

PRODUKTY DEKOMPOZYCJI SZCZĄTKÓW ORGANICZNYCH NA PRZYKŁADZIE MASOWEGO GROBU W NIEPOŁOMICACH

**Products from decomposition of organic compounds.
Example of a mass grave in Niepołomice near Cracow**

Józef ŻYCHOWSKI¹, Maciej PAWLIKOWSKI² & Jan LACH¹

¹*Akademia Pedagogiczna, Instytut Geografii, Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska Geograficznego; ul. Podchorążych 2, 31-860 Kraków;*

e-mail: jozych@ap.krakow.pl, jlach@ap.krakow.pl

²*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Mineralogii, Petrografii i Geochemii; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;*

e-mail: mpawlik@uci.agh.edu.pl

Treść: W celu oceny zjawisk dekompozycji masowego grobu w Puszczy Niepołomickiej przeprowadzono badania mineralogiczno-petrograficzne podłoża. Wykonano je za pomocą mikroskopów polaryzacyjnego oraz skaningowego wraz z przystawką elektronową EDS pozwalającą wykonać półilościowe analizy chemiczne. Ponadto zbadano koncentrację występujących w próbkach pierwiastków: Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Si, Pb, N, P, S, F, Cl i I za pomocą absorpcyjnej spektroskopii atomowej AAS. Badania prowadzono w miejscu pochówku, w jego bezpośrednim otoczeniu oraz w profilu porównawczym, odległym o około 300 m od masowego grobu.

W pracy tej wykazano, że pierwiastki uwolnione podczas dekompozycji pozostają w środowisku masowego grobu, np. w wyniku sorpcji fosforu, wyznacznika procesu dekompozycji, na tleno-wodorotlenkach Fe. Na głębokości miejsca pochówku, wykazano wielokrotnie wyższe zawartości wielu pierwiastków: P, Cl, F, Na, Zn, Cu, S, N, K, Ca i I, których ilość znacznie wolniej maleje wraz z głębokością w porównaniu z profilem porównawczym. Badania te jednoznacznie wskazują na konieczność stosowania barier ochronnych wokół współczesnych cmentarzy w celu zabezpieczenia środowiska, a zwłaszcza wód gruntowych, przed ich niekorzystnym wpływem.

Słowa kluczowe: cmentarz, ochrona środowiska, migracja pierwiastków

Abstract: In order to evaluate decomposition phenomena of the mass grave from Puszcza Niepołomicka (a forest near Niepołomice), mineral-petrography soil research was conducted by use of polarizing and scanning microscope equipped with EDS electron attachment allowing to perform semi-quantitative chemical analysis. Also, concentration of elements occurring in the samples was measured: Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Si, Pb, N, P, S, F, Cl and I by use of atomic absorption spectroscopy AAS. Research was conducted in the place of burial, its closest vicinity and in the comparative profile situated about 300 m away from the mass grave.

In this work it was proved that elements released during the decomposition process remain in the mass grave environment, e.g. as a result of phosphorus sorption, decomposition process determinant, on oxide – Fe hydroxides. At the depth of the burial, significantly higher contents of many elements were analysed: P, Cl, F, Na, Zn, Cu, S, N, K, Ca and I, which drops significantly with the depth when compared to the comparison profile. This research unequivocally states that there is a necessity to use protection barriers around modern graveyards in order to protect the environment, especially groundwaters, from their adverse influence.

Key words: cemetery, protection of environment, migration elements

WSTĘP

Zjawiska dekompozycji szczątków organicznych, w tym także pochowanych zwłok ludzkich, są ostatnio obiektem istotnych i intensywnych badań (Van Haaren 1951, Pacheco *et al.* 1991, Żychowski *et al.* 1996, Ucisik & Rushbrook 1998, Rodrigues & Pacheco 2003). Wynika to z kilku przesłanek, z których najistotniejsza dotyczy możliwości skażenia środowiska substancjami wyprowadzanymi z cementarzy. Nieliczne prace dotyczą zawartości pierwiastków pochodzących z dekompozycji miejsca pochówku (Żychowski 2000). Przedmiotem największej liczby badań jest zanieczyszczenie chemiczne i skażenie bakteriologiczne wód gruntowych, które mogą stanowić zagrożenie dla wody w zbiornikach retencyjnych i ciekach powierzchniowych (Żychowski *et al.* 2000).

Ubiegły wiek zapisał się w pamięci ludzkości również z powodu masowych grobów. W okresie światowych wojen dochodziło często do masowych pochówków. Odbywało się to często w lasach, w łatwym do rozkopania podłożu. Po II wojnie światowej proceder ten kontynuowano na całym świecie w czasie prowadzenia lokalnych wojen.

Na jednym z takich masowych grobów z okresu II wojny światowej przeprowadzono badania oceniające wpływ miejsca pochówku na zmiany chemiczne podłoża w jego otoczeniu. Źródła historyczne podają, że w badanym grobie na „Kozich Górkach” pochowano na głębokości poniżej 1 m około 700 osób w dniu 2 sierpnia 1942 roku. Badany grób znajduje się w lesie w pobliżu Niepołomic na starej terasie akumulacyjnej Wisły z okresu zlodowacenia bałtyckiego. Jego granice wyznaczają jedynie nierówności terenu.

Ten masowy grób jest położony w piaskach pomiędzy wydmami, zwanymi „Kozie Górki”, wysokimi najwyżej na około 10 m. Leży on w odległości około 3 km na południe od koryta Wisły na wysokości około 205 m n.p.m. Pod przepuszczalnymi piaskami, w których dokonano pochówku, zalegają nieprzepuszczalne ropy. Uniemożliwiają one odpływ wody w głąb starszych utworów geologicznych. W części południowo-wschodniej Niepołomic, gdzie zlokalizowana jest mogiła, wody generalnie odpływają, przy małym spadku – 0.3‰, w kierunku północno-wschodnim, ku Drwince.

W celu okresowego odprowadzenia nadmiaru wody w lesie wykopano szereg rowów odwadniających. Najbliższy znajduje się w odległości około 100 m. Teren ten charakteryzuje się dużymi zmianami poziomu zwierciadła wody. Najwyższy poziom zanotowano w 1997 roku w czasie dużych długotrwałych opadów, które spowodowały powódzie w Karpatach. Po tym okresie poziom wody wahał się nieznacznie w ciągu roku. Obecnie utrzymuje się na głębokości około 2.5 m. O zmianach poziomu wody w wieloletnim świadczą poziom orsztynowy w badanych profilach. Wahania zwierciadła wody powodują również zmiany właściwości podłoża, w tym pH i potencjału redox.

Piaski Puszczy Niepołomiczkiej porasta głównie sosna z domieszką brzozy. Las sosnowy przyczynia się do zakwaszenia środowiska. Z rozkładających się igieł powstają kwasy organiczne. Woda zgromadzona w kałużach i rowach odwadniających ten teren ma w związku z tym słabo kwaśny odczyn (5.9–6.3 pH).

OPRÓBOWANIE I METODY BADAŃ

Próby z wykopów do badań podłoża pobierano w odległości około 8 m od miejsca pochówku w kierunku północno-zachodnim oraz na jego terenie, w części północnej.

Dokładniejsze sprecyzowanie lokalizacji miejsca prowadzonych prac nie jest możliwe ponieważ grób nie ma dokładnie wyznaczonych granic. Jego zasięg wyznacza jedynie falista i wklęsła powierzchnia terenu. Na terenie masowego grobu brak jest dużych drzew, rosną jedynie sporadycznie młode drzewka, np. dęby (Fig. 1). W miejscach przeprowadzonych wkopów odsłonięto dwa profile: jeden do głębokości około 2.5 m – w otoczeniu grobu, a drugi do około 1 m – na terenie grobu. Z głębszego wkopu pobrano cztery próby z głębokości: 0,5 m (0.30–0.34 m; 0.66–0.70 m; 1.22–1.26 m; 1.88–1.92 m). Zachowywały one strukturę osadów. W odsłoniętej ścianie wkopu wykonywano zagłębienia od strony miejsca pochówku i w ich strop wbijano delikatnie pojemnik. Natomiast jedna dodatkowa próbka, z miejsca pochówku, uwzględniała wyłącznie charakterystyczne koncentracje związków. Próbkę pobierano, sugerując się zabarwieniem osadów podłoża. Ponadto wykonano dwa odwierty za pomocą połowego świdra ze skręcanym próbnikiem: jeden na masowym grobie oraz drugi w odległości około 300 m od grobu w kierunku północno-wschodnim. Ten drugi, porównawczy odwiert, znajdował się również w lesie, za lokalnym nasypem utwardzonej leśnej drogi, odwadnianej głębokim rowem. Podczas sondowań świdrem próby do analiz chemicznych pobierano w dwóch profilach: w grobie do głębokości 2.5 m (0.6 m, 1.2 m, 1.8 m, 2.5 m) oraz w miejscu porównawczym do głębokości 2.0 m (0.3 m, 1.0 m, 1.4 m, 1.7 m, 2.0 m).



