i>Geographical region</i>	Forma terenu <i>Relief</i>	Otoczenie grobu <i>Surroundings of grave</i>	Nachylenie terenu <i>Inclination</i>	Podłoże; wilgotność <i>Substratum, humidity</i>
Kraków, Płaszów, mas., II w., obóz	około 9000		stok wapiennego zrębu	łąki	do 5%	piaski, gliny, margle; miejscami wilgotno
Kraków, Podgórski, cm., I w.	>332 ¹ , od roku 1900	izolowane zręby Bramy Krakowskiej	spłaszczenie środkowej części stoku	inne groby	do 3%	piaski, gliny, margle; sucho
Kraków, Grębałów, cm.	>100 ² , od roku 1964	skłon Wyżyny Małopolskiej	spłaszczenie w dolnej części stoku	inne groby	do 3%	utwory lessopodobne; sucho
Stary Cmentarz w Tarnowie	>100 ² , XIX, XX wiek	Płaskowyż Tarnowski	terasa Wątoka	głównie grobowce	płasko	gliny, żwiry; okresowo podmokłe
Nowy Sącz, cm., mas., I w.	>200 ³	Kotlina Sądecka	wysoka terasa rzeczna	inne groby	płasko	gliny, pyły, żwiry; sucho
Dukla, mas., I w.	>750 ⁴	Pogórze Jasielskie	dolna część stoku	groby z II w.	do 3%	gliny, ily; okresowo wilgotno

¹ grób z I wojny światowej zmniejszono powierzchniowo, Nowy Cmentarz Podgórski – 8,33 ha;

² próbki pobrano z dużych cmentarzy, Grębałów – 28 000 grobów, Tarnów „Stary” – 80 000 pochowanych;

³ liczba szacunkowa, na cmentarzu komunalnym w starej jego części 10 000 grobów;

⁴ ilość szacunkowa w sąsiedztwie cmentarza z II wojny światowej, gdzie pochowano około 10 000 żołnierzy; mas., I w., II w. – masowe groby z I, II wojny światowej, cm. – cmentarz.

Dane z badań własnych autora; podobnie w pozostałych tabelach i rycinach 2–10.

¹ WWI burial site of reduced area, Nowy Cmentarz Podgórski – 8.33 ha;

² samples taken from large cemeteries, Grębałów – 28,000 graves, Tarnów "Stary" – 80,000 dead;

³ estimated number, the older part of the municipal cemetery has 10,000 graves;

⁴ estimated number in the proximity of WWX cemetery, where about 10,000 soldiers were buried; mas., I w., II w. – mass graves from WWI, WWII; cm. – cemetery.

Data from author's measurements, as well as the other tables and Figs. 2–10.

W gruncie ponad pochówkami przy ulicy Rakowickiej i Prandoty stwierdzono relatywnie małą zawartość P – od 7,2 ppm do 12,3 ppm (ryc. 2). Znacznie wyższa koncentracja występuje na cmentarzu w Podgórzu oraz na terenie obozu w Płaszowie, gdzie stwierdzono odpowiednio 36,6 i 29,4 ppm P (ryc. 2). Nieco wyższa koncentracja P ponad pochówkami w Płaszowie i Podgórzu jest związana

Tabela 2. Charakterystyka środowiska geograficznego cmentarzy, na których badano koncentrację pierwiastków w grzybach oraz w podłożu

A characterization of the geographical environment at the cemeteries where concentrations of elements in fungi and soils were investigated

Cmentarze <i>Cemeteries</i>	Liczba pochowanych <i>No. of buried</i>	Region geograficzny <i>Geographical region</i>	Forma terenu <i>Relief</i>	Otoczenie grobu <i>Surroundings of grave</i>	Do wody gruntowej ¹ <i>Ground-water level¹</i> (m)	Podłoże <i>Substratum</i>
Kraków, Rakowice *, mas. ²	>1100 ³	Równina Nadwiślańska	płaska, stożek Prądnika	groby cm., centrum miasta	6–8	żwir, piasek, mulka, torf
Bór *, mas., II w.	około 3000	Płaskowyż Kolbuszowski	płaska, w pobliżu wydmy	polana w rezerwacie „Bór”	1–2	piasek, glina, torf
Oświęcim prochy, mas., II w.	setki tysięcy	Kotlina Oświęcimska	terasa rozcięta rowami	lasek sosnowy	2–4	głina, żwir
Barwinek, mas., II w.	około 500	Beskid Niski	spłaszczenie w dolnej części stoku	polana leśna	>10	głina, żwir
Przełęcz Małostowska, mas., I w.	około 174	Beskid Niski	wierzchołek grzbietu	polana leśna	>10	głina, rumosze, piasek
Krosno, cm., mas., I w.	>200 ⁴	Kotlina Krośnieńska	terasa Lubatówki	groby cm., droga	6–8	głina, żwir

* na cmentarzu badano także podłoże;

¹ ustalone na podstawie obserwacji zalegania zwierciadła wody w terenie;² ofiary obozu w Dąbju z lat 1918–1921, podobne środowisko geograficzne na cmentarzu z I wojny światowej;³ możliwy wpływ innych sąsiednich grobów, Rakowice – 75 000 grobów;⁴ grób zmniejszono powierzchniowo, na cmentarzu pochowano 22 000 osób

* at this cemetery soil was also investigated;

¹ established by reference to observations of groundwater levels in the field;² victims of the camp at Dąbie (1918-1921), a similar environment at the cemetery from WWI;³ possible influence of other neighbouring graves, Rakowice – 75,000 graves;⁴ reduced-burial area, 22,000 people buried at the cemetery.

z relatywnie wyższą zawartością Ca – odpowiednio 39,4 i 37,2 ppm, względem stężenia na grobie z I wojny światowej przy ulicy Rakowickiej (1,9 ppm) oraz na grobie żołnierzy angielskich przy ul. Prandoty – 3,7 ppm (ryc. 2). Stężenie P w Podgórzu i Płaszowie jest jednak zdecydowanie niższe w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla innych cmentarzy, np. położonych na terasach grobów Starego Cmentarza w Tarnowie (87,4 ppm) i w Oświęcimiu (1000 ppm) oraz na stoku w Dukli – 298,4 ppm (Żychowski, 2008).

Tabela 3. Charakterystyka środowiska geograficznego cmentarzy, na których badano koncentrację pierwiastków w koniczynie oraz w podłożu

A characterisation of the geographical environment at cemeteries where concentrations of elements in clover and soils were investigated

Cmentarze <i>Cemeteries</i>	Liczba pochowanych <i>No. of buried</i>	Region geograficzny <i>Geographical region</i>	Forma terenu <i>Relief</i>	Nachylenie terenu <i>Inclination</i>	Podłoże <i>Substra- tum</i>
Kraków [*] , Rakowice, mas., 1919–1921	>1100 ¹	Równina Nadwiślańska	stożek Prądnika	płasko	żwiry, piaski, mułki, torf
Kraków, Prandoty, mas., radz. ²	>2000			do 3%	
Kraków, Płaszów, cm. żyd.	fragment ³ , około 500	izolowane zręby Bramy Krakowskiej	zrębowe wznie- sienie Bonarki	do 7%	gliny, ily, margle
Zbylitowska Góra [*] , mas., II w.	około 10000	dolina Dunajca koło Tarnowa	próg terasy Dunajca	do 8%	żwiry, gliny
Zbylitowska Góra, cm.	około 2000 w XX wieku		terasa Dunajca	płasko	gliny
Dukla, mas., II w.	>10000	Pogórze Jasielskie	zbocze małej doliny	do 2%	gliny, ily

¹ możliwy wpływ innych sąsiednich grobów;

² radzieckich żołnierzy, podobne warunki dotyczą grobów angielskich;

³ zachowana część cmentarza żydowskiego (żyd.) zniszczonego przez hitlerowców.

