

**Wpływ masowych grobów
z I i II wojny światowej
na środowisko przyrodnicze**

Prace Monograficzne nr 490

Józef Żychowski

**Wpływ masowych grobów
z I i II wojny światowej
na środowisko przyrodnicze**

Recenzenci

Prof. dr hab. Joanna Pociask-Karteczka

Prof. dr hab. inż. Maciej Pawlikowski

© Copyright by Józef Żychowski & Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków 2008

projekt okładki Maciej Kwiatkowski

ISSN 0239-6025

ISBN 978-83-7271-464-0

Redakcja/Dział Promocji

Wydawnictwo Naukowe AP

30-084 Kraków, ul. Podchorążych 2

tel./fax (012) 662-63-83, tel. (012) 662-67-56

e-mail: wydawnictwo@ap.krakow.pl

Zapraszamy na stronę internetową:

<http://www.wydawnictwoap.pl>

**Pamięci pochowanych w masowych grobach
z I i II wojny światowej**

„Miejsca te pozostają tak długo w naszej pamięci, jak się nimi opiekujemy”. Dalej pisze Stasiuk „Czas przybierał postać rzeczy materialnej, pierwiastków i związków chemicznych” (Stasiuk 2001)

Wstęp

Wpływem pochówków na środowisko zajmuję się od roku 1996 wraz z pomysłodawcą tych badań prof. dr. hab. Janem Lachem, kierownikiem Zakładu Ochrony i Kształtowania Środowiska Geograficznego w Instytucie Geografii Akademii Pedagogicznej w Krakowie oraz mgr. Mariuszem Kolberem, chemikiem z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Przedmiotem naszych badań przez wiele lat były wody podziemne w okolicach cmentarzy. Badania te dotyczyły koncentracji jonów, aminokwasów i związków organicznych (www.zychowski.netlook.pl). Ponadto, w związku z nielicznymi badaniami prowadzonymi na świecie, a tym samym małą wiedzą o jakości podłoża w miejscach i otoczeniu pochówków, rozpocząłem wraz z M. Kolberem badania w masowym grobie w Niepołomicach. Z czasem zagadnienia te stały się przedmiotem moim dalszych badań i objęły ponad 240 masowych grobów z I i II wojny światowej. Powodem zainteresowania się masowym grobem w Niepołomicach było ciekawe zjawisko świecących obłoków związane z tym miejscem. Ponadto miejsce to zainteresowało również geologów i pozwoliło rozszerzyć badania o produkty mineralogiczno-petrograficzne dekompozycji, które stały się przedmiotem dalszych moich badań w innych masowych grobach i na cmentarzach.

W badaniach prowadzonych na świecie więcej miejsca poświęca się występowaniu bakterii w wodach podziemnych w sąsiedztwie grobów. Problem ten będzie zapewne niebawem rozpatrywany również w Polsce. Natomiast na świecie nie prowadzono jeszcze w szerszym zakresie badań przyrodniczych dotyczących wpływu masowych pochówków na środowisko przyrodnicze. Praca ta dotyczy zatem nie poznanego jeszcze problemu naukowego o dużym znaczeniu pragmatycznym. Nie należy jednak oczekiwać, że na stronach tej książki znajdą omówienie wszystkie związane z tym problemy. W wielu miejscach wskazuje ona na nowe pola badawcze. Zapewne wiele wniosków badawczych, które zapisano na tych stronach, powinno być zweryfikowane w czasie dalszych badań. W pracy tej nie uwzględniono wszystkich elementów środowiska przyrodniczego oraz zagrożeń, na jakie środowisko to jest narażone w związku z obecnością w nim pochówków. Nie prowadzono na przykład badań dotyczących: gazów, związków organicznych, aminokwasów, jadu trupiego, bakterii itp. Nie uwzględniono również np. znaczenia mikroorganizmów w procesie dekompozycji, jakości roślin i grzybów rosnących na grobach i w ich otoczeniu.

W tytule pracy określono tylko problem badawczy. Przedmiotem badań prowadzonych w masowych grobach, zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce, były zatem: zawartości pierwiastków i wybranych związków chemicz-

nych w próbkach podłoża, pobranych ponad pochówkami, produkty dekompozycji w profilach pionowych pochówków położonych w zróżnicowanym geologicznie podłożu, koncentracje wybranych jonów w próbkach wody gruntowej pobranych na i w otoczeniu cmentarzy oraz właściwości środowiska i charakterystyki masowych grobów.