Fig. 1. Masowy grób w Niepołomicach w pobliżu Krakowa

Fig. 1. The mass grave in Niepołomice near Cracow (Poland)

Ocenę mineralogiczno-petrograficzną podłoża przeprowadzono za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego (uniwersalny Olympus BX-51) oraz mikroskopu skaningowego JEOL 5200 wraz z przystawką elektronową EDS w celu wykonania półilościowych analiz chemicznych. Ponadto zbadano w próbkach koncentrację wielu pierwiastków (Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Si, Pb, N, P, S, F, Cl, I) za pomocą absorpcyjnej spektroskopii atomowej AAS (spektrometry Philips PU 9100X oraz Elmer Perkins 2001). Dodatkowo mierzono potencjometrycznie pH (1n KCL) oraz potencjał utleniająco-redukcyjny rH. Do opracowania wyników wykorzystano program statystyczny „Statistica 5,1” (SP8068317302G51). Grupowania zawartości pierwiastków zawartych w próbkach, w pro-

filu masowego grobu, na różnych głębokościach, przeprowadzono metodą *k*-średnich przy maksymalizowaniu odległości skupień. Zasadnicze grupowania przeprowadzono osobno, dla (surowych danych) próbek z każdego sondowania, metodą aglomeracji Warda przy euklidesowych odległościach wiązań. Metoda Warda jest efektywna i tworzy skupienia o małej wielkości. Jest to szczególnie istotne, gdy dysponujemy stosunkowo małą ilością zmiennych i przypadków. Natomiast zastosowane w obliczeniach euklidesowe odległości wiązań wyróżniły te pierwiastki, które charakteryzują się wysokimi zawartościami. Dotyczy to wielu pierwiastków powstałych w wyniku dekompozycji.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania prowadzone za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego ujawniły, że nienaruszone osady znajdujące się w pobliżu masowego grobu mają petrograficznie zróżnicowany charakter. Dotyczy to zarówno składu mineralnego osadów, jak i ich uziarnienia. Generalnie osady do głębokości około 60 cm są w znacznym stopniu porowate i mają charakter piaszczysty. Ich głównym składnikiem jest dosyć dobrze obtoczony kwarc, któremu towarzyszy niewielka ilość minerałów ilastych i węglanów, reprezentowanych głównie przez kalcyt. Osady tego poziomu charakteryzuje stosunkowo wysokie pH, wynoszące 7.3. Natomiast niższe partie osadów reprezentowane są też przez piaski, które zawierają w profilu zmienną proporcję kwarcu do minerałów ilastych. W przeciwieństwie do wyżej leżących osadów mają one ciemniejszą barwę i nie zawierają kalcytu. Koreluje się to z niższym, wynoszącym 6.3 pH, tych osadów. W osadach tych obserwuje się na różnych głębokościach delikatne, brązowo zabarwione, laminy żelazistego orsztynu. Związki żelaza występujące w tych laminach są słabo krystaliczne lub bezpostaciowe. W obserwacjach mikroskopowych ujawniają one gruzełkową budowę i są przerosnięte ziarnami kwarcu, a niekiedy także grzybnią (Fig. 2). Ich geneza jest związana ze strącaniem się bezpostaciowych związków żelaza w strefie wahań poziomu wód gruntowych.

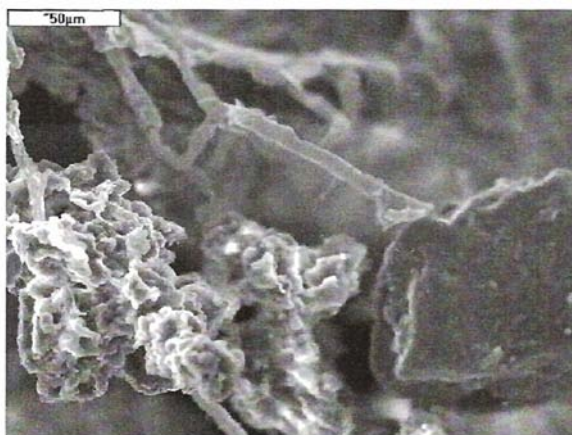


Fig. 2. Niepołomice. Fragment zmineralizowanej grzybni. Mikroskop skaningowy, powiększenie 500 ×

Fig. 2. Mineralised fungi. SEM, magnification 500 ×

Badania wspomnianych osadów przy znaczniejszych powiększeniach mikroskopu wskazują, że w dolnej części profilu osadów, w bezpośrednim otoczeniu masowego grobu (poniżej 60 cm), występują pojedyncze drobne okruchy kości (Fig. 3). Okruchy te powstają w wyniku rozpadu kości w procesach biochemicznych i mechanicznych. W środowisku kwaśnym – $\text{pH} < 6.6$ – do środowiska przechodzi wiele jonów: Ca^{2+} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , OH^- , F^- , Cl^- itd., które migrują wraz z wodą podziemną (Boskey 1981). Środowisko zasadowe – $\text{pH} > 7.6$ – sprzyja z kolei utrwaleniu wielu związków, np.: CaCO_3 , CaF_2 , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ itp. (Weiner *et al.* 1993). Reakcja powstałego w procesach dekompozycji dwutlenku węgla z wodą prowadzi do powstania kwasu węglowego. Zakwasza to środowisko i przyczynia się do rozpuszczania kości (Pawlikowski *et al.* 2000). Część drobnego materiału kostnego wędruje z miejsca złożenia w osady podścielające masowy grób. Duży udział w tej migracji mają zwierzęta drążące podziemne korytarze.

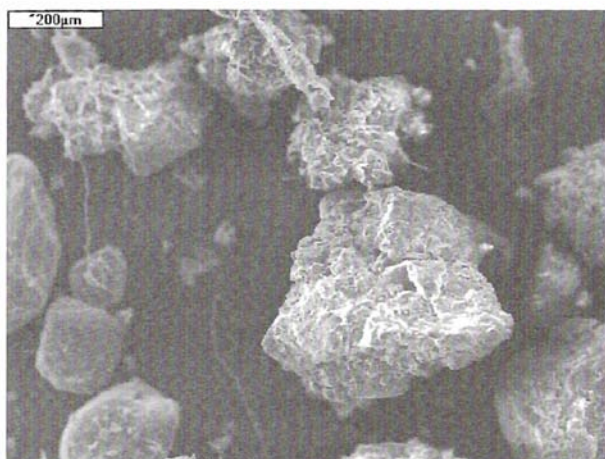


Fig. 3. Niepołomice. Mineralne i organiczne okruchy wydzielone z próbki. Mikroskop skaningowy, powiększenie 100 ×

Fig. 3. Mineral and organic compound present at grave sediment. SEM, magnification 100 ×

Okruchy kości, które znajdują się w otoczeniu grobów, są objęte procesem przeobrażeń. Manifestuje się to występowaniem cienkich, jasnych obwódek na powierzchni tych okruchów, jak również zjawiskiem orientowanego wygaszania światła przez zrekrystalizowane włókna kolagenowe, które znajdują się w beleczkach kostnych. Na niektórych fragmentach wspomnianych kostek obserwowano wtórne mineralne wypełnienia. Reprezentuje je głównie lokalny osad. Napotkano tu także drobne wytrącenia związków żelaza.

Obserwacje osadów wzbogaconych w okruchy kości prowadzone za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego wskazują, że razem z tymi okruchami współwystępują drobne, trudne do jednoznacznej identyfikacji skupienia organiczne (Fig. 4). Ich geneza może być, choć nie musi, związana z dekompozycją pochowanych szczątków ludzi.

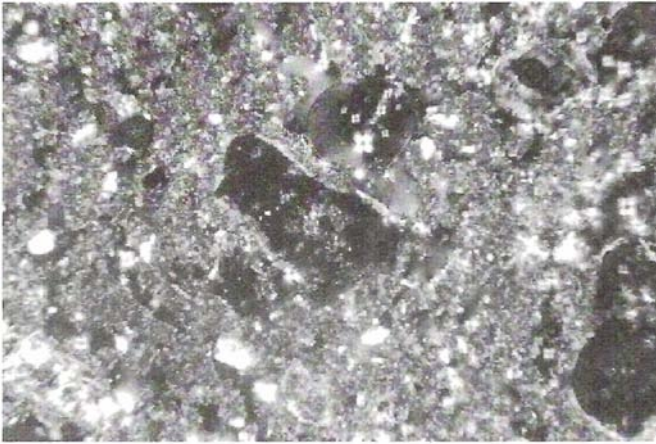


Fig. 4. Niepołomice. Strefa mineralizacji tlenkami i wodorotlenkami Fe. Ciemne ziarna to mikrofragmety kości otoczone wtórnymi produktami przeobrażeń (jasne otoczki). Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 80 ×

Fig. 4. Zone of sediments mineralised with secondary Fe-oxides. Dark grains – bone fragments (arrow) coated with secondary light minerals (thin, light lamina – carbonates). Polarizing light microscope, magnification 80 ×

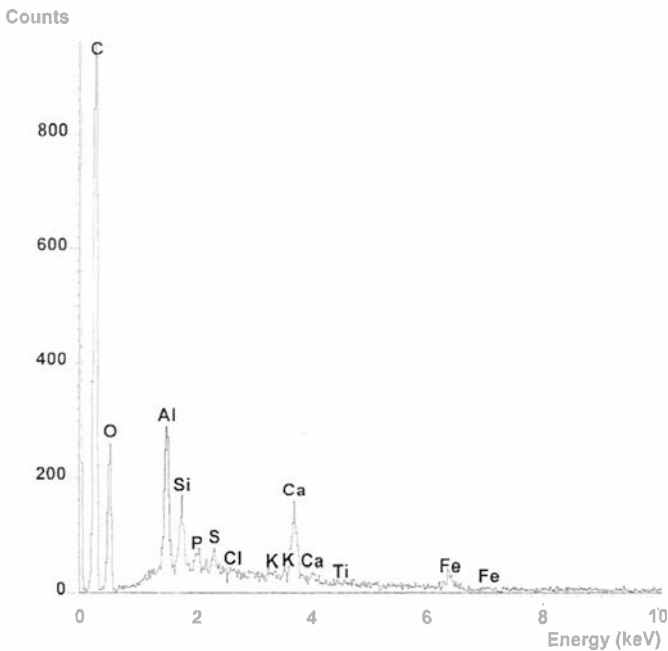


Fig. 5. Widmo EDS w punkcie 1 pokazanym na figurze 1

Fig. 5. EDS spectrum of point 1 – see Figure 1

Wstępne analizy chemiczne wykonane metodą EDS wskazują, że w otoczeniu grobu zawartość P jako pierwiastka antropogenicznego jest mała (Fig. 5). W rozważaniach nad procesami genetycznymi, ze względu na występowanie w podłożu badanego grobu osadów miocenu, który w tym rejonie ma charakter ewaporacyjny, uwzględniono także inne pierwiastki, np.: Ca, Cl, Na, S, itd. Obawiano się, że ich obecność może wynikać nie tylko z procesów dekompozycji, lecz także z naturalnej obecności węglanów, siarczanów, chlorków itd.