¹ possible impact of other adjacent graves;

² Soviet soldiers, similar conditions relate to graves of English soldiers;

³ surviving part of the Jewish Cemetery (żyd.) destroyed by the Nazis.

Relatywnie wyższa zawartość Ca na niektórych krakowskich cmentarzach ma także związek z budową geologiczną. Szczególnie jest to widoczne na stoku wapiennego zrębu w Płaszowie oraz, w mniejszym stopniu, na lokalnym spłaszczeniu w Podgórzu (tab. 1). Znacznie mniejszy jest zapewne wpływ stożka napływowego Prądnika na koncentrację Ca przy ul. Rakowickiej i Prandoty. Do niektórych kwater na tych cmentarzach dosypywano gruz zawierający okruchy wapieni albo wykorzystywano go na podkład przy budowie cmentarnych alejek, np. na kwaterach żołnierzy z I wojny światowej. Gruzem wapiennym obłożono także nasypy ziemne nielicznych grobów. Na tym etapie badań nie jest możliwa identyfikacja pochodzenia Ca.

Zawartość Ca w podłożu grobów przy ulicy Rakowickiej i Prandoty jest jednak zdecydowanie niższa niż pomierzona na innych cmentarzach, położonych także na terasach rzecznych, np. w Tarnowie (19,4 ppm) i Nowym Sączu (35,4 ppm). Wyniki te wskazują na większy wpływ obu tych cmentarzy na

Tabela 4. Charakterystyka środowiska geograficznego cmentarzy, na których badano koncentrację jonów w wodach podziemnych

A characterization of the geographical environment at cemeteries where concentrations of ions in groundwater were investigated

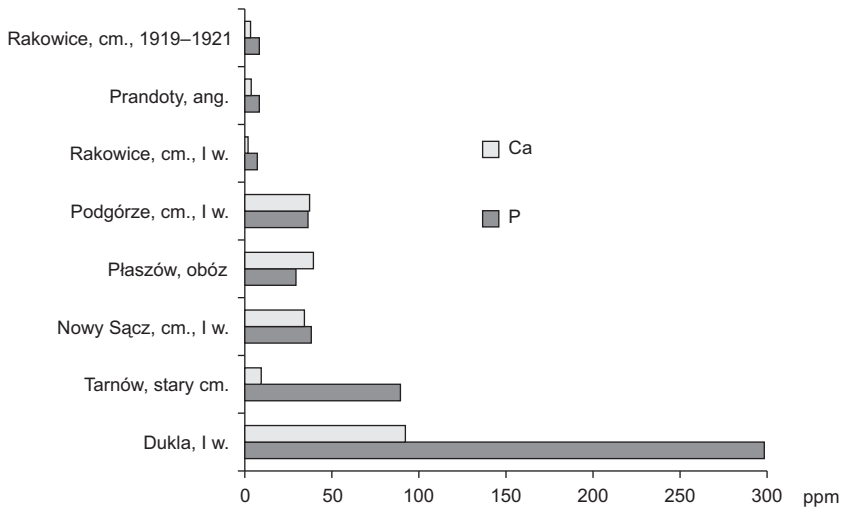
Cmentarze <i>Cemeteries</i>	Forma terenu <i>Form of relief</i>	Nachylenie terenu <i>Inclination</i>	Poziom wody gruntowej <i>Groundwater level (m)</i>	Odpływ wody <i>Water outflow</i>	Podłoże <i>Substratum</i>
Kraków, Rakowice, cm.	stożek napływowy Prądnika	płasko, miejscami do 2%	7,5–8	kanalizacja, infiltracja,	piaski, żwiry, mułki, torf, rumosz
Kraków, Prandoty, cm., II w.			6,5–7		
Biecz, mas., I w.	zbocze doliny Ropy	zbocze stersowane, do 20%	1–1,2	perkolacja wody w osuwisku	gliny ciężkie
Oświęcim, Brzezinka, mas., II w.	terasa Soły, Wisły	płasko	3,3–3,5	rowy	gliny, ily, żwiry, piaski
Rymanów, cm.	zbocze Wzgórz Rymanowskich	zróżnicowane, do 7%	4–4,5	powierzchniowy	gliny, ily, piaskowce
Wojnicz, cm.	terasa Dunajca	płasko	3,5–4	infiltracja, rowy	piaski, mułki, gliny, torf
Zakliczyn, cm.	wysoka terasa w dolinie Dunajca	zróżnicowane, do 3%	4,5–5,5	infiltracja, powierzchniowy	gliny, rumosz, niżej żwiry, piaski
Adelaide ¹ , cm.	terasa Torrens, Adelaide Plain	płasko	4–4,7	infiltracja, powierzchniowy	gliny piaszczyste, piaski gliniaste
Perth ² , cm.	równina nadmorska (osady morskie)	zróżnicowane, do 3%	1,8–4,5	infiltracja, powierzchniowy	piaski gliniaste, muliste
Wolverhampton ³ , cm.	falista rzeźba polodowcowa	zróżnicowane, do 5%	2–10	infiltracja, powierzchniowy	piaski, gliny

¹ Cheltenham Cemetery (Knight, Dent, 1998);² Guildford Cemetery (Dent, Knight, 1998; Dent, 2000);³ Wolverhampton (Trick i inni, 2001 / Trick *et al.*, 2001).

zawartość Ca bowiem gruz wapienny nie występuje w osadach rzecznych Wątocka (Tarnów) i Kamienicy Nawojowskiej (Nowy Sącz).

Ważnym pierwiastkiem, który jest sorbentem dla P jest Fe (Żychowski i inni, 2006b; Żychowski, 2008). Stosunkowo większa koncentracja Fe ponad pochów-

kiem występuje na niewyrównanym stoku w Płaszowie (około 26 ppm) oraz w stożku napływowym Prądnika przy ulicy Prandoty (od 9,8 do 13,4 ppm), zaś najwyższą zawartość stwierdzono na grobie żołnierzy radzieckich, który leży nieco niżej. Obecność w tych osadach Fe, węglanu wapnia oraz minerałów ilastych sprzyja sorpcji P w warstwie aeracji. Duża miąższość tej warstwy pod pochówkami ogranicza dopływ produktów dekompozycji do wód gruntowych. Potwierdzają to także badania prowadzone w Wielkiej Brytanii (Trick i inni, 2001).



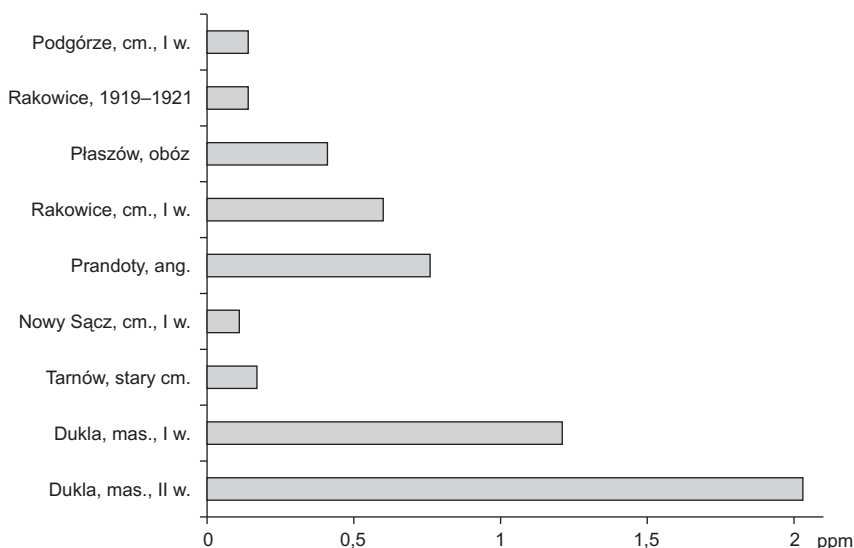
Ryc. 2. Zawartość P oraz Ca w próbkach podłoża ponad pochówkami na wybranych cmentarzach. Oznaczenia jak w tabelach