Uzyskane wyniki dotyczą, poza masowymi grobami z I i II wojny światowej, w tym położonymi również na cmentarzach, kilku cmentarzy oraz jednego miejsca nie związanego z pochówkami. Miejszem tym jest wydzielony, ogrodzony siatką obszar leśnej szkółki w Baczkowie. W tej części Puszczy Niepołomickiej istnieje także masowy grób, który jest zlokalizowany w innym miejscu w lesie, w odległości około 1,5 km. To porównanie wskazuje, w jakim stopniu masowe groby wpływają na naturalne środowisko. Porównywany teren w Baczkowie jest położony na skraju Puszczy Niepołomickiej od strony Damienic. Miejsce to charakteryzuje się niewyrównaną powierzchnią, która rozcięta jest od strony SW głębokim rowem. Jest to bowiem szereg niewysokich garbów i zagłębień, które okresowo zalewane są wodą. W tym niżej położonym miejscu, w okresie wysokiego zalegania wody gruntowej, pobrano próbkę podłoża do analizy. Pobrane osady miały kolor czarny i były bardzo wilgotne. Zawierały one dużo materii organicznej. Okresowo rozwijają się w tych obniżeniach procesy typowe dla torfowisk niskich. Miejsce to stanowi przykład obszarów, które człowiek zalicza do nieużytków. Przed poborem próbki w miejscu tym wycięto pilami mechanicznymi drzewa i krzaki, które następnie usunięto i założono szkółkę. Wokół tego niewielkiego, ogrodzonego obszaru, wznoszą się piaszczyste wydmy porośnięte sosnami. Takiego rodzaju miejsca, tylko o większej powierzchni, uznaje się za interesujące biocenozy i ustanawia użytkami ekologicznymi lub rezerwatami. W odległości około 500 m od wybranego miejsca ustanowiono w roku 1957 ścisły leśny rezerwat „Dębina”. Dodatkowa analiza wody pobranej z odwadniającego rowu wykazała relatywnie wysokie koncentracje siarczanów, azotanów, jonów miedzi itp. Jest to prawdopodobnie związane z wycinką drzew.

Porównanie to pozwala przybliżyć rozmiary zanieczyszczeń środowiska przez masowe groby. Ponadto zwraca ono uwagę na miejsca, w których pochówki nie powinny być dokonywane. Jakość środowiska tych miejsc w połączeniu z oddziaływaniem masowych grobów potęguje negatywny wpływ na otoczenie. W przeprowadzonych rankingach pochówków, miejsce porównawcze z Baczkowa zajmowało wysokie pozycje. Dlatego też niewielki pochówek z Osikówki w Puszczy Niepołomickiej, tylko położony w innej jej części, ale w podobnym środowisku, wykazuje nadspodziewanie duży wpływ na otoczenie.

W niniejszym opracowaniu za masowy pochówek uznano miejsce złożenia dużej liczby osób bez trumien, zmarłych w wyniku nagłej, tragicznej śmierci, które zostały pochowane w tym samym lub zbliżonym czasie, w jednym lub kilku grobach, położonych blisko siebie. Ze względu na częstość powtarzania się w tej pracy pojęcia „masowe groby”, które określa przedmiot badań, używano zamiennie słów: pochówki, groby.

Problem badawczy

Zagadnienie istotnego wpływu pochówków na środowisko zostało zaniedbane, a nawet zaniechane na całym świecie. Tymczasem nieliczne tego typu badania wskazują na duże zagrożenia dla środowiska i zdrowia człowieka, wynikające ze złej lokalizacji miejsc pochówków. Fisher i Croukamp (1993) twierdzą, że ponad 40% cmentarzy bardziej zagraża człowiekowi niż inne konwencjonalne odpady. Zagrożenie dla środowiska i jego otoczenia ze strony cmentarzy wynika z dwóch rodzajów oddziaływania. Pierwsze występuje tuż po pochówku i określane jest jako oddziaływanie krótkotrwałe, np.: hałas, zapach, występowanie much, zanieczyszczenie powietrza, szpetota itp. Natomiast w drugim przypadku negatywny wpływ pochówku może uzewnętrznić się po pewnym czasie i dlatego nazwano go oddziaływaniem długoterminowym, np.: zanieczyszczenie wody, podłoża, powstawanie gazów, zjawiska świetlne itp.