Półilościowe analizy chemiczne EDS wskazują, że w badanych osadach są obecne niewielkie i zmienne zawartości Fe. Pierwiastek ten występuje w tleno-wodorotlenkach żelaza (Fig. 6). Mineralom tym towarzyszą poza grobem niewielkie koncentracje P. Obecność P jest wynikiem sorpcji jego jonów na wodorotlenkach żelaza.

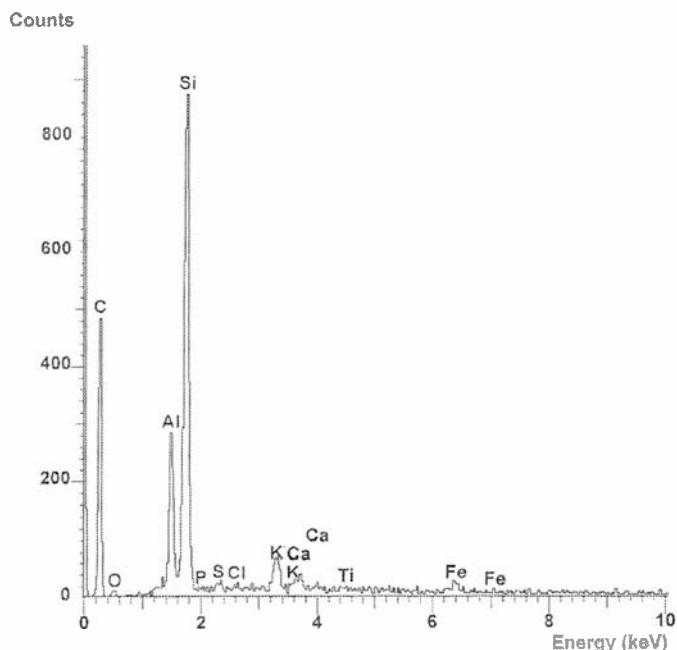


Fig. 6. Widmo EDS w punkcie 2 pokazanym na figurze 1

Fig. 6. EDS spectrum of point 2 – see Figure 1

Obserwacje mikroskopowe ujawniły także w osadach otaczających grób obecność fragmentów struktury grzybni o trudnych do identyfikacji cechach morfologicznych. W miejscach tych odnotowano również obecność związków siarki (Fig. 5).

W związku z powyższymi wynikami uszczegółowiono badania poprzez zastosowanie atomowej spektroskopii absorpcyjnej (AAS) do oceny koncentracji pierwiastków w dwu profilach: masowego grobu oraz porównawczym, reprezentującym środowisko, które nie było poddane wpływowi pochówku.

W próbkach pobranych w profilu masowego grobu występują zdecydowanie wyższe średnie zawartości większości z 20 badanych pierwiastków, w porównaniu z profilem porównawczym. Jedynie trzy pierwiastki o śladowej koncentracji wykazują w obu profilach zbliżoną zawartość: Cr – 0.13 ppm (grób); 0.13 ppm, Cd – 0.9 ppm (grób); 0.8 ppm oraz Al – 0.003 ppm (grób); 0.006 ppm. Największe różnice pomiędzy wartościami średnimi dla każdego profilu dotyczyły: Cl, K, N, P i F. Ich zawartości były oczywiście większe w profilu masowego grobu. Dla wymienionych pierwiastków różnice te są następujące: 11 ppm – Cl (15.2 ppm – grób; 4.2 ppm), 7.6 ppm – K (13.4 ppm – grób; 5.8 ppm), 17.0 ppm – N (39.3 ppm – grób; 22.3 ppm), 11.3 ppm – P (29.8 ppm – grób; 18.5 ppm), 1.4 ppm – F (1.9 ppm – grób; 0.5 ppm). Natomiast średnia zawartość Fe obliczona dla profilu grobu (45.3 ppm) jest tylko nieznacznie wyższa od średniej dla profilu porównawczego (37.9 ppm). Wynika to zapewne z morfologii środowiska. Żelazo jest wymywane z poziomu eluwalnego, szczególnie od strony południowo-wschodniej, z wyżej położonego terenu. Miejsce sondowania leży natomiast nieco niżej. W związku z tym jest ono okresowo podmokłe. Liczne rowy, tylko czasami niedrożne, ułatwiają odpływ nagromadzonej wody. Część tych jonów żelaza (Fe^{2+} , Fe^{3+} , FeOH^+), które są zawarte w wodzie, migruje z infiltrującą wodą w głąb profilu i wzbogaca lokalny osad w żelazo $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$. Ten koloidalny wodorotlenek z czasem traci wodę, zmienia strukturę, a nawet fizyczną postać. Ostatecznie powstaje wiele związków Fe, np. ferrihydryt i goethyt (Kotlarczyk & Ratajczak 2002). Największa koncentracja Fe (50.2 ppm) występuje w profilu porównawczym przy powierzchni (0.3 m). Zawartość tego pierwiastka maleje wraz z głębokością. Jest ona jednak relatywnie wysoka i nie wyklucza infiltracji wody. Znaczna część jonów Fe odpływa powierzchniowo z tego miejsca. Wskazywały na to kolory osadów transportowanych w wodzie rowami. Natomiast w profilu masowego grobu koncentracja Fe rośnie wraz z głębokością. Taka zmienność zawartości wskazuje na dominujący pionowy kierunek migracji pierwiastków w tym środowisku. Zawartość Fe (48.3 ppm) jest mniejsza ponad zwierciadłem wody, gdzie okresowo występują jego wahania, w porównaniu z maksymalną koncentracją w tym profilu na głębokości 1.8 m (54.3 ppm). Łatwo migrujące w środowisku wodnym Fe jest wymywane z górnej części profilu masowego grobu. Przemieszczając się w dół profilu, łączy się ono z innymi dostępnymi na niższych głębokościach pierwiastkami, które w znacznej części pochodzą z dekompozycji. Nie można wykluczyć częściowego pochodzenia tego pierwiastka z pocisków oraz z osobistych przedmiotów zastrzelonych tymi pociskami osób.

W profilu masowego grobu na głębokości 0.6 m koncentracja Fe (34.2 ppm) jest zbliżona do stosunkowo wysokich zawartości P (36.7 ppm) oraz N (45.2 ppm).

Te trzy pierwiastki: Fe, P, N, tworzą w grupowaniu metodą *k*-średnich, na pięć wyróżnionych grup, trzy oddzielne skupienia. W podstawowej grupie pierwiastków o wysokich zawartościach, wyróżnionej w aglomeracji (dane surowe) metodą Warda, z euklidesowymi odległościami wiązań, znalazły się tylko w przypadku masowego grobu także takie pierwiastki, jak K i Cl (Fig. 8). Są to pierwiastki, które z dużym prawdopodobieństwem mogą pochodzić z dekompozycji miejsca pochówku. Ponadto pierwiastki te wraz z Na charakteryzuje w profilu masowego grobu duże podobieństwo ich koncentracji, na co wskazują małe odległości wiązań (Fig. 7, 8). Natomiast w profilu porównawczym większość pierwiastków wykazuje relatywnie małe zawartości i w diagramie tworzy jedną dużą grupę: Cr, Cd, Al, Mn, Ni, Zn, Pb, F i I (Fig. 7).

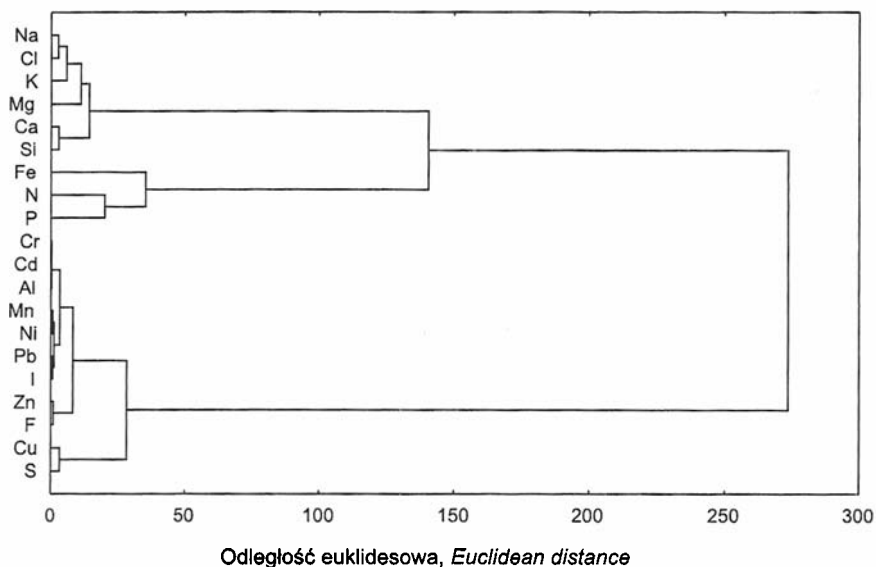


Fig. 7. Diagram aglomeracji zawartości pierwiastków w profilu porównawczym w Niepołomicach (w odległości około 300 m od grobu). Metoda Warda, odległości euklidesowe

Fig. 7. Diagram of agglomeration of the presence of elements at background sediments (300 m from the grave) in Niepołomice near Cracow. Ward's method. Euclides distances