P and Ca contents in samples of substratum collected from above graves at selected cemeteries. Explanations as in tables

Cennym wskaźnikiem oddziaływania cmentarzy na środowisko przyrodnicze jest podwyższona zawartość Cr w podłożu (Żychowski, 2008). Zdecydowanie najwyższą koncentrację stwierdzono w próbkach pobranych w Dukli – z masowego grobu z I wojny światowej (1,21 ppm) oraz z grobu żołnierzy radzieckich (2,03 ppm). Oba cmentarze zlokalizowano obok siebie. Ich powierzchnie są nachylone w kierunku południowo-wschodnim (tab. 1, 3). Woda penetrująca grób z II wojny światowej częściowo spływa w kierunku drugiego obiektu. Koncentracja Cr jest względnie wysoka także na cmentarzach przy ulicy Rakowickiej i Prandoty (od 0,16 do 0,76 ppm). Dotyczy to zwłaszcza masowych grobów żołnierzy z II wojny światowej (ryc. 3). Znacznie niższe stężenie stwierdzono w Płaszowie (0,41 ppm) oraz na grobach z I wojny światowej w Podgórzu (0,14 ppm) i jeńców z Dębniak na Rakowicach (0,14 ppm). Podobnie było na

Starym Cmentarzu w Tarnowie (0,17 ppm) oraz grobie z I wojny światowej w Nowym Sączu (0,11 ppm).

W próbkach osadów z głębokości 1,6 m, pobranych z wykopu na grobie sprzed około 30 lat w Grębałowie, stwierdzono pod mikroskopem polaryzacyjnym liczne fragmenty substancji organicznej (tab. 1). Otaczały je bezpostaciowe związki Fe, które sorbują produkty dekompozycji i prowadzą do powstania kompleksów organiczno-mineralnych na różnym etapie połączeń (fot. 1). Tworze-



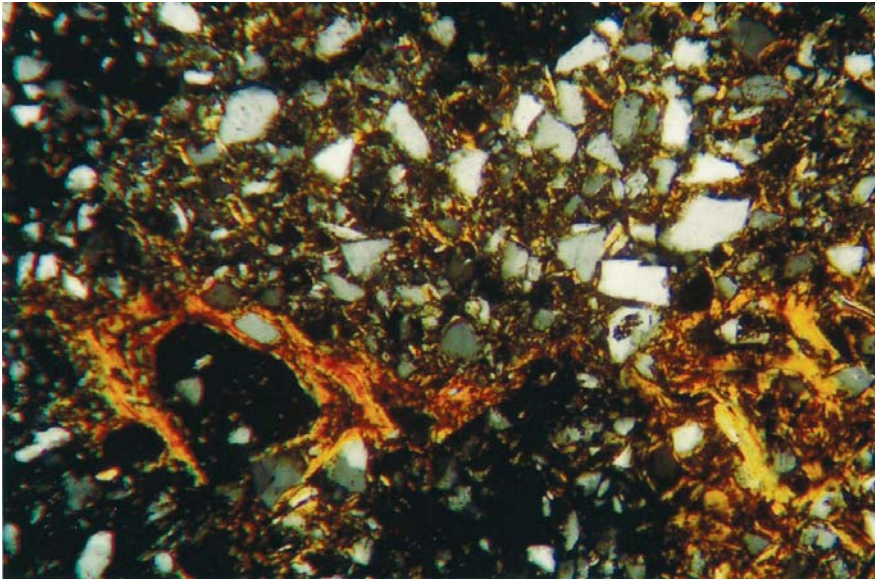
Ryc. 3. Zawartość Cr w próbkach podłoża w poziomie przypowierzchniowym na wybranych cmentarzach. Oznaczenia jak w tabelach

Cr contents in soil samples collected at near-surface level in selected cemeteries.
Explanations as in tables

nie się licznych tego typu kompleksów ogranicza więc migrację zanieczyszczeń poza cmentarz. W przestrzeniach między ziarnami kwarcu, oglądany pod mikroskopem polaryzacyjnym w 80-krotnym powiększeniu, występuje ciemna substancja, która zawiera średnio około 1% związków Fe. Jest ona również rozproszona w polu widzenia. Zdecydowanie wyższa koncentracja Fe jest typowa dla utworów aluwialnych. Ponadto w podłożu drobnoziarnistych mułków na głębokości 1,6 m w Grębałowie stwierdzono obecność węglanu wapnia w ilości około 15%. Sprzyja on także zachowaniu struktur kostnych i powstawaniu wielu związków w procesach dekompozycji. Na widmach energetycznych EDS próbek z Grębałowa dominuje Si (ryc. 4). Analizowane próbki zawierają dużo kwarcu – nawet 80%. Widoczne pod mikroskopem drobnoziarniste i ostrokrawędziste kwarce są także lokalnie cementowane niewielką ilością minerałów ilastych.

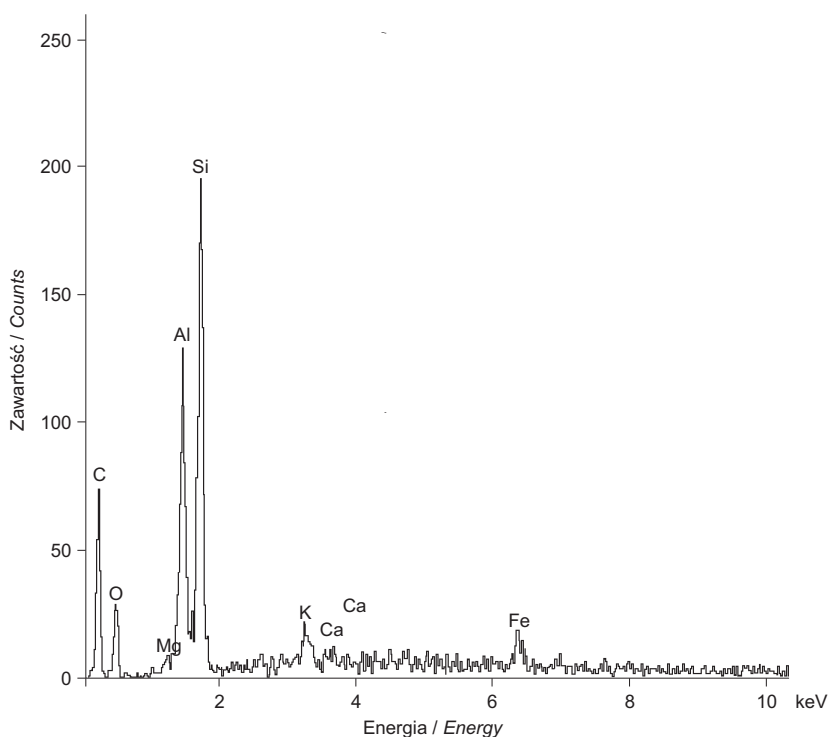
Minerały te również sorbuje produkty dekompozycji. W analizowanych próbkach nie stwierdzono natomiast pierwiastków ciężkich – poza glinem, który jest metalem alkalicznym i naturalnym składnikiem minerałów (ryc. 4).

Prawdopodobnie koncentracja produktów dekompozycji jest bardzo duża poniżej pochówków. Na badanych cmentarzach pochowano nawet setki tysięcy ludzi (tab. 1, 2, 3). Nieliczne prace prowadzone na świecie dotyczą chemicznych i mineralogiczno-petrograficznych produktów dekompozycji (Sponberg i Becks, 2000; Trick i inni, 2001; Żychowski i inni, 2006b; Żychowski, 2008), problem ten wymaga jednak szczegółowych badań.