Badania prowadzone na świecie koncentrują się głównie nad zanieczyszczeniem wody gruntowej patogenami i związkami chemicznymi, pochodzącymi z dekompozycji ciał. Obecność bakterii w wodzie ma szkodliwe skutki dla organizmu człowieka tuż po jej spożyciu. Natomiast zanieczyszczenia chemiczne powodują negatywne skutki dla organizmu po dłuższym czasie od ich spożycia. Biegunka, wywoływana przez zanieczyszczenia wody, jest corocznie przyczyną 900 milionów przypadków choroby w roku na całym świecie. Skutkiem tego typu chorób, tylko w jednym roku, jest w przybliżeniu dwa miliony zgonów wśród dzieci (*World Development Report* 1992). Problem połowy epidemii w Stanach Zjednoczonych związany jest w części z: nieszczelnością septycznych zbiorników, kanałów ściekowych, dołów kloacalnych, obecnością zwierząt, a szczególnie z tymi miejscami, gdzie prowadzi się ich intensywną hodowlę itp. (Craun 1979).

Jednym z największych, nieznanych dotychczas problemów dotyczących jakości wody, jest zasięg występowania wirusów i bakterii wraz z oddalaniem się od pochówków. Nie wypracowano dotychczas na świecie ujednoczonych, stosowanych metod ich wykrywania. Dotychczasowe, nieliczne wyniki badań wskazują na podwyższony poziom ludzkich bakterii jelitowych w próbkach wody gruntowej pobranej na i w pobliżu cmentarzy. Szczególne miejsce w tych badaniach zajmują także zanieczyszczenia chemiczne.

Badania te wskazują na potencjalne zagrożenie dla środowiska ze strony cmentarzy. Ten negatywny wpływ dotyczy w różnym stopniu poszczególnych elementów środowiska (tab. 1). Obecnie ocenia się, że najbardziej zagrożone są wody gruntowe.

Tabela 1. Potencjalne zagrożenie dla środowiska ze strony cmentarzy (Holmes i inni 1993)

Środowisko i formy życia, na które w istotny sposób wpływają cmentarze	Procentowy udział, wpływu cmentarzy, na wyróżnione środowisko
Wody gruntowe	85,2
Jakość wody do picia	73,1
Podłoże	72,1
Wody powierzchniowe	50,4
Powietrze	26,0
Flora	10,5
Życie zwierząt	7,8
Ludzkie zdrowie	6,6

Jedynie nieliczne prace na świecie, poświęcone problemom wpływu cmentarzy na środowisko, wspominają o masowych grobach. Najczęściej w pracach tych informuje się jedynie o lokalizacji masowego grobu na cmentarzu (Trick i inni 2001). Tylko nieliczni wspominają o problemie pochówku dużej liczby ofiar katastrof (Morgan 2004). Większość prac badawczych, dotyczących tego typu pochówków, związana jest z poszukiwaniami przez archeologów miejsca ich lokalizacji. W badaniach archeologicznych najczęściej wykorzystuje się metody pozwalające na względną ocenę zróżnicowania pomiędzy zawartością pierwiastków w pochówkach a ich koncentracją w miejscach mniej lub bardziej od nich oddalonych. Większość prowadzonych na świecie badań w masowych grobach dotyczy identyfikacji osób. Są to badania wyłącznie genetyczne.

Badanie wpływu masowych grobów na środowisko realizowano przede wszystkim w związku z:

- sugestią Engelbrechta (1998, 2000), tworzenia się większych zanieczyszczeń w miejscach o większej koncentracji pochówków,
- przypadkową, niekorzystną dla środowiska lokalizacją masowych grobów,
- złą lokalizacją współczesnych cmentarzy,
- różnymi problemami, dotyczącymi postępowania z licznymi ofiarami lokalnych wojen oraz związanymi z innymi tragediami, np. z występowaniem huraganów, cyklonów, trzęsień ziemi, tsunami, powodzi itp.

Cel i zakres badań

Celem badań jest poznanie wpływu masowych grobów na najbardziej zagrożone – w świetle badań światowych – elementy środowiska geograficznego, tj. podłoże i wody gruntowe. W pracy tej, w takim stopniu, w jakim pozwalało środowisko geograficzne 249 badanych grobów, uwzględniono zróżnicowane osady podłoża. W grobach tych poznano zawartości stwierdzonych pierwiastków oraz koncentracje 9 wybranych związków chemicznych w 21 wybranych pochówkach. Badania pozwoliły ustalić typowe pierwiastki i charakterystyczne związki che-

miczne dla podłoża ponad masowymi grobami. Uzyskane wyniki badań, dotyczące masowych grobów z I i II wojny światowej, porównano z wynikami dotyczącymi współczesnych cmentarzy, na których zlokalizowane są masowe groby oraz w mniejszym stopniu z cmentarzami bez masowych grobów. Opracowane wnioski mogą również zostać wykorzystane do praktycznego zastosowania w przypadku lokalizacji cmentarzy oraz masowych pochówków związanych np. z katastrofami, pomorem itp.