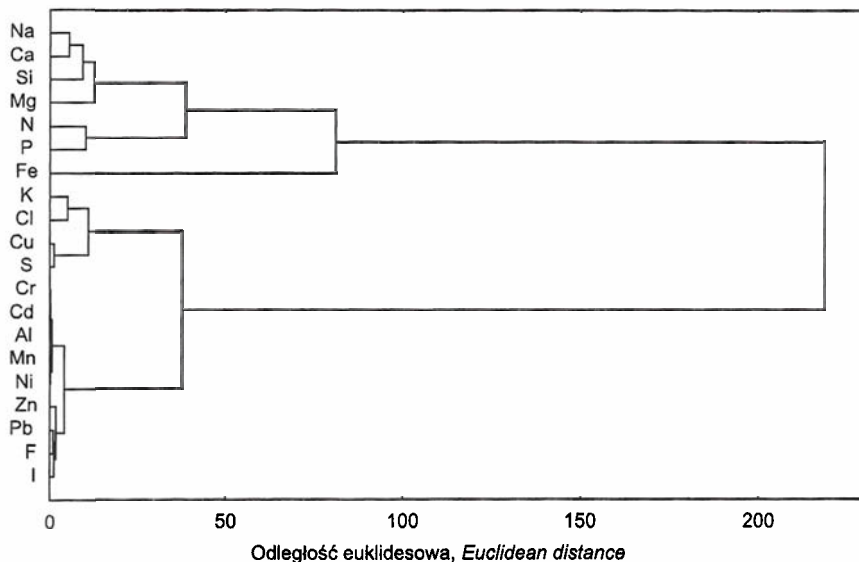


Fig. 8. Diagram aglomeracji zawartości pierwiastków w profilu masowego grobu w Niepołomicach. Metoda Warda, odległości euklidesowe

Fig. 8. Diagram of agglomeration of the presence of elements at profile of grave in Niepołomice near Cracow. Ward's method. Euclides distances

Badane profile różnią się także zmiennością zawartości pierwiastków na badanych głębokościach. Różnice te podkreślają diagramy aglomeracji (dane surowe) przeprowadzonej według przypadków, czyli zawartości pierwiastków na badanych głębokościach dla każdego profilu osobno, metodą Warda z euklidesowymi odległościami wiązań (Fig. 9, 10). W profilu masowego grobu największe podobieństwo dotyczy koncentracji pierwiastków na głębokości 1.8 m i 2.5 m. Zawartości te z kolei są bardziej podobne do tych na głębokości 1.2 m, a nie tych na głębokości 0.6 m, na co wskazują wzrastające odległości wiązań na diagramie. Miejsce pochówku znajduje się obecnie stosunkowo płytko, poniżej 0.6 m (Fig. 9). Był on przede wszystkim płytko położony, na głębokość od 1.2 m do 1.5 m. Ponadto piasek terasy osiadł ponad pochówkiem. Dalsze obniżanie terenu wynika z procesów dekompozycji, które mają tu miejsce przez ponad 60 lat. Doprowadziły one do obniżenia terenu o około 0.5–0.7 m. Uzyskane wyniki wskazuje, że proces ten jeszcze się nie zakończył. Obecne miejsce masowego grobu wyznaczają występujące w obniżeniu (0.6 m) nierówności terenu. Diagram ten (Fig. 9), zważywszy na niższe zawartości pierwiastków na niższych głębokościach oraz relatywnie wolniej malejące ich koncentracje z głębokością w tym profilu (1.8 m i 2.5 m), wskazuje na proces przemieszczania się jonów z górnej części profilu ku zwierciadłu wody (Fig. 11–14). Zawartości kilkunastu pierwiastków: P, Cl, F, Na, K, N, S, Ni, Zn, Cu, Mn i I, są zdecydowanie większe w profilu masowego grobu. Ich koncentracje różnie zmniejszają się wraz ze wzrostem głębokości w zależności od profilu (Fig. 15).

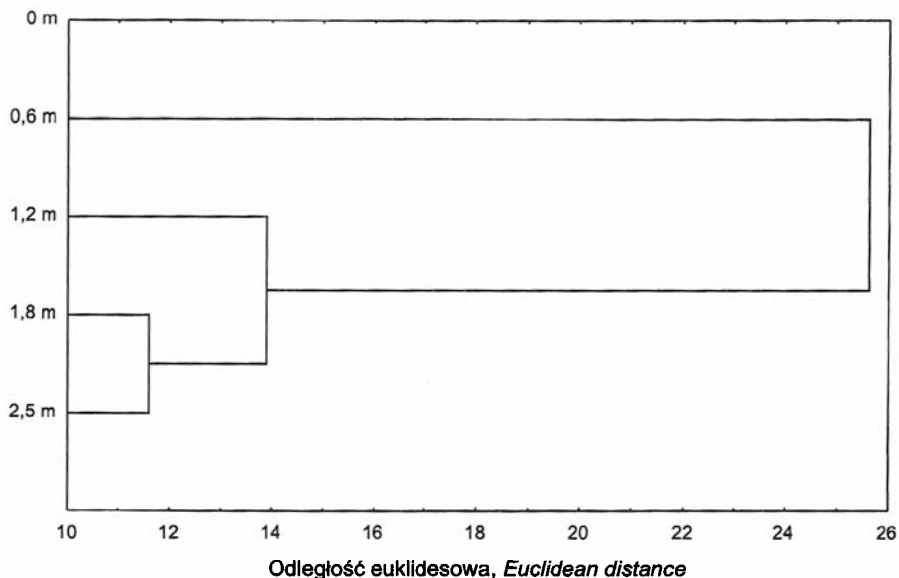


Fig. 9. Diagram aglomeracji zawartości pierwiastków na różnych głębokościach w profilu masowego grobu w Niepołomicach. Metoda Warda, odległości euklidesowe

Fig. 9. Diagram of agglomeration of the presence of elements at various depth of grave sediments in Niepołomice near Cracow. Ward's method. Euclides distances

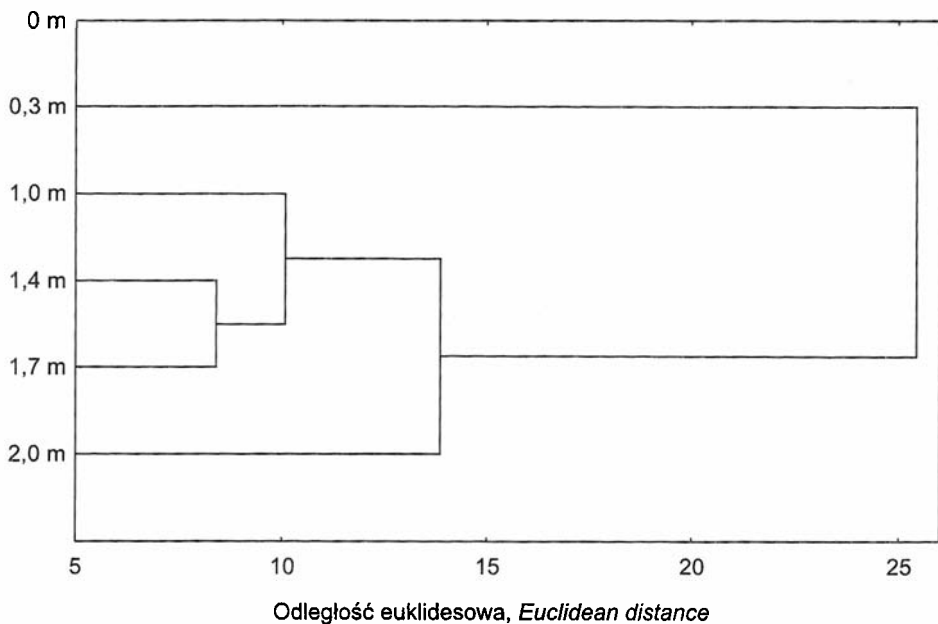


Fig. 10. Diagram aglomeracji zawartości pierwiastków na różnych głębokościach w profilu porównawczym w Niepołomicach (w odległości około 300 m od grobu). Metoda Warda, odległości euklidesowe
Fig. 10. Diagram of agglomeration of the presence of elements at various depth of background sediments (300 m from the grave) in Niepołomicze near Cracow. Ward's method. Euclides distances

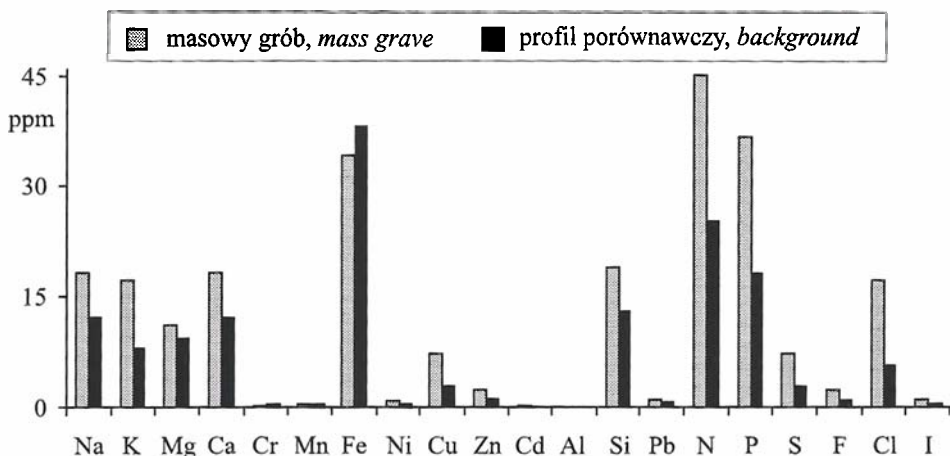


Fig. 11. Zawartość pierwiastków w profilach (na głębokości): masowego grobu (0.6 m) oraz porównawczym (1.0 m) w Niepołomicach
Fig. 11. Concentration of elements in grave sediments (depth 0.6 m) and background sediments (depth 1.0 m) in Niepołomicze near Cracow