Fot. 1. Wytrącenia organiczno-żelaziste w osadzie mulkowym zaobserwowane w powiększeniu 80-krotnym w podłożu na cmentarzu w Grębałowie
Ferro-organic intrusions in alluvial sediments of Grębałów cemetery soil, as observed at 80x magnification

Analiza materiałów pobranych ponad pochówkami wskazuje na niewielki wpływ krakowskich cmentarzy na podłoże w górnych częściach profili. Z gruntem z tych miejsc kontaktują się ludzie opiekujący się grobami. Przyczyn tak małego wpływu poszukiwano badając inne komponenty środowiska.



Ryc. 4. Widmo energetyczne EDS substancji z przestrzeni międzyziarnowych w próbce pobranej z głębokości 1,6 m z wykopu pod grób na cmentarzu w Grębałowie

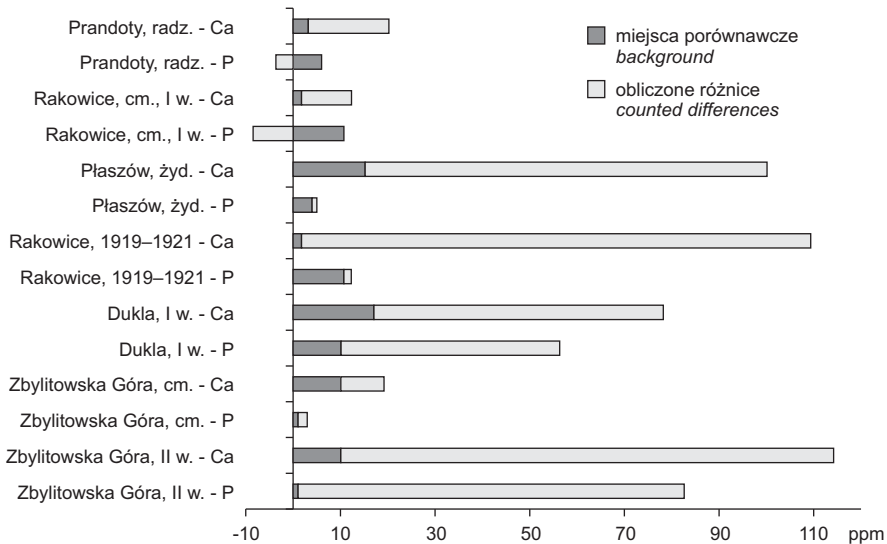
EDS energy spectrum of substances from the inter-grain space in a sample collected 1.6 m down in a grave at Grębałów

Zawartość wybranych pierwiastków w koniczynie i grzybach

Na niewielki wpływ cmentarzy na środowisko wskazuje również zawartość P w liściach koniczyny, które zebrano na badanych grobach oraz ustalone dla nich poziomy odniesienia (ryc. 5). Koniczyna ma największą masę korzeniową do głębokości 1,5 m. Sięga ona trumien składanych do grobu. Obliczone różnice koncentracji P w liściach koniczyny na krakowskich grobach oraz w tle geochemicznym są niewielkie. W kilku przypadkach stężenia dla tła były nawet wyższe, np. w masowym grobie z I wojny światowej na Rakowicach i masowym grobie żołnierzy radzieckich z II wojny światowej na cmentarzu przy ulicy Prandoty (ryc. 5).

Rumosz wapienny oraz w mniejszym stopniu obecność masowego grobu jeńców z Dębnik na Rakowicach są prawdopodobnie przyczyną dość dużego stężenia Ca w koniczynie zebranej na tym grobie w stosunku do poziomu odniesienia

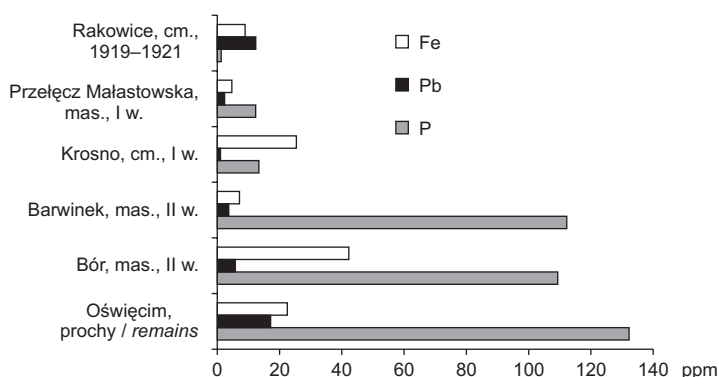
(ryc. 5). Obliczona różnica jest wyższa niż w Płaszowie. Fosforu jest relatywnie mało na głębokości składania trumien i powyżej nich. Migruje on w głąb podłoża. Natomiast Ca występuje w trwałych związkach, prawdopodobnie w postaci rumo-szu. Na masowych grobach, zarówno w Zbylitowskiej Górze, jak i w Dukli, badane produkty dekompozycji występują w dosyć dużym stężeniu w strefie korzeniowej koniczyny (ryc. 5). Liczne ofiary wojny spoczęły w tych grobach na znacznie mniej-szych głębokościach. Korzenie koniczyny mają dostęp do badanych pierwiastków.



Ryc. 5. Różnice pomiędzy zawartością Ca i P w liściach koniczyny na wybranych cmentarzach oraz w miejscach porównawczych. Oznaczenia jak w tabelach
Differences in Ca and P contents in leaves of clover collected from selected cemeteries and other control areas. Explanations as in tables

Słaby wpływ krakowskich cmentarzy na grunt powyżej pochówku potwierdza także niewielka obecność P (1,3 ppm) w grzybie znalezionym na cmentarzu przy ulicy Rakowickiej (ryc. 6). Płonna postać grzybni tworzy zwartą strukturę sieci w glebach lekkich nawet do głębokości 0,3 m, natomiast na ciężkiej glinie sięga zaledwie do 0,05 m. Koncentracja P w grzybach na innych grobach jest zdecydowanie wyższa i wynosi odpowiednio: na masowych grobach w Borze koło Rzeszowa – 109,3 ppm i w Barwinku – 112,3 ppm oraz w pobliżu krematoriów w Oświęcimiu – 132,3 ppm (ryc. 6). Należy jednak pamiętać, że są to miejsca, w których wykazano największy wpływ pochówków na środowisko przyrodnicze spośród badanych 245 cmentarzy w południowo-wschodniej Polsce (Żychowski, 2008).

Stosunkowo niską koncentrację Fe stwierdzono w grzybie rosnącym na grobie przy ulicy Rakowickiej (8,9 ppm). Jest to wielkość porównywalna z koncentracją Fe w grzybach z masowych grobów na Przełęczy Małastowskiej (4,7 ppm) oraz w Barwinku – 7,14 ppm (ryc. 6). Na tych cmentarzach nie stwierdzono sprzyjających warunków do lokalnych podtopień przez wody gruntowe (tab. 2). Znacznie wyższa koncentracja Fe występuje natomiast na terasach rzecznych w Krośnie (25,41 ppm) i Oświęcimiu (22,48 ppm) oraz na płaskowyżu w Borze (42,25 ppm). Sprzyja temu obecność piasków i duża zmienność zwierciadła wody gruntowej w Borze oraz lessopodobne podłoże w Grębałowie (ryc. 6, fot. 1).