Zastosowane metody statystyczne pozwalają natomiast ustalić, które właściwości środowiska w najbardziej istotny sposób decydują o dominujących, charakterystycznych pierwiastkach występujących w masowych grobach. W tego rodzaju badaniach uwzględniono 240 grobów. Zrezygnowano tylko z grobów w Oświęcimiu, w których pomierzone zawartości pierwiastków nie mieściły się w rozkładzie normalnym badanej zbiorowości. Uwzględniono czynniki, na które zwrócono uwagę w badaniach światowych dotyczących cmentarzy oraz te, które wystąpiły w badanych masowych grobach. Ponadto w pionowych profilach, w otoczeniu pochówków, poznano produkty i procesy mineralogiczno-petrograficzne występujące w zróżnicowanych podłożach 9 wybranych masowych grobów.

Celem tych badań było również poznanie zanieczyszczenia chemicznego wybranymi 11 jonami wód gruntowych pod 28 masowymi grobami lub w ich otoczeniu. Wielkości koncentracji tych jonów oceniono porównując je z dopuszczalnymi zawartościami dla wody pitnej określonymi w rozporządzeniu, tłem geochemicznym dla badanych wód oraz wykazano ich zmienność w czasie w zależności od warunków pogodowych.

Metody stosowane w archeologii w badaniach osadów

Prowadzenie badań związanych z pochówkiem wymaga wykorzystania metod i technik używanych w archeologii. Cel prowadzonych badań jest oczywiście inny, ale przedmiotem badań w obu przypadkach jest pochówek. Archeolodzy najczęściej stosują różne metody w celu jego lokalizacji. Natomiast prowadzone przeze mnie badania dotyczą miejsc, gdzie już wcześniej znano lokalizację pochówku. Archeologa najczęściej interesuje metoda względnej oceny środowiska (Linderholm, Lundberg 1994; Entwistle, Abraham 1997). Z kolei badany w tej pracy problem wymaga wykazania różnic w oddziaływaniu wybranych pochówków na środowisko, czyli dotyczy oceny ilościowej także w wymiarze bezwzględny.

Archeolodzy wykorzystują w badaniach terenowych różne metody badawcze i techniki pomiarowe (<http://www.york.ac.uk/depts/arch/gsp/field/biblio.htm>), Bullock i inni 1985; Herz, Garrison 1997; Pasquinucci, Trément 2000; Ellis 2000; Mussett, Khan 2000; Doneus i inni 2001; Neubauer 2001; Pollard, Brothwell 2001; Pollard, Brothwell 2001; Gaffney, Gater 2003; Hochrein 2004; Misiewicz 2005; Linfoord 2006).

Poszukiwanie przez archeologa optymalnego miejsca dla przeprowadzenia wykopu wymaga, jak twierdzi większość zainteresowanych, użycia kilku metod

(np. Persson 2005; Pecci i inni 2005). Jest to konieczne w związku z niedoskonałością metod i urządzeń pomiarowych oraz wynika ze złożonych warunków środowiskowych, np. warunków geologicznych i okresowej zmienności pogody (np. Person 2005). Badacze tego problemu stosują przeróżne kombinacje stosownych metod (Persson 2005; Bolender i inni 1999; Sarris i inni 2004; Scudder 2001; Barba, Ortiz 1992; Fernandez i inni 2002; Hayden, Cannon 1983; Manzanilla 1996; Smyth 1990; Cruise i inni 2001; Macphail i inni 2004; Kruell i inni 2002; Wisseman i inni 2002; Homsey, Capo 2005; Sträng 1995; Dahlin 2001; Grassi 2001; Lorra i inni 2001; Mercer, Schmidt 2001; Eidt 1973; Aitken 1974; McManamon 1984; Weymouth 1986; Bethell, Máté 1989; Bjelajac i inni 1996). Podobny problem dotyczy technik wykorzystywanych przez poszczególne grupy uczonych (Hughes i inni 1998; Wisseman i inni 2002).

Różna jest przydatność tych metod w zależności od obiektów archeologicznych. Person (2005) dokonuje nawet oceny tej przydatności (tab. 2). Uważa on, że pochówki można zlokalizować kilkoma różnymi metodami. Dobra jest również metoda fosforanowa, stosowana także w mojej pracy.