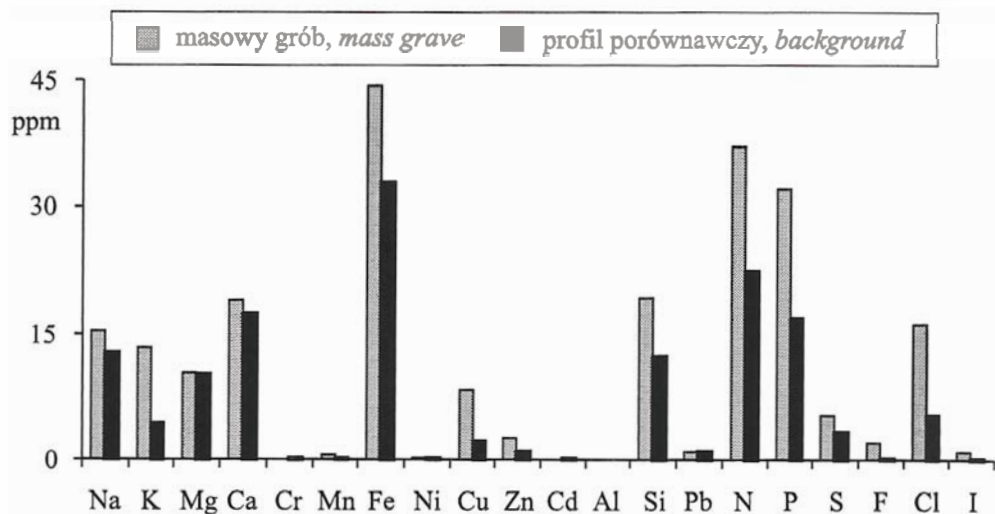


Fig. 12. Zawartość pierwiastków w profilach (na głębokości): masowego grobu (1.2 m) oraz porównawczym (1.4 m) w Niepołomicach

Fig. 12. Concentration of elements in grave sediments (depth 1.2 m) and background sediments (depth 1.4 m) in Niepołomic near Cracow

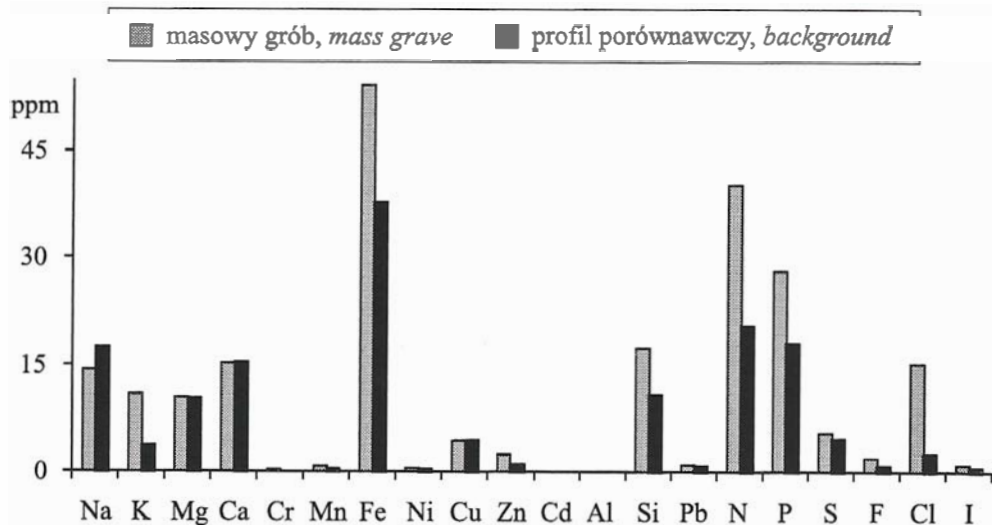


Fig. 13. Zawartość pierwiastków w profilach (na głębokości): masowego grobu (1.8 m) oraz porównawczym (1.7 m) w Niepołomicach

Fig. 13. Concentration of elements in grave sediments (depth 1.8 m) and background sediments (depth 1.7 m) in Niepołomic near Cracow

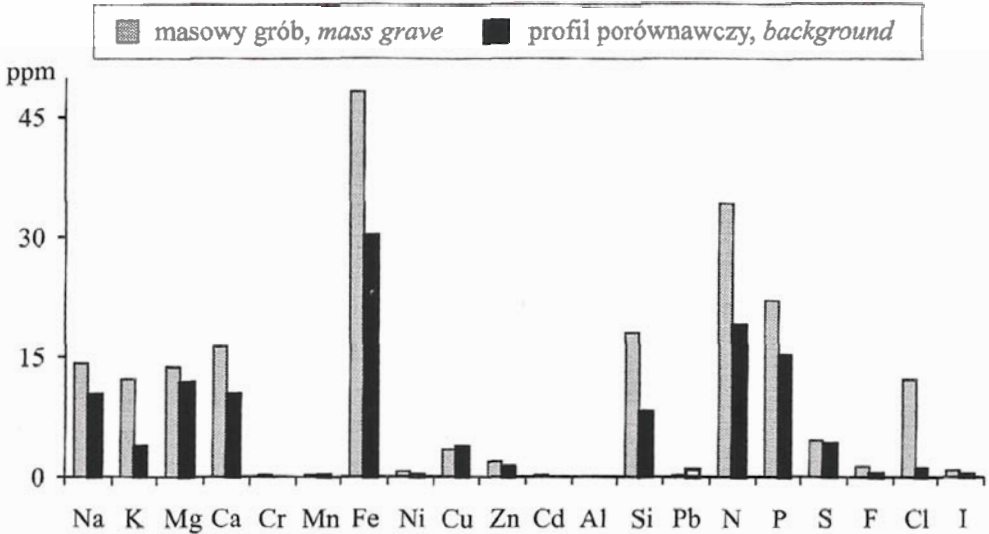


Fig. 14. Zawartość pierwiastków w profilach (na głębokości): masowego grobu (2.5 m) oraz porównawczym (2.0 m) w Niepołomicach

Fig. 14. Concentration of elements in grave sediments (depth 2.5 m) and background sediments (depth 2.0 m) in Niepołomice near Cracow

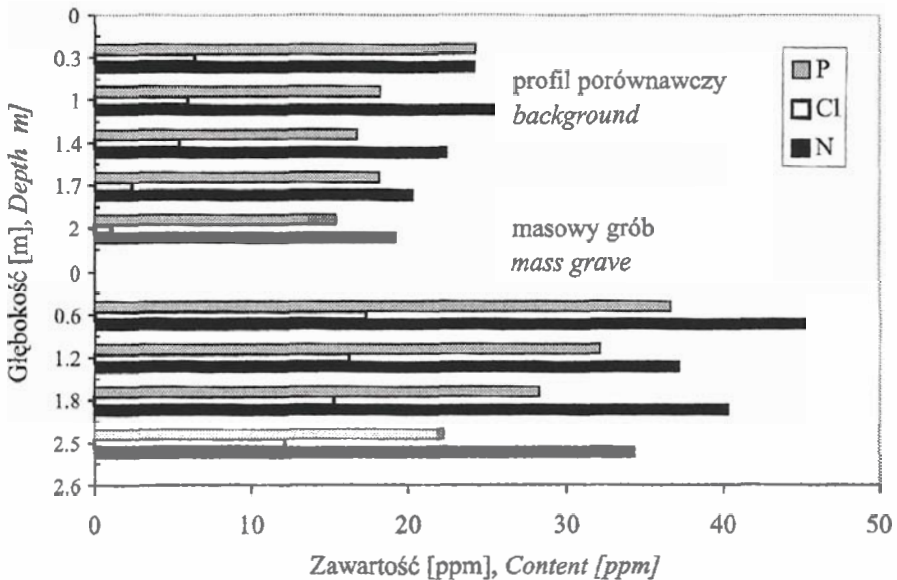


Fig. 15. Zawartości P, N i Cl w profilach masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 15. Concentration of P, N and Cl at sediments of grave and background sediments in Niepołomice near Cracow

Natomiast w profilu porównawczym największe podobieństwo koncentracji pierwiastków wykazują próby z głębokości 1.4 m i 1.7 m. Zawartości pierwiastków w tych poziomach są z kolei najbardziej zbliżone z wynikami analiz prób z głębokości 1.0 m, a dopiero w dalszej kolejności do ich koncentracji na głębokości 2.0 m. Diagram na figurze 8 sugeruje dłuższe utrzymywanie się w tym miejscu poziomu zwierciadła wody gruntowej na głębokości 1.4–1.7 m.

Największe różnice w koncentracji pierwiastków pomiędzy badanymi profilami dotyczą głębokości: 0.6 m w masowym grobie i 1.0 m w profilu porównawczym oraz głębokości 1.8 m w masowym grobie i 1.7 m w profilu porównawczym. Tylko cztery pierwiastki wykazują na głębokości 0.6 m w masowym grobie niższą lub podobną zawartość w porównaniu z ich koncentracją na głębokości 0.3 m w profilu porównawczym: Cr – 0.12 ppm (grób), 0.22 ppm; Fe – 34.2 ppm (grób), 50.2 ppm; Cd – 0.12 ppm (grób), 0.08 ppm i Al – 0 ppm (grób), 0.01 ppm (Fig. 11). Istotne są także różnice pomiędzy dolnymi i górnymi częściami badanych profili (Fig. 11, 13). Próbę częściowego wyjaśnienia tego problemu przedstawiono przy prezentacji wyników dotyczących zmienności zawartości Fe wraz z głębokością.

Charakterystyczne są także nieznacznie wyższe lub podobne zawartości kilku pierwiastków na głębokości 1.8 m w profilu masowego grobu w stosunku do głębokości 1.7 m w profilu porównawczym (Tab. 1).

Tabela (Table) 1

Zawartości wybranych pierwiastków w profilu masowego grobu na głębokości 1.8 m oraz w profilu porównawczym na głębokości 1.7 m

Concentration of selected elements in grave sediments (depth 1.8 m) and background sediments (depth 1.7 m)

Profil <i>Profile</i>	Zawartości wybranych pierwiastków <i>Concentration of selected elements [ppm]</i>						
	Na	Ca	Mg	Cr	Cu	Cd	Al
Masowy grób <i>Mass grave</i>	14.3	15.1	10.5	0.13	4.3	0.04	0.01
Porównawczy <i>Background</i>	17.2	15.1	10.2	0.08	4.3	0.06	0

Dotyczy to takich pierwiastków, jak: Na, Ca, Mg, Cr, Cu, Cd i Al. Te zbliżone zawartości pierwiastków nie świadczą jednak o podobnym obiegu pierwiastków w badanych środowiskach. Różnice w krążeniu podkreśla dopiero zmienność zawartości pierwiastków wraz z głębokością.