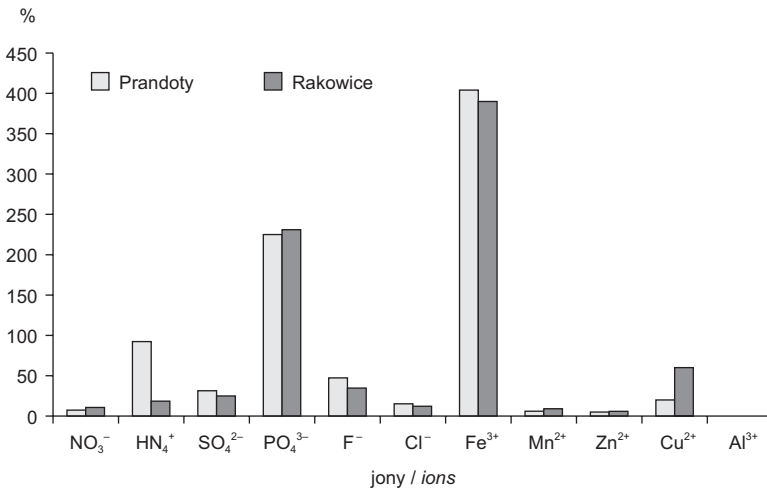
Ryc. 6. Zawartość P, Pb i Fe w grzybach na różnych cmentarzach.
Oznaczenia jak w tabelach

P, Pb and Fe contents in fungi collected at the different cemeteries.
Explanations as in tables

Także relatywnie wyższa była w grzybach zawartość pierwiastków ciężkich, w tym Pb (ryc. 6): ponad 12 ppm w grzybie z cmentarza przy ulicy Rakowickiej (grób 1919–1921). Bardzo wysoka była tu też zawartość Pb w podłożu. Grób z Rakowic znalazł się na początku drugiej dziesiątki w zestawieniu zawartości Pb w podłożu 245 cmentarzy (Zychowski, 2008), natomiast masowe groby przy ulicy Prandoty zajęły miejsca w drugiej i trzeciej dziesiątce tego zestawienia. Stosunkowo wysokie stężenie Pb w podłożu oraz w grzybach na tych cmentarzach jest prawdopodobnie związane również z emisją zanieczyszczeń w terenie wielkomiejskim. Dotyczy to szczególnie grobów położonych w pobliżu ruchliwych tras komunikacyjnych, np. na cmentarzu przy ulicy Rakowickiej. Wysokie stężenie Pb w grzybach głównie wskutek dekompozycji dotyczy tylko dużych masowych grobów z II wojny światowej, np. w Borze (5,82 ppm) i Oświęcimiu (17,5 ppm).

Zanieczyszczenie wód podziemnych

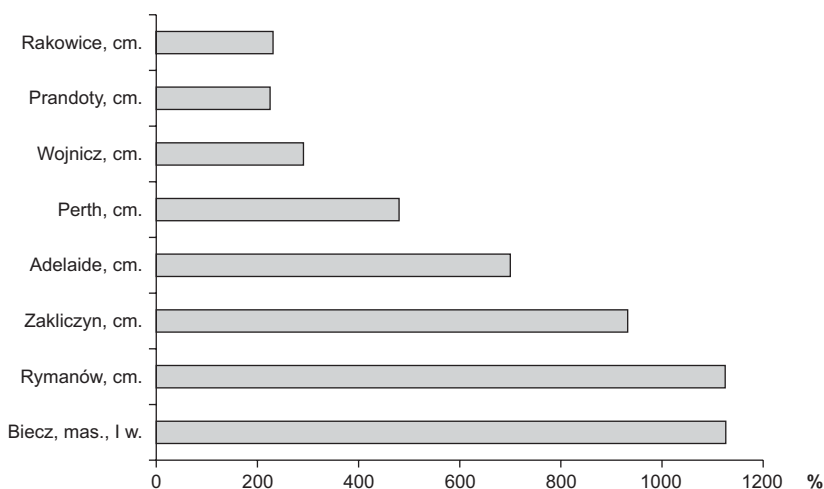
Zwierciadło wody gruntowej pod cmentarzami przy ulicy Rakowickiej i Prandoty zalega na głębokości około 7,5 m i podnosi się tylko podczas długotrwałych i dużych opadów. Na 11 badanych jonów w dwóch przypadkach stwierdzono podwyższoną ich koncentrację w stosunku do wymaganej przez polskie prawo dotyczące wody pitnej (Dz.U. nr 32, poz. 284) – były to jony fosforanowe i żelaza (ryc. 7). Obecność jonów żelaza jest tu typowa dla utworów aluwialnych, natomiast dwukrotne przekroczenie dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych jest związane z wpływem cmentarzy. Przekroczenia te wystąpiły na obu cmentarzach.



Ryc. 7. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych stężeń wybranych jonów w wodach podziemnych pod cmentarzami: wojskowym przy ul. Prandoty i Rakowickim w Krakowie
 Percentage exceedance of permissible concentrations of ions in the groundwater below cemeteries: military cemetery in Prandoty Street and Kraków Rakowicki Cemetery
 NO₃⁻ azotanowe/nitrate; NH₄⁺ amonowe/ammonium; SO₄²⁻ siarczanowe/sulphate; PPO₄³⁻ fosforanowe/phosphate; F⁻ fluorkowe/fluoride; Cl⁻ chlorkowe/chloride; Fe³⁺ żelaza/iron; Mn²⁺ manganu/manganese; Zn²⁺ cynku/zinc; Cu²⁺ miedzi/copper; Al³⁺ glinu/aluminium

Stężenia jonów fosforanowych w badanych miejscach w Krakowie są jednak o wiele mniejsze niż w wodach gruntowych pod innymi cmentarzami, np. na stokach w Rymanowie czy Zakliczynie (ryc. 8). Podobne koncentracje tych jonów występują np. w Wojniczu, gdzie zwierciadło wody gruntowej zalega w utworach terasy Dunajca na głębokości około 4 m (tab. 4). Jego wahania są małe i występują sporadycznie w związku z dużą odległością cmentarza od koryta rzeki.

W wodach pod cmentarzami w Rymanowie i Zakliczynie pomierzono natomiast dużo mniejsze stężenie jonów żelaza (ryc. 9). W zwierzelinie piaskowców fli-szowych w Rymanowie i Zakliczynie żelaza jest bowiem znacznie mniej niż w koluwiach w Bieczu i aluwjach w Oświęcimiu. Ponadto w innych badaniach w Polsce i za granicą potwierdzono dużą koncentrację jonów azotanowych i amonowych, szczególnie w pobliżu nowych grobów (Vass i inni, 1992; Żychowski i inni, 2000a, b; Trick i inni, 2001). Koncentracja ta maleje wraz z oddalaniem się od grobów i szybko zmniejsza się z upływem czasu (Dent, 2000a, b). Wspomnianych jonów na krakowskich cmentarzach było dosyć mało. Wiąże się to przede wszystkim z głębokim zaleganiem zwierciadła wody gruntowej oraz z małymi jego wahaniami. Zanieczyszczenia te są charakterystyczne w miejscach, w któ-

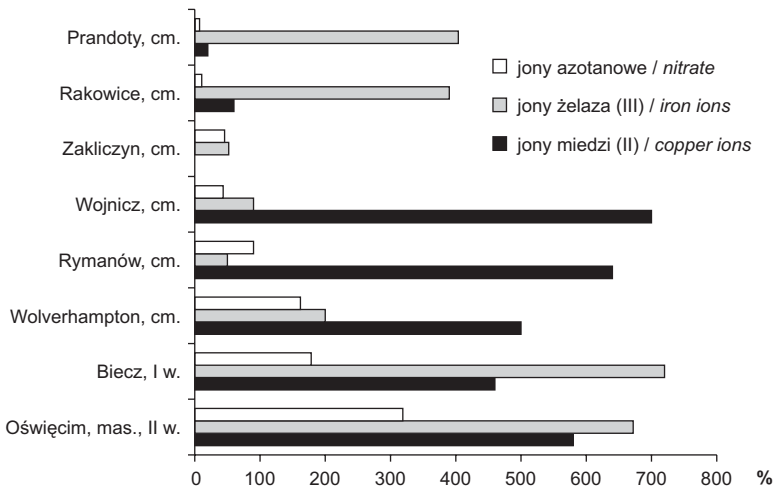


Ryc. 8. Przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych w wodach podziemnych (Dz.U. nr 32, poz. 284). Oznaczenia jak w tabelach