Tabela 2. Ocena użyteczności różnych metod, stosowanych w archeologii, do badań różnych obiektów: x – do przyjęcia, xx – dobra, xxx – bardzo dobra

Rozpatrywane obiekty archeologiczne	Slingram	Gradiometr	Rezystancja	GPR*	Zawartość fosforanów
Warstwy kulturowe	xx	xx	xx	xx	xxx
Groby	xx	xx	x	xx	xx
Kopce	x	xx	x	xxx	x
Struktury domu/ściany z kamienia	xx	xx	xxx	xxx	xx
Paleniska	xxx	xxx	xx	x	x

*GPR (Ground Penetrating Radar) – Georadar, czyli radar do penetracji gruntu. Jest to elektroniczna aparatura do badań geofizycznych własności gruntu pozwalająca także zlokalizować dawne cmentarzyska, paleniska, krypty itp. GPR wykorzystuje zjawisko odbicia impulsów elektromagnetycznych o bardzo wysokiej częstotliwości na granicach fizycznych różniących się wartościami stałej dielektrycznej i przewodności elektrycznej.

Źródło: Persson 2005.

Historia zastosowania analizy P do badań archeologicznych sięga połowy XIX wieku (Perci i inni 2005). Jednak metodę tę po raz pierwszy docenił F. Hughes, prowadząc badania w Egipcie w roku 1911 (Russell 1957). Laboratoryjne analizy fosforanowe zaczął po raz pierwszy systematycznie stosować Arrhenius w latach 20. i 30. XX wieku (Arrhenius 1929, 1931). Dopiero jednak pod koniec roku 1930 Walter Lorch użył testowej zmodyfikowanej metody polowej. Zastosował ją na dużej powierzchni, w celu zrekonstruowania osady. Pozwoliła mu ona dobrze, na podstawie modeli anomalii zawartości fosforanów, wyróżnić typy badanych osad (Lorch 1940). Wiele prac w literaturze światowej prezentuje historię rozwoju metody fosforanowej dla celów archeologii (Dauncey 1952; Moldenhawer 1963; Balke 1975; Proudfoot 1976; Brzeziński i inni 1983; Jankuhn 1983; Bethell i Mate 1989; Terry i inni 2000; Scudder 2000). Badania zawartości P dla stwierdzenia miejsc pochówku prowadzi się od lat 50. ubiegłego stulecia (Solecki

1951; Johnson 1956; Biek 1957; Rajewski 1959/1960). Dopiero jednak w latach 70. metodę tę zastosowano do potwierdzenia pochówku, który został całkowicie rozłożony (Hudson 1974; Barker i inni 1975; Keeley i inni 1977).

Badania etnoarcheologiczne wskazują na współzależność stężeń P i działalności człowieka, który użytkuje pastwiska, zakłada śmietniska i cmentarze itp. Dotyczy to zatem miejsc, w których zgromadzono organiczny osad (Conway 1983; Lippi 1988; Bethell, Máté 1989; Barba, Ortiz 1992; Middleton, Price 1996; Schlezinger, Howes 2000; Parnell i inni 2002). Niektórzy naukowcy potwierdzają w obliczeniach wysoką korelację pomiędzy stężeniem fosforanów w podłożu i wskaźnikiem gęstości ceramicznych artefaktów (Parnell i inni 2001).

Średni roczny dopływ P do gleby, z tytułu funkcjonowania 100 osób, wynosi średnio: 62 kg z odchodów, 1,5 kg z ciał zmarłych i 124 kg ze ścięci i odpadków (Cook, Heizer 1965). W miejscach, w których obserwuje się ten antropogeniczny wpływ, wzrasta w podłożu zawartość pierwiastków wskaźnikowych, np. średnio rocznie: P – z około 0,16% (koncentracja naturalna) do 10%; Ca – od 0,022% do 0,439% oraz N – od 0,672% do 6,72% (Cook, Heizer 1965). W związku z niewielkimi stratami zawartości P, jest on uważany za najlepszy wskaźnik archeologiczny. Ta metoda w archeologii polowej często jest także nazywana metodą fosforanową (Provan 1971; James 1999). Pozwala ona, między innymi, zrekonstruować działalność domową i rolniczą, zlokalizować pochówki, wytypować miejsce dla przeprowadzenia wykopów itp. (Dauncey 1952; Johnson 1956; Cowgill, Hutchinson 1966; Simonsen 1968; Provan 1971; Davidson 1973; Evan 1978; Barba, Bello 1978; Barba 1978, 1986; Shackley 1981; Edwards 1983; Barba, Herrera 1986; Collins, Shapiro 1987; Socha i inni 1990; Griffith 1980; Manzanilla, Barba 1990; Barba, Ortiz 1978, 1992; Sandor 1992; Sanchez i inni 1996; Scudder i inni 1996, 2001; Wells 2004; Pecci i inni 2005).