W profilu porównawczym liczne pierwiastki mają wyższe lub podobne koncentracje na głębokości 1.7 m w porównaniu z głębokością 1.0 m (Tab. 2).

Natomiast w profilu masowego grobu relacja zawartości wielu pierwiastków jest odwrócona na podobnych głębokościach jak w profilu porównawczym. Na głębokości 1.8 m zawartości kilkunastu pierwiastków są niższe lub podobne w porównaniu z głębokością 0.6 m (Tab. 3).

Tabela (Table) 2

Zawartości wybranych pierwiastków w profilu porównawczym na głębokości 1.7 m oraz 1.0 m

Concentration of selected elements at background sediments (depth 1.7 m and 1.0 m)

Głębokość Depth [m]	Zawartości pierwiastków w profilu porównawczym <i>Concentration of elements at background sediments [ppm]</i>								
	Na	Ca	Mg	Mn	Cu	Pb	Ni	S	I
1.0	12.3	12.2	9.5	0.2	3.0	0.8	0.2	3.0	0.23
1.7	17.2	15.1	10.2	0.2	4.3	0.8	0.3	4.6	0.45

Tabela (Table) 3

Zawartości wybranych pierwiastków w profilu masowego grobu na głębokości 1.8 m oraz 0.6 m

Concentration of selected elements in grave sediments (depth 1.8 m and 0.6 m)

Głębokość Depth [m]	Zawartości pierwiastków w profilu masowego grobu <i>Concentration of elements in grave sediments [ppm]</i>										
	Na	Ca	Mg	Cu	Pb	Ni	S	I	Cr	Cd	Al
0.6	18.2	18.2	11.1	7.2	1.05	0.87	19.0	1.01	18.2	0.12	0
1.8	14.3	15.1	10.5	4.3	1.01	0.56	17.2	0.98	15.1	0.04	0.01

Jednak zmienność zawartości niektórych pierwiastków w profilu masowego grobu odbiega od tego schematu (Fig. 16). Przykładowo zawartości Fe (54.3 ppm) i Mn (0.72 ppm) są większe w dolnej części profilu masowego grobu, na głębokości 1.8 m w porównaniu z głębokością 0.6 m: Fe – 34.2 ppm oraz Mn – 0.45 ppm. Pierwiastki te są mobilne i przemieszczają się wraz z poziomem wody gruntowej. Poziom ten zdecydowanie obniżył się w ostatnich latach. Taka relacja świadczy również o braku dostawy lub wyczerpywaniu się zasobów Fe i Mn w górnej części profilu.

Natomiast Ca jest najwięcej w profilu masowego grobu poniżej miejsca pochówku na głębokości 1.2 m (19.0 ppm) oraz w pobliżu zwierciadła wody gruntowej (16.2 ppm) na głębokości 2.5 m (Fig. 17). Taka zmienność zawartości Ca wraz z głębokością sugeruje jeszcze obecność w podłożu masowego grobu tkanki twardej (kości). Jon wapnia migruje z miejsca pochówku razem z wodą i wytrąca się w postaci różnych związków w strefie wahań zwierciadła wody. W poziomie tym jest także duża podaż innych pierwiastków. Warunkiem poznania tych nowo powstałych związków są dalsze badania. Podobna zmienność koncentracji pierwiastków wraz z głębokością w profilu masowego grobu dotyczy również: K, Mg, Ni i Cd. Zawartość K jest najwyższa na głębokości 0.6 m (17.2 ppm) i maleje z głębokością w masowym grobie. Na głębokości 1.8 m wynosi już tylko 10.9 ppm (Fig. 18). Natomiast niżej, na głębokości 2.5 m, jego koncentracja jest już nieznacznie wyższa i wynosi 12.3 ppm. Brak jedynie jednoznacznej prawidłowości w przypadku śladowych ilości Al (maksymalna zawartość 0.02 ppm) oraz małych zawartości Pb (maksymalna zawartość 1.05 ppm).

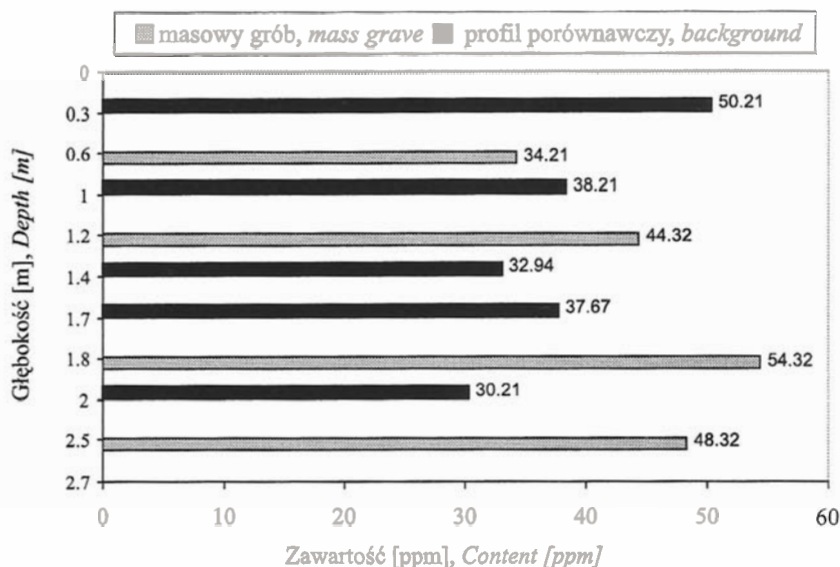


Fig. 16. Zawartość Fe na różnych głębokościach w profilach: masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 16. Concentration Fe at sediments of grave and background sediments in Niepołomiche near Cracow

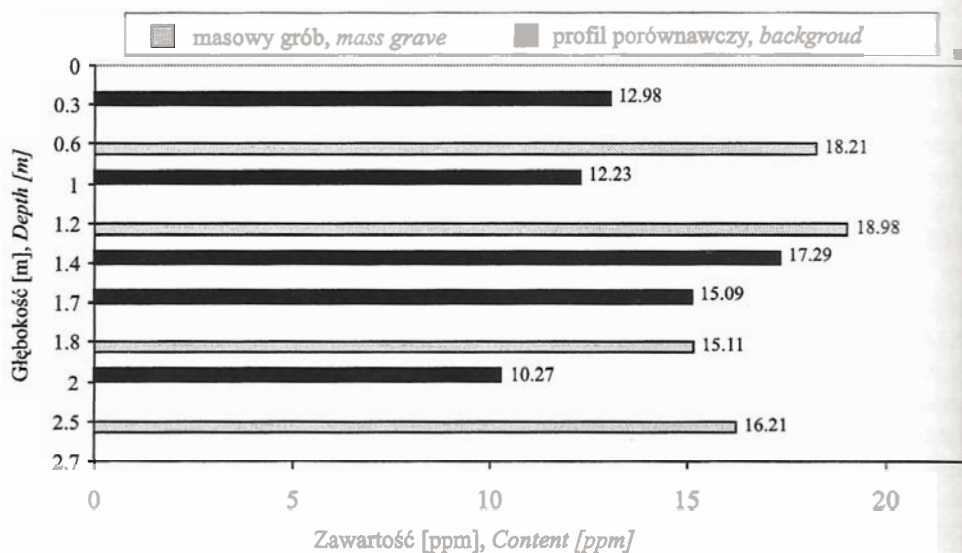


Fig. 17. Zawartość Ca na różnych głębokościach w profilach: masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 17. Concentration of Ca at sediments of grave and background sediments in Niepołomiche near Cracow

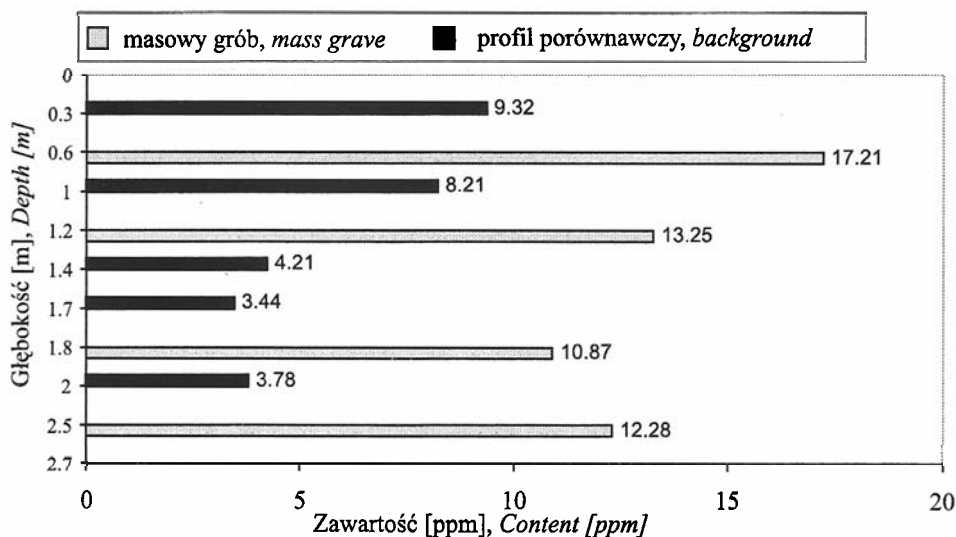


Fig. 18. Zawartość K na różnych głębokościach w profilach: masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 18. Concentration of K at sediments of grave and background sediments in Niepołomiche near Cracow