Cases of permissible contents of phosphate ions being exceeded in groundwater beneath selected cemeteries. Explanations as in tables

rych płytko zalega poziom wody gruntowej, np. w Bieczu i Oświęcimiu (tab. 4, ryc. 9). Badana woda gruntowa przy ulicy Rakowickiej i Prandoty jest niezdatna do picia, głównie ze względu na zawartość jonów fosforanowych. Nie są to jednak duże zanieczyszczenia – czynnikiem ograniczającym jest mniejsza ilość wód opadowych, która dociera do wód gruntowych. Powodem jest spływ wody opadowej po płytach nagrobkowych, wylewkach betonowych wokół nagrobków i z asfaltowych alejek do kanałów przeciwdeszczowych. Odprowadzaniu wody z dachów cmentarnych budowli do kanałów odwodnienia sprzyjają też rynny. Pokrycie nieprzepuszczalnymi płytami cmentarza przy ulicy Rakowickiej sięga

nawet 70%. Czynnikiem ten uważa się za istotny w ograniczaniu zanieczyszczeń wód gruntowych pod cmentarzami. Wskazuje na to również wzrost ich zanieczyszczeń po ulewnych deszczach, podczas których zawodzą systemy odwodnień (Żychowski, Pawlikowski i Lach, 2006; Żychowski, 2008). Spływająca z nawierzchni alejek woda opadowa odpływa na niżej położony teren porośnięty trawą i infiltrowuje w aluwialne osady. Zanieczyszczeniom wód gruntowych sprzyja również nieszczelność niektórych grobowców – złożone w nich pochówki są zalwane wodą, która wypłukuje produkty dekompozycji. Miejsca te są również polami alimentacji dla wód.

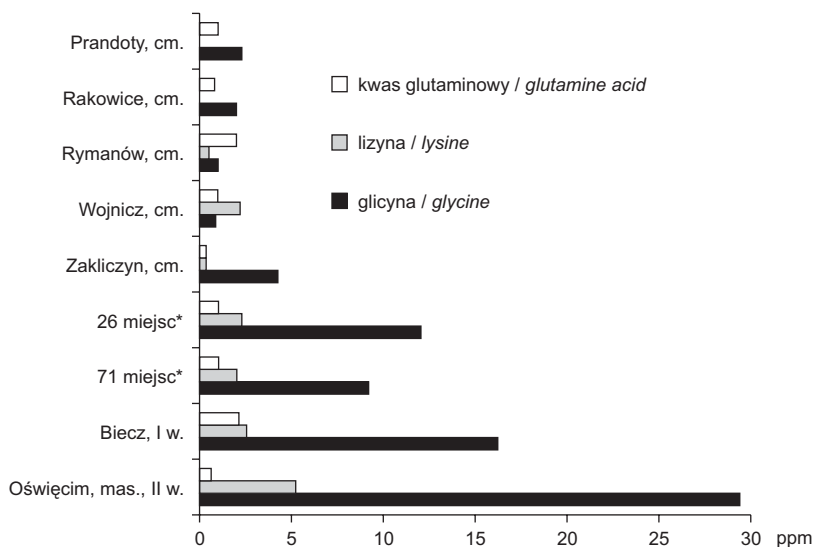


Ryc. 9. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w wodach podziemnych pod wybranymi cmentarzami. Oznaczenia jak w tabelach
Comparison of exceedances of permissible contents of selected ions in groundwater beneath selected cemeteries. Explanations as in tables

W prowadzonych badaniach częściej stwierdzano znacznie podwyższone stężenia kationów, np. miedzi (ryc. 9). Inne obserwacje prowadzone w Krakowie sugerują znaczną zmienność jakości wody w czasie w zależności od warunków pogodowych (Żychowski, 2008).

W wyniku rozkładu białek do wody przedostają się także aminokwasy (Żychowski i inni, 2002, 2003, 2005). W wodach gruntowych w Krakowie nie stwierdzono lizyny, była ona jednak obecna w wielu innych miejscach (ryc. 10). Niewielką koncentrację glicyny (około 2,5 ppm) stwierdzono przy ulicy Rakowickiej i Prandoty (ryc. 10). Wartością graniczną, która jednoznacznie wskazuje na istotny wpływ cmentarzy na środowisko, jest zawartość glicyny 12 ppm (Żychowski i inni, 2005). Tak wysokiej koncentracji sprzyja szczególnie środo-

wisko teras rzecznych. Najwyższą zawartość glicyny odnotowano w płytko zalegających wodach gruntowych w Oświęcimiu–Brzezince (tab. 4, ryc. 10). Migrację produktów dekompozycji w przepuszczalnych podłożach (np. w piaskach i żwirach) można ograniczyć wypełniając przestrzeń wokół trumien materiałem nieprzepuszczalnym (Dent i Knight, 1998; Żychowski i inni, 2006).



Ryc. 10. Średnie zawartości lizyny, glicyny oraz kwasu glutaminowego w wodach podziemnych pod wybranymi cmentarzami. Oznaczenia jak w tabelach
* średnia dla 26 cmentarzy położonych na terasach i dla 71 cmentarzy z różnych miejsc.

Average lysine, glycine and glutamic acid contents in the groundwater beneath selected cemeteries. Explanations as in tables

* mean for 26 cemeteries located on terraces and for 71 cemeteries at various places.

W środowisku wodnym potwierdzono występowanie bardzo małej ilości (około 1 ppm) dobrze rozpuszczalnego kwasu glutaminowego. Jego stężenie jest porównywalne ze średnią koncentracją obliczoną dla innych 71 cmentarzy (ryc. 10). Tylko na nielicznych cmentarzach było ono dwukrotnie większe, np. w Rymanowie i Bieczu. Spośród innych aminokwasów odnotowano śladowe stężenia leucyny i izoleucyny (przy ulicy Rakowickiej i Prandoty). Natomiast w innych miejscach średnia koncentracja leucyny wynosi 3 ppm, a izoleucyny – 1 ppm (Żychowski i inni, 2005).

Podsumowanie

Badane krakowskie cmentarze nie stanowią współcześnie dużego zagrożenia dla środowiska przyrodniczego (ryc. 1). Zawartość P jest tutaj zdecydowanie niższa (szczególnie na Rakowicach) niż na innych cmentarzach, np. położonych na terasach rzecznych w Tarnowie i Oświęcimiu (ryc. 2, 3). Na ten mały wpływ wskazuje również koncentracja tego pierwiastka w liściach koniczyzny, której korzenie penetrują grunt do głębokości 1,5 m oraz w grzybie sięgającym plechą do około 0,3 m (ryc. 5, 6). Główną przyczyną małych stężeń jest głębokość zwierciadła wody podziemnej, np. na Rakowicach około 7,5 m (tab. 4). Miąższość strefy aeracji znacznie ogranicza także przemieszczanie się produktów dekompozycji w górne części profili pionowych. Duża ich koncentracja w masowych grobach, np. w Oświęcimiu i Dukli, jest związana z dużą liczbą ofiar. Obecność w podłożu Fe (Plaszów, Grębałów), Ca (Podgórze) oraz minerałów ilastych (Grębałów, Dukla) sprzyja zatrzymywaniu produktów dekompozycji *in situ* (ryc. 2, 4, fot. 1). Płytkie zaleganie wód gruntowych oraz częste podnoszenie się ich zwierciadła sprzyja migracji jonów również w kierunku powierzchni terenu. W warstwach przypowierzchniowych łączą się one w mniej lub bardziej trwałe związki, nierozpoznane na tym etapie badań. Dlatego relatywnie duża koncentracja badanych pierwiastków występuje w Plaszowie oraz na Starym Cmentarzu w Tarnowie (ryc. 2). Obecność masowych grobów, szczególnie z II wojny światowej, zwiększa koncentrację Cr w podłożu cmentarzy, np. w Krakowie przy Prandoty oraz w Dukli (ryc. 3).