Metodę fosforanową stosuje się w różnych krajach i w różnych warunkach środowiskowych. W polskiej literaturze, w kilku pracach, dokonano przeglądu zastosowania tej metody w praktyce (Balke 1975; Brzeziński i inni 1983; Socha i inni 1990). Nieliczni stosują ją również w prowadzonych badaniach (np. Stole 1955; Marcinek, Wiślański 1959; Madyda-Legutko, Tunia 1978; Brzeziński i inni 1983; Socha i inni 1990; Mączyńska i inni 2006). Wiele prac zagranicznych omawia literaturę dotyczącą tej metody (np. Bethell, Máté 1989; Goffer 1980; Lerici, 1960; Craddock i inni 1986). Metodę fosforanową stosują badacze we wszystkich strefach klimatycznych (Lutz 1951; Dietz 1957; Gordon 1978; Grith 1981; Cavanagh i inni 1988; Lillios 1992; Costa, Kern 1999; Entwistle i inni 2000; Parnell, Terry 2002). Fosfor relatywnie szybciej przemieszcza się wraz z wodą w wilgotnym klimacie podzwrotnikowym, np. na Puerto Rico (Scudder 2001). Tempo to jest jednak znacznie wolniejsze niż w przypadku innych rozpuszczalnych związków. Metoda fosforanowa jest zatem standardową miarą działalności człowieka również w tym klimacie (Arrhenius 1929; Proudfoot 1976; Conway 1983; Lippi 1988). Duże wymagania stawia badaczom zamrażnięty grunt. Badania w tych warunkach prowadzi się przy użyciu sond spuszcanych do otworów, wcześniej wywierconych diamentowym świdrem. Pozytywne wyniki uzyskano również w różnych warunkach glebowych, co świadczy o uniwersalności metody (Balke 1975). Dobrych wyników, przy zastosowaniu metody fosforanowej, nie wyklucza również różna zasobność gleb w fosfor.

Archeolodzy uważają, że zawartość całkowitego P w podłożu odzwierciedla typ i intensywność użytkowania ziemi. Jednak znacznie więcej można powiedzieć o artefaktach, badając różne związki fosforowe (Eidt 1973). Eidt na podstawie ich rozpuszczalności wyróżnił trzy grupy tych związków: I – nieokludowane fosforany żelaza i glinu; II – okludowane fosforany żelaza i glinu; III – fosforany wapnia. Wiele badań dotyczy tych trzech podstawowych grup związków fosforowych (np. Eidt 1973, 1977, 1984a,b; Eidt, Woods 1974, Woods 1977). Ponadto Eidt wykazał prawidłowość polegającą na tym, że stosunek grupy II do I (II/I), jest współzależny od względnego wieku artefaktów. Wyniki te potwierdza wielu innych badaczy (np. Lillios 1992). Zainteresowanie frakcjonowaniem fosforanów w archeologii zmalało od śmierci Eidta w roku 1980, pomimo dowiedzionych zalet takiego postępowania (np. Bethell, Máté 1989). Frakcjonowanie mogłoby być alternatywnym sposobem badania występowania w przeszłości materii organicznej i wykorzystania ziemi w miejscach, w których nie zachowały się nasiona, pyłek albo inna organiczna pozostałość (np. Lillios 1992).

Stosowane w archeologii metody geochemiczne pozwalają znaleźć miejsca, w których wcześniej prowadzono działalność. Są one przydatne szczególnie tam, gdzie jest zły stan zachowania lub uległ rozkładowi artefakt, czyli gdy miejsce to uległo stopniowemu opuszczeniu i pozostały tylko ślady (Middleton, Price 1996; Schlezinger, Howes 2000; Parnell i inni 2002; Sarris i inni 2004).

Podczas poszukiwania zakresu badań geochemicznych zwrócono także uwagę na metody stosowane przez archeologów. Wielu z nich dopiero od lat 70. XX wieku nie ogranicza się w badaniach nad identyfikacją starożytnych kultur tylko do fosforanów, ale również analizuje inne pierwiastki występujące w badanym środowisku (Cook, Heizer 1965; Lambert i inni 1984; Craddock 1984; Bintl i inni 1990; Lewis i inni 1993; Linderholm, Lundberg 1994; Aston i inni 1998; Entwistle i inni 1998). Dla archeologa istotne jest ustalenie pierwiastków wskaźnikowych, które pozwolą określić działalność historyczną człowieka (Jenkins 1989; Homsey, Capo 2005). Najczęściej tymi wskaźnikami są: K – pozwala np. oddzielić różną działalność człowieka zapisaną w osadach; P – wskazuje na intensyfikację ludzkiej działalności; stosunki Sr/Ca i K/P – pomagają zidentyfikować antropogeniczny materiał oraz stosunek zawartości elementów rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych, umożliwiając wskazanie okresu pochodzenia rozłożonych artefaktów i oddziaływania czynników atmosferycznych (Scudder 2001). Zasięg historycznej działalności człowieka pozwala także ustalić analiza koncentracji pierwiastków ciężkich: Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb i Zn. Większość jednak prac ogranicza się do badania zawartości kilku pierwiastków. W licznych opracowaniach przyjmowano różne ich zestawienia:

- Ca, P, Mg i organiczny C (Heidenreich i inni 1973a, Heidenreich i inni 1973b),
- P, Ca i organiczną materię (Cook, Heizer 1965),
- P, K, Ca, Mg, LOI oraz pH (Entwistle i inni 2000),
- Na, K, Ca, Mg, organiczny C, całkowity P i N (Provan 1971),
- Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Sr, S i Zn (Homsey, Capo 2005),
- Ba, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb i Zn (Linderholm, Lundberg 1994; Terry i inni 2000),
- P, Mg, Ca (Konrad i inni 1983),

- Sn, Ag, Au, Cu, Pb i Zn (James 1989),
- P, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Ca, Mg, K, organiczny C, wtórne kryształy i amorficzne Fe oraz pH i CaCO_3 (James 1999).

Analizy geochemiczne pozwalają archeologom na ustalenie miejsc, w których prowadzono różną działalność, szczególnie związaną ze składowaniem, nabywaniem, używaniem i usuwaniem materiałów organicznych przez człowieka i zwierzęta. Dotyczy to także: zabitych i zdechłych zwierząt, ryb lub ich kości oraz ludzkich pochówków (Barba i inni 1987; Barba, Manzanilla 1987; Manzanilla, Barba 1990; Ortiz, Barba 1993; Manzanilla 1996; Carr 1984; Kent 1984, 1987, 1990; Kroll, Price 1991).

Archeologów interesuje również zestawienie stwierdzonych w miejscu eksploracji pierwiastków, na podstawie których mogliby określić obiekt lub przedmiot, który uległ rozkładowi. Tego rodzaju badania dotyczyły np.: pracowni rzemieślniczych, miejsc odbywania ceremonii i przechowywania pigmentów, pomalowanych tykw, stiuków na budynkach itp. (Terry i inni 2000; Parnell i inni 2002). Pozwalają one także, na podstawie stwierdzonego składu pierwiastków, ocenić materiał, który uległ rozkładowi (Trąbka 2003). Nieliczne badania dotyczą poznania mechanizmu rozkładu, np. skrobi (Haslam 2004). Haslam ustalił końcowe produkty dekompozycji skrobi oraz zwrócił uwagę na czynniki niszczące i konserwujące, np. enzymy, gliny, metale, właściwości podłoża itp.

Ponadto archeolodzy potwierdzają, że także inne pierwiastki, np. N, Ca, K oraz metale ciężkie mogą również w wielu przypadkach być dobrymi wskaźnikami ludzkiej działalności, pomimo zdecydowanie mniejszego względu na P ich wzrostu zawartości w miejscach archeologicznych. Wzrost ten wynosi odpowiednio dla P od 50 do 175 razy, a dla wymienionych pierwiastków od około 3 do 12 razy. Podwyższone koncentracje Na i K są konsekwencją spalania w paleniskach i piecach przemysłowych drewna, po którym pozostał popiół drzewny (Wells 2004). Szereg związków chemicznych, np. hematyt i cynober, związanych z obrzędami i rytuałami, pozostaje w środowisku na długie lata, np. w pochówku, w postaci tlenku żelaza i siarczku rtęciowego (Wells 2004). Wyższa zawartość P, Ca i Mg jest charakterystyczna dla rolniczej działalności człowieka (Scudder 2001). Pomimo wolnego procesu dekompozycji, P organiczny pochodzący z okresu rzymskiego w Anglii uległ mineralizacji w glebach i został z nich wyprowadzony w około 70% (Mattingly, Williams 1962). W korzystnych warunkach P może zostać wykryty po 100 do 1000 lat (Betel, Máté 1989; Crowther 1997; Heron 2001). Uwolniony w procesie dekompozycji P bardzo szybko wiązany jest w procesie retrogradacji lub wytrącany, czyli podlega zachowaniu w środowisku podłoża (Zawadzki 1999). Wpływ współczesnego rolnictwa na zawartość P w podłożu, poprzez wysiewany na pola fosforan dwuwapniowy, dotyczy tylko górnego, kilkucentymetrowego poziomu gleby. W związku z tym próbki do badań pobierano z głębokości poniżej poziomu próchnicznego, czyli z takiego miejsca w profilu pionowym, do którego nie sięgała orka.