W górnej części profilu masowego grobu są wyższe zawartości pierwiastków przy wysokim rH (25). Przeważają w tym poziomie procesy utleniania. Natomiast w dolnej części tego profilu częste wahania zwierciadła wody sprzyjają procesom redukcji. Potwierdza to także niskie rH (12). Prawdopodobnie taką wykazują w profilu porównawczym np. Na i Ca (Fig. 17). Zawartość Ca (17.3 ppm) jest w tym profilu najwyższa na głębokości 1.4 m, gdzie przeważa utlenianie i szybko maleje wraz z głębokością do zawartości 10.3 ppm na głębokości 2.0 m. Na tej głębokości znajduje się w tym miejscu poziom zwierciadła wody podziemnej i dominuje proces redukcji. Natomiast szereg pierwiastków w tym profilu, np.: Cu, S, Fe, Mn, poza najwyższą zawartością na głębokości 1.7 m (np.: S – 4.6 ppm, Cu – 4.3 ppm), wykazuje także relatywnie wysoką koncentrację na głębokości 0.3 m: S – 3.4 ppm, Cu – 3.8 ppm (Fig. 19, 20). Są to jednak zawartości, na głębokości 0.3 m, o połowę niższe w porównaniu z koncentracją tych pierwiastków w profilu masowego grobu na głębokości 0.6 m: Cu – 7.22 ppm oraz S – 7.21 ppm. Pierwiastki te w miejscu porównawczym pochodzą głównie z naturalnego środowiska. W najbliższym otoczeniu tego profilu nie występują antropogeniczne źródła pierwiastków (poza bliżej nieokreślonym zanieczyszczeniem atmosfery). Ponadto w górnej części profilu porównawczego zawartości tych pierwiastków maleją w głąb profilu. Naturalne źródło ich dostawy jest więc w górnej części profilu w poziomie przypowierzchniowym terenu. Pisano o tym, gdy wyjaśniano migrację Fe.

Kilka pierwiastków w profilu porównawczym, np. Ni, Zn i I, wykazuje relatywnie duże zawartości na głębokości zwierciadła wody (2.0 m): Ni – 0.29 ppm, Zn – 1.34 ppm, I – 0.53 ppm oraz przy powierzchni na głębokości 0.3 m: Ni – 0.29 ppm, Zn – 1.21 ppm, I – 0.81 ppm. Pierwiastki te łatwo łączą się z innymi pierwiastkami i tworzą na tych poziomach nieznanne związki chemiczne.

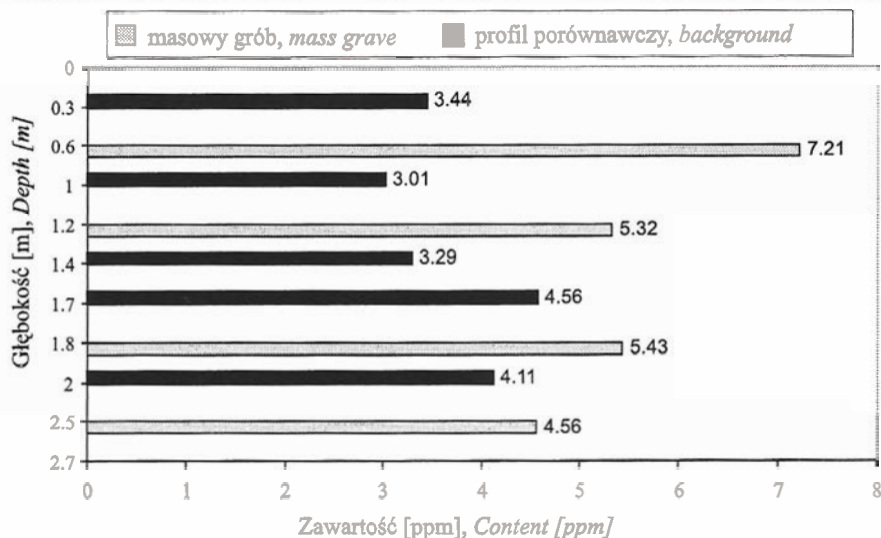


Fig. 19. Zawartość S na różnych głębokościach w profilach: masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 19. Concentration of S at sediments of grave and background sediments in Niepołomicie near Cracow

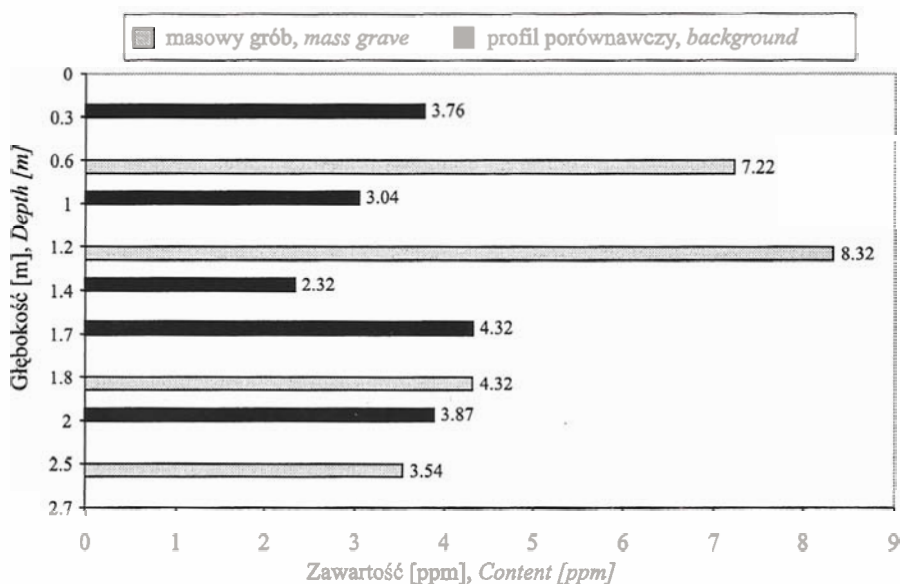


Fig. 20. Zawartość Cu na różnych głębokościach w profilach: masowego grobu oraz porównawczym w Niepołomicach

Fig. 20. Concentration of Cu at sediments of grave and background sediments in Niepołomicie near Cracow

Procesy te dokonują się w długo utrzymującej się strefie wahań poziomu zwierciadła wody podziemnej, gdzie najczęściej zmienia się także potencjał redox. Problem ten wymaga dalszych badań. Nasuwa się jednak pytanie dotyczące także masowego grobu. Jakie związki chemiczne tworzą się również w tych warunkach w otoczeniu masowego grobu?

W profilu porównawczym koncentracja tylko kilku pierwiastków zdecydowanie maleje wraz z głębokością: K, N, Cl i Si. Zawartości K, N i Cl są w tym profilu dwukrotnie mniejsze i szybko maleją w głąb profilu. Natomiast w masowym grobie pierwiastki te mają duże możliwości łączenia się z innymi pierwiastkami, których jest w tym miejscu zdecydowanie więcej. Powstaje zapewne dużo, jeszcze nieznanych, przeważnie bezpostaciowych, wtórnych związków chemicznych, w tym kompleksów organiczno-mineralnych. Jeśli tylko sprzyjają warunki, to te liczne związki długo pozostają w tym środowisku. Na obecnym etapie badań trudno wytłumaczyć relatywnie szybki spadek zawartości Si wraz z głębokością w profilu porównawczym.

Kilka pierwiastków: Cr, Cd i Al, wykazuje podobną zawartość w obu badanych profilach. Na tych samych poziomach występują jednak istotne różnice. Ich koncentracje są jednak śladowe, poniżej 1 ppm. Niewiele więcej jest także Pb i F. Wyższa ich zawartość występuje w górnej części profilu w masowym grobie i wynosi odpowiednio: Pb – 1.05 ppm (grób); 0.45 ppm (profil porównawczy), F – 2.32 ppm (grób); 0.09 ppm (profil porównawczy). Pierwiastki te wykazują dużą zmienność wraz z głębokością. Natomiast zawartości Mg rosną wraz z głębokością w profilu porównawczym od 6.5 ppm (0.3 m) do 11.8 ppm (2.0 m). Zawartość na głębokości 2.0 m jest zbliżona do koncentracji Mg w masowym grobie na głębokości 0.6 m (11.1 ppm). Zawartość tego pierwiastka w tym profilu wprawdzie maleje, by następnie wzrosnąć na głębokości 2.5 m do 13.8 ppm. Wyjaśnienie tego problemu wymaga dalszych badań.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wskazują, że osady w otoczeniu masowego grobu w Niepołomicach są zróżnicowane mineralogicznie i chemicznie. W masowym grobie, górna, przypowierzchniowa część profilu (do 60 cm głębokości) ma odczyn alkaliczny (7.3 pH) i zawiera węglany. Tworzy znajdujące się poniżej tej głębokości mają odczyn słabo kwaśny (6.3 – pH) i zawierają małe koncentracje węglanów. Natomiast w osadach tych występują poziomy orsztynowe. Zawierają one niewielkie i zmienne ilości tleno-wodorotlenków Fe.

W środowisku pochówku odbywa się migracja dekomponowanych tkanek w postaci mikrofragmentów kości, koncentracji organicznych i kompleksów organiczno-mineralnych oraz w postaci jonów powstałych z chemicznego rozpuszczania materiału organicznego. W procesach tych obok czynników chemicznych (rH i pH) istotną rolę odgrywają grzyby, których obecność stwierdzono prezentowanymi badaniami.

Dekompozycja tkanek w miejscu pochówku oraz migracja produktów dekompozycji z masowego grobu zależy od wielu czynników. Istotne znaczenie w przebiegu tych procesów ma wykształcenie osadów i ich porowatość.

Podstawową rolę w tym środowisku odgrywa także obecność związków Fe. Związki te, najczęściej bezpostaciowe, zawierają podwyższone zawartości P. Jest to związane z ich zdecydowanymi właściwościami sorpcyjnymi (Kotlarczyk & Ratajczak 2002).