Jakość wód podziemnych na Rakowicach i przy Prandoty jest niezadowalająca ze względu na obecność jonów fosforanowych i żelaza (ryc. 7, 8). Nawet znacznej miąższości strefa aeracji nie wyklucza wpływu cmentarza, jednak poważnie go ogranicza. Na krakowskich cmentarzach nie stwierdzono lizyny, leucynę i izoleucynę wykazano w śladowych stężeniach lub pomierzono bardzo małą koncentrację glicyny i kwasu glutaminowego (ryc. 10). W wodach nie odnotowano także tak dużych stężeń jonów azotanowych, amonowych i miedzi (II) jak na innych cmentarzach, np. w Bieczu i Oświęcimiu (ryc. 9). Migrację produktów dekompozycji do środowiska przyrodniczego ogranicza również zagospodarowanie cmentarza: szczelne grobowce, betonowe wylewki wokół grobów, system rynien oraz kanały przeciwdeszczowe wzdłuż asfaltowych alejek. Zmienność stężenia jonów w wodach pod cmentarzami jest jednak uzależniona od warunków pogodowych (Żychowski, 2008). Groźne może okazać się podniesienie wody gruntowej w stożku napływowym Prądnika. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej sytuacji jest obecnie niewielkie, ale zagrożenie istnieje w związku ze wzrostem ilości opadów w ostatnich latach, prognozą dalszego ich wzrostu do 2020 r. i coraz częstszym występowaniem gwałtownych ulew.

Nowe lokalizacje cmentarzy wymagają ustawowych ograniczeń i określenia sprzyjających dla środowiska warunków ich ulokowania. Dotychczasowe polskie rozwiązania prawne nie zapewniają podejmowania decyzji lokalizacyjnych zgodnych z koncepcją ekorozwoju.

Częściowym rozwiązaniem badanego problemu jest budowa krematorium. Takie rozwiązanie jest już praktykowane w kilku miastach w Polsce. Badania opinii społecznej (CBOS) wskazują na dużą przychylność dla tej formy grzebania zmarłych. Obecnie prawie 10% zmarłych jest już spopielaone. W sąsiednich Czechach i w krajach skandynawskich kremuje się blisko 70% zmarłych.

Wnioski

Wpływ badanych krakowskich cmentarzy na środowisko przyrodnicze jest niewielki dzięki temu, że:

- wody gruntowe pod cmentarzami zalegają głęboko;
- wahania zwierciadła wody gruntowej są nieznaczne i rzadkie;
- cmentarze są w znacznej części pokryte nieprzepuszczalnymi powierzchniami, np. skalnymi płytami, betonowymi wylewkami, asfaltowymi drózkami itp.; sprawia to, że powierzchnia alimentacyjna wód gruntowych jest mała;
- cmentarze są dobrze odwadniane, np. poprzez rynny na dachach większych grobowców, odprowadzenia spływających wód do kanałów itp.;
- podłoże zawiera sorbenty produktów dekompozycji, np. węgiel wapnia, Fe oraz minerały ilaste;
- grobowce są na ogół w dobrym stanie, dlatego woda do nich nie wpływa i nie wypłukuje produktów dekompozycji.

Piśmiennictwo

- Arrhenius O., 1929, *Die Phosphatfrage*, Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 14A, s. 185–194.
- Dent B.B., Knight M.J., 1998, *Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management*, [w:] *International Association of Hydrologists. Proceedings of IAHS Sustainable Solutions Conference, Melbourne 8–13 February 1998*, International Association of Hydrologists, Kenilworth, s. 451–456.
- Dent B.B., 2000a, *Cemetery decay product profiles: two cases in Australian, unconsolidated, Sandy Aquifers*, [w:] *Searching for a Sustainable Future: 15th AGC Understanding Planet Earth, Sydney, 3–7 July*, Geological Society of Australia. Abstracts, University of Technology, Sydney, s. 130.
- , 2000b, *Decay products in cemetery groundwaters*, [w:] H. Jost, J. Affonso Brod (red.), *Geology and Sustainable Development: Challenges for the Third Millennium, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 6–17 August*, cd-rom, SOPAC Secretariat.

- Fisher G.T., Croukamp L., 1993, *Groundwater Contamination and its Consequences Resulting from the Indiscriminate Placing of Cemeteries in the Third World Context*. vol. 1, *Africa Needs Groundwater Convention*, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B., 2002, *The identification of adipocere in grave soils*, *Forensic Science International*, 127, s. 225–230.
- Harmse J.T., Tumagole K.B., 2006, *Groundwater pollution at Ditengeng Northern Cemetery north of Pretoria, South Africa*, [w:] *Abstracts. Quadrennial Conference International Geographical Union, Brisbane, 3–7 July*, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia, cd-rom.
- Joner E.J., Briones R., Leyval C., 2000, *Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal Mycelium*, *Plant and Soil*, 226, s. 227–234.
- Khan A.G., Kuek C., Chaudhry T.M., Khoo C.S., Hayes W.J., 2000, *Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation*, *Chemosphere*, 41, s. 197–207.
- Knight M.J., Dent B.B., 1995, *A watery grave – the role of hydrogeology in cemetery practice*, [w:] *Australian Cemeteries and Crematoria Association (ACCA). National Conference in Sydney*, Australian Cemeteries and Crematoria Associations News, Summer, s. 19–22.
- , 1998, *Sustainability of waste and groundwater management systems*, [w:] T.R. Weaver, C.R. Lawrence (red.), *Conference of the International Association of Hydrogeologists, Melbourne, 8–13 February 1998*, International Association of Hydrogeologists, Kenilworth, s. 359–374.
- Krupa P., Kozdrój J., 2004, *Accumulation of heavy metals by ectomycorrhizal fungi colonizing birch trees growing in an industrial desert soil*, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20, 4, s. 427–430.
- Lovera M., Cuenca G., 1996, *Arbuscular mycorrhizal infection in Cyperaceae and Gramineae from natural, disturbed and restored savannas in La Gran Sabana, Venezuela*, *Mycorrhiza*, 6, s. 111–118.
- Marcinek J., Wiślański T., 1959, *Sprawozdanie z wstępnych badań gleboznawczych na obiektach archeologicznych w Strzelcach i Głogówku w pow. Mogilno w 1956 r.*, *Sprawozdania Archeologiczne*, 7, s. 77–93.
- Matos B.A., 2001, *Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo*, Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19122001-082301/publico/TDE.pdf>; Serviço Geológico do Brasil (26.04.04).
- Miller R.M., Jastrow J.D., 2000, *Mycorrhizal fungi influence soil structure*, [w:] Y. Kapulnik, D.D. Douds (red.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, s. 3–18.
- Pacheco A., Mendes J.M.B., Martins T., Hassuda S., Kimmelman A.A., 1991, *Cemeteries: A potential risk to groundwater*, *Water Science and Technology*, 24, 11, s. 97–104.
- Smith S.E., Read D.J., 1997, *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic Press, London.
- Spongberg A.L., Becks P.M., 2000, *Inorganic Soil Contamination From Cemetery Leachate*, *Water, Air, and Soil Pollution*, 117, s. 313–327.
- Tam P.C.F., 1995, *Heavy metal tolerance by ectomycorrhizal fungi and metal amelioration by *Pisolithus tinctorius**, *Mycorrhiza*, 5, s. 181–187.

- Trick J.K., Klinck B.A., Coombs P., Chambers J., Noy D.J., West J., Williams G.M., 2001, *Pollution Potential of Cemeteries: Impact of Danescourt Cemetery*, Wolverhampton, British Geological Survey Internal Report, Keyworth, Nottingham, IR/01/104, 29.
- Ucisk A.S., Rushbrook P., 1998, *The impact of cemeteries on the environment and public health – an introduction briefing*, Regional Office for Europe, World Health Organization, Nancy Project Office, EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A), s. 1–11.
- Van Haaren F.W.J., 1951, *Cemeteries as Sources of Groundwater Contamination*, American Institute of Chemical Engineering, Water, 35, 16, s. 167–172.
- Vass A.A., Bass W.M., Wolt J.D., Foss J.E., Ammons J.T., 1992, *Time since death determinations of human cadavers using soil solution*, Journal of Forensic Sciences, 37, 5, s. 1236–1253.
- Żychowski J., 2007, *Wpływ masowego grobu na zawartość wybranych związków organicznych w wodzie gruntowej*, [w:] M. Ziulkiewicz (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. V, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 359–366.
- , 2008, *Wpływ masowych grobów z I i II wojny światowej na środowisko przyrodnicze*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Pedagogicznej, Kraków.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2000a, *Właściwości fizyczno-chemiczne wód podziemnych nekropolii Polski południowo-wschodniej*, [w:] J. Burchard (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. I, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 249–261.
- , 2000b, *Przestrzenna zmienność chemizmu wód podziemnych w otoczeniu nekropolii w Polsce południowej*, [w:] J. Burchard (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. I, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 261–269.
- , 2002, *Zróżnicowanie zawartości lizyny i kwasu glutaminowego w wodach podziemnych na wybranych cmentarzach w Polsce południowo-wschodniej*, [w:] J. Burchard (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. II, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 241–251.
- , 2003, *Występowanie aminokwasów: glicyny, leucyny i izoleucyny w wodach podziemnych na cmentarzach zlokalizowanych w różnych środowiskach*, Przegląd Geologiczny, 51, 11, s. 962–963.
- , 2005, *Zróżnicowanie zawartości glicyny, leucyny i izoleucyny w wodach podziemnych na cmentarzach zlokalizowanych w różnych podłożach*, [w:] J. Burchard (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. III, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 281–290.
- , 2006a, *Wpływ podłoża z masowym pochówkiem z II wojny światowej na skład chemiczny wód gruntowych*, [w:] M. Ziulkiewicz (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, t. V, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 349–357.
- Żychowski J., Pawlikowski M., Lach J., 2006b, *Produkty dekompozycji szczątków organicznych na przykładzie masowego grobu w Niepołomicach*, Kwartalnik AGH, Geologia, 32, 2, s. 203–224.

[Wpłynęło: październik 2009; poprawiono: kwiecień 2010 r.]

JÓZEF ŻYCHOWSKI

THE INFLUENCE OF CEMETERIES
OF KRAKÓW ON THE ENVIRONMENT

In 1998, the WHO drew special attention to the negative impacts of cemeteries on the environment, particularly as regards increased contents of intestinal bacteria, ions, amino-acids and organic compounds in groundwater, as well as chemical elements and botulinus in soil.

The work described here addressed the environmental impacts exerted by selected Kraków cemeteries, i.e. Podgórski, Rakowicki, the military cemetery in Prandoty Street, Grębałowski, the Płaszów camp and Osikówka, Zbylitowska Góra (2), Tarnów, Wojnicz, Zakliczyn, Oświęcim-Brzezinka, Nowy Sącz, Biecz, Bór, Przełęcz Małastowska, Krosno, Dukla, Barwinek and the Rymanów burial site (Fig. 1). The research conducted deals mainly with the contents of elements in soil above graves, and in clover and fungi growing on them, as well as ion condensation in the groundwater below graves. Mineral-petrography products deriving from burial places were also tested.

Contents of the 20 elements Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Si, Pb, N, P, S, F, Cl and I were measured in soil samples, while contents in clover and fungi and in water samples concerned: nitrate, ammonium, sulfate, phosphate, fluoride, chloride, iron, manganese, zinc, copper and aluminum ions.

The soil above graves was found to sustain relatively low contents of P. The environmental impact index ranges from 7.2 ppm P at Rakowicka Street up to 36.6 ppm P at Płaszów (Fig. 2). This insignificant impact of graves on the soil above them in terms of element content is also confirmed by limited (c. 9 ppm) differences in P content between the studied burial places and other places used for comparison. Differences are also small in terms of the P content of clover sampled from the burial places and control areas (Fig. 2). This regularity is also confirmed by a low (1.3 ppm) P content in a fungus collected at the cemetery near Rakowicka Street (Fig. 6).

The differentiation in P concentrations also depends to a great extent on the presence of sorbents in the soil being tested, e.g. calcium or iron compounds, as well as clay materials. One of the reasons for different P concentrations reflects spatially differentiated concentrations of Ca, ranging from c. 2.5 ppm in the near-surface level at Rakowicka Street to 46.3 ppm at Płaszów (Fig. 2). At Grębałów, Ca content down the vertical profile accounted for between 12 and 21 % of the fine-grain mud. Its higher content in the burial places in Płaszów is also confirmed by clover samples (Fig. 5). A lime base favors the preservation of bone structures, and the generation of many post-decomposition compounds. There was no high Fe content noted at the tested cemeteries, only about 26 ppm Fe (Plate 1). These contents are relatively low, as were those in fungi - a reflection overall of the lack of waterlogging (Fig. 6). The significance of Fe compounds in keeping decomposition products *in situ* was confirmed by the samples taken from the burial places at Grębałów. Formless iron compounds were noted in the vicinity of items of organic matter (Plate 1). In those sediments, fine-grain and sharp-edge quartz crystals were also locally bound by small amounts of clay materials. However, in the soil tested at Rakowicka and Prandoty, relatively high concentrations are 0.76 ppm Cr and 11.3 ppm Pb (Fig. 3). A high Pb content in fungi there was also obtained

(Fig. 6). The presence of these elements is associated with the proximity of traffic-congested streets. These elements trigger decomposition processes and allow for the generation of numerous chemical compounds. The presence of such elements was not confirmed in the sediments at Grębałów, at which the fine-grain quartz crystals bound locally by clay materials are dominant (Plate 1, Fig. 4). For 11 tests for ion content in water, it was only in the case of phosphate and iron ions that maximum concentrations permissible in law were exceeded, notably in respect of a 200% exceedance of permissible phosphate ion content (Fig. 8). The concentrations of these ions in Kraków is significantly lower than in the groundwater from below the cemeteries being tested (Fig. 7). This relationship does not hold for Fe ions, however (Fig. 9). In the water tested, relatively low contents of nitrate, ammonium and copper ions were noted (Fig. 9). Also, due to the significant depth of the groundwater level below the cemeteries tested, there was no lysine content noted in the samples taken. However, there was a relatively low content (as set against other cemeteries tested) of glycine, glutamic acid, leucine and isoleucine (Fig. 10).

Cemeteries' limited environment impacts reflect the said deep level at which groundwater lies, the limited catchment areas for this water and efficient water outflow. The usage of materials that bind the products of decomposition *in situ* may also be referred to. At the tested cemeteries, water outflow to the sewer system should be provided in a few places. A number of gravestones require some repairs, and not only for aesthetic reasons. Rapid rises in groundwater levels in some places may also trigger the migration of decomposition products.