Relatywnie duże zawartości pierwiastków na głębokości pochówku wskazują na występowanie jeszcze nie do końca rozłożonej materii organicznej. Tworzy ona kompleksy mineralno-organiczne, które są trudne do uruchomienia. Problem ten nie jest dotychczas zbadany. Grób ten jest więc nadal aktywnym źródłem zanieczyszczenia i wpływa na środowisko już od ponad 60 lat. Zapewne na początku tego procesu ilość związków i ich koncentracje były zdecydowanie większe. Potwierdzenie tej tezy wymaga jednak dalszych badań.

Przedstawione wyniki zmienności zawartości pierwiastków wraz z głębokością zdecydowanie wykluczają pochodzenie z dekompozycji miejsca pochówku takich pierwiastków, jak Cd, Cr i Al. Dwa pierwiastki: Fe i Mn, są przede wszystkim związane z naturalnymi warunkami środowiska. Przemawia za tym zwłaszcza najwyższa zawartość Fe w profilu porównawczym. Wątpliwości nasuwają jednak wolno malejące wraz z głębokością jego koncentracje poniżej poziomu pochówku. Natomiast w profilu porównawczym zawartość Fe maleje szybciej wraz z głębokością. Brak jest także uzasadnienia, by bezpośrednio z pochówkiem łączyć obecność w tym miejscu Pb. Pierwiastek ten wykazuje jednak wyższe zawartości w profilu masowego grobu. Wykluczyć należy także Mg, ponieważ jest go tyle w środowisku miejsca pochówku, ile na poziomie zwierciadła wody w profilu porównawczym. Ponadto w obu profilach jego koncentracja generalnie rośnie z głębokością. Najwyższa jego zawartość jest w pobliżu zwierciadła wody poniżej poziomu pochówku. Nie jest to jednak przekonujący dowód na jego pochodzenie z dekompozycji.

Z masowym grobem związane są z dużym prawdopodobieństwem także pierwiastki, jak P, Cl, F, Na, Zn, Cu i I. Wskazują na to różnice pomiędzy zawartościami tych pierwiastków w obu profilach oraz ich malejące koncentracje wraz z głębokością w profilu masowego grobu. Uzyskane wyniki badań wskazują również na związek K z miejscem pochówku. W masowym grobie jest go dwukrotnie więcej przy powierzchni i trzykrotnie więcej w pobliżu zwierciadła wody. Natomiast w profilu porównawczym zdecydowanie szybciej obniża się jego zawartość wraz z głębokością. Ponadto K w grupowaniu zawartości pierwiastków w profilu masowego grobu znalazł się w grupie z Cl i Na.

Najwyższą koncentrację Ca zanotowano poniżej miejsca pochówku i nieznacznie ulega ona zmianie wraz z głębokością. Natomiast w profilu porównawczym jego koncentracja jest najwyższa w środkowej części profilu i relatywnie szybciej maleje wraz z głębokością. Podobnie zresztą jak S i N, których w masowym grobie jest dwukrotnie więcej w poziomie pochówku. Wspomniany problem wymaga jednak dalszych badań. Na świecie, a szczególnie w Polsce, niewiele osób dostrzega potrzebę prowadzenia tego typu badań. Praca ta zwraca uwagę na złożony problem dekompozycji, który zagraża środowisku.

Otrzymane wyniki badań wskazują w sposób niebudzący wątpliwości, że cmentarze poprzez przepływające i odpływające z nich wody mogą w sposób niekorzystny wpływać na środowisko, powodując między innymi niebezpieczny wzrost substancji toksycznych oraz grzybów w wodach gruntowych. Stwarza to również poważne zagrożenie dla wód pitnych w związku z zanieczyszczeniem i skażeniem wód gruntowych. Dlatego wskazane jest wykonanie barier izolujących tereny starych i nowych cmentarzy od otaczającego je środowiska. W projektach takich barier należy uwzględnić także minerały o zmodyfikowanych właściwościach sorpcyjnych, np. smektyt czy zeolit.

LITERATURA

- Boskey A.L., 1981. Current concept of physiology and biochemistry of calcification. *Clinical Orthopedy*, 16, 1–33.
- Kotlarczyk J. & Ratajczak T., 2002. *Ochra karpacka z Czerwonek Hermanowskich koło Tyczyna*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 1–120.
- Pacheco A., Mendes J.M.B., Martins T., Hassuda S. & Kimmelmann A.A., 1991. Cemeteries: a potential risk to groundwater. *Water Science and Technology*, 24, 11, 97–104.
- Pawlikowski M., Koumouzelis M., Ginter B. & Kozłowski J.K., 2000. Emerging ceramic technology in structured Aurignacian hearths at Klisoura Cave 1 in Greece. *Archaeol. Ethnol. Anthropol. Eurasia*, 4, 19–29.
- Pawlikowski M. & Niedźwiedzki T., 2002. *Mineralogia kości*. Wyd. PAN, Oddział w Krakowie, 1–132.
- Rodrigues L. & Pacheco A., 2003. Groundwater contamination from cemeteries – cases of study. *International Symposium "Environment 2010"*, Situation and Perspectives for the European Union. Porto, Portugal, 6–10 May 2003, 1–6.
- Ucisik A.S., Rushbrook P., 1998. The impact of cemeteries on the environment and public health – an introduction briefing. WHO, Regional Office for Europe. *World Health Organization. Rept. EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A)*, 1–11.
- Weiner S., Goldberg P. & Bar-Yosef O., 1993. Bone preservation in Kebara Cave, Israel using on site Fourier transform infra-red spectroscopy. *J. of Archeol. Science*, 20, 613–627.
- Van Haaren F.W.J., 1951. Cemeteries as sources of groundwater contamination. *Water*, 35, 16, 167–172.
- Żychowski J., Kolber M. & Górski P., 1996. Poster: Stan fizykochemiczny wód podziemnych w pobliżu cmentarzy. *Ogólnopolskie Sympozjum „Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji”* (materiały konferencyjne), Kraków, 26–27.09.1996, 165–166, <http://www.zychowski.netlook.pl/>
- Żychowski J., 2000. Wpływ masowego grobu zlokalizowanego w utworach aluwialnych na jakość środowiska przyrodniczego. 49 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego „Środowisko przyrodnicze i gospodarka Dolnego Śląska u progu trzeciego tysiąclecia”, Szklarska Poręba 20–24 IX 2000 r., Wrocław 2000, 161–167, <http://www.zychowski.netlook.pl/>
- Żychowski J., Lach J. & Kolber M., 2000. Właściwości fizykochemiczne wód podziemnych nekropolii Polski południowo-wschodniej. W: Burchard J. (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, Vol. I. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 249–261, <http://www.zychowski.netlook.pl/>

Summary

Research conducted all over the world and, rarely, in Poland, point to the adverse impact of graveyards on the environment. So far the research is focused mainly on chemical and bacteriological pollution. The target of this work is to examine the organic matter de-

composition which occurs in a place of a mass grave from the second world war, situated in Niepołomice.

Mineralogical-petrographical soil research was conducted using polarization and scanning microscopy equipped with EDS electron attachment allowing to perform semi-quantitative chemical analysis. Samples were taken from two excavations. One profile was dug in the grave surroundings, 8 m away, at a depth of 2.5 m. Samples from this profile were taken without interfering in sediment structure at the depths: 0.30–0.34 m; 0.66–0.70 m; 1.22–1.26 m; 1.88–1.92 m. The second excavation was situated in the grave area. Here, one sample was taken from the burial depth level choosing the material selectively on the basis of its colour. Samples for the chemical analysis from the grave area were taken by manual drill to the depth of 2.5 m at 0.6 m; 1.2 m; 1.8 m; 2.5 m and in the comparative profile situated about 300 m away from the grave to the depth 2.0 m (0.3 m; 1.0 m; 1.4 m; 2.0 m 1.7 m). The concentrations of the following elements were determined: Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Si, Pb, N, P, S, F, Cl and I by atomic of the elements absorption spectroscopy AAS. In order to establish distribution in the mass grave, statistic methods were utilized using „The Statistica” 5.1. computer program.

The grave tested is situated in mineralogically and chemically diversified sediments. In the ferruginous hardpan lamina, below the burial level, single shreds of bones with thin, bright aureola were found as well as organic components, fragments of mycelium and hydrated iron compounds with relatively higher sulfur and phosphorus content (Figs 1–6). In the mass grave profile there are significantly higher average concentrations of most of 20 elements tested than in the compactive profile. Agglomeration diagrams concerning similarities in elements concentration confirm the difference between these two profiles (Figs 7, 8). Profiles researched also differ in the contents of elements at different depths (Figs 9, 10).

The results prove that some elements can remain after decomposition in a mass grave environment, e.g. as a result of phosphorus sorption in Fe oxide-hydroxides. At the burial depth significantly higher contents of many elements were noted: P, Cl, F, Na, Zn, Cu and I, quantity of which significantly drops with the depth when set against a comparative profile (Figs 11–15, 20). Two elements are also connected with the burial: K and Ca (Figs 17, 18). They show relatively high contents at the burial depth and close to the water table, at a depth of 2.5 m. There is also twice as much of S and N on the burial level when set against the comparative profile (Fig. 19). Their concentration in this profile is higher at a depth of 1.8 m (Tabs 1–3).

The elements listed: P, Cl, F, Na, Zn, Cu, I, K, Ca, S, N are most probably connected with the burial; this problem, however, needs to be studied further. It is possible that among remaining elements there are also others connected with the burial. It concerns, e.g., Fe which with Mn is highly movable element connected directly with underground water oscillation (Fig. 16). There is also no substantiation to ascribe the presence of Pb, Ni and Mg on site directly to the burial. The results presented definitely exclude Cd, Cr and Al as elements originating from burial decomposition.

The results unequivocally state that it is necessary to construct protection barriers also around modern graveyards in order to protect the environment, especially groundwaters, from adverse influence of decomposition processes. The barriers around such areas should include minerals with high sorption properties, e.g., smectites or zeolites.