Na podstawie składu chemicznego osadów można jednak tylko do pewnego stopnia wnioskować o archeologicznych artefaktach i ludzkiej działalności. Archeolodzy uważają, że w aspekcie statystycznym, zwanym szerszym, zależy to od podłoża geologicznego, a szczególnie od lokalnej depozycji osadu oraz od archeologicznych artefaktów. O'Connor i Evans (2005) przedstawiają nawet

tabelę, na podstawie której, znając warunki środowiskowe: odczyn podłoża, rodzaj gleb i osadów, typy litologiczne skały, można prawdopodobnie spotkać stosowne szczątki środowiskowe, np. kości, pyłki roślin, muszle, węgiel drzewny, minerały, fragmenty insektów itp. W rzeczywistości jednak lokalne warunki, a szczególnie ich zmienność w czasie, np. zmiany odczynu pH podłoża lub modelu uprawy ziemi, mogą decydować o przetrwaniu archeologicznych „śladów” (Edwards 1983).

James (1989) w środowisku pochówku stwierdza występowanie węgla, który związany jest z wieloma pierwiastkami w formie związków. Węgiel ma bowiem zdolności adsorpcyjne i sprzyja koncentracji metali. Ich ilość progresywnie wzrasta wraz z zaawansowaniem procesu dekompozycji. Archeolodzy uważają, że rozkład pochówku uruchamia wiele pierwiastków, np. Ca, P, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb i Ag oraz pozostałe mikroelementy i składniki podłoża (Vince 1999).

1. Zastosowane metody i metodyka badań

1.1. Metody badań analitycznych

Próbki podłoża do analiz pobierano szpatułką z głębokości około 20 cm, czyli poniżej warstwy próchnicowej A₀. Wcześniej kopano zagłębienie, by odsłonić profil podłoża. Następnie usuwano kontaktową warstwę. Ostatecznie próbę pobierano z nienaruszonego poziomu. W przypadku dużej miąższości poziomu próchnicowego, np. w lesie, próby pobierano z większej głębokości, odpowiadającej przyjętej zasadzie.

Pobrane próbki z profilu, o naturalnej wilgotności, przechowywano najpierw w ciemnym miejscu w lodówce, a później w ciekłym azocie. Pobrany materiał początkowo suszono w pokojowych warunkach, w temperaturze od 30 °C do 35 °C, i wstępnie rozdrabniano go ręcznie. Ostateczne rozdrobnienie wykonano przy pomocy urządzenia, doprowadzając próbkę do średnicy ziaren – 0,2 μm. Tak przygotowany materiał wysuszono w suszarce laserowej do wilgotności, którą akceptuje urządzenie (AAS). Zawartość pierwiastków w podłożu pomierzono metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej (Aanalyst 300; Perkin Elmer 2001 z kuwetą grafitową). Stałe próbki posiadały wagę minimum około 20 mg.

Ilościową analizę wybranych związków chemicznych, stwierdzonych w podłożu pochówków, przeprowadzono za pomocą absorpcyjnej spektroskopii atomowej (AAS) na urządzeniu typu Varian 2001, wyposażonym w Cesar Unicam total system ISO 9002. Ponadto do oznaczenia kilku związków chemicznych i jonów, np. chromianów, azotanów, fosforanów itp., użyto chromatografu gazowo-cieczowego typu Varian 3009 AA 280 FS.

Analizę gazów, pobranych w jednym masowym grobie w Niepołomicach, wykonano na chromatografie gazowym typu Varian 3900 z autosamplerem oraz detektorem FID i ECD. Urządzenie to było wyposażone w oprogramowanie Varian Star. Pięć próbek pobranych z pochówków przebadano metodą węgla ¹⁴C w celu potwierdzenia okresu badanego pochówku.

Do oznaczania kwasowości potencjalnej, wyrażonej w pH, użyto metody potencjometrycznej. Zastosowano elektrodę kombinowaną, składającą się z elektrody czynnej (szklanej), mierzącej zmienny potencjał, zależny od stężenia jonów wodorowych i elektrody porównawczej (chlorosrebrowej), o stałym potencjale. Pomiar wzorcowego pH wykonano w roztworze 1n KCl. Pomiar pH w próbkach obejmował niezdysonowane jony wodorowe, związane z kompleksem sorpcyjnym gleby.

W przeprowadzonych badaniach mierzono także potencjał oksydacyjno-redukcyjny Eh, związany z akceptorami elektronów w gruncie. Mierzono zatem potencjał elektryczny, występujący w określonym układzie utleniająco-redukcyjnym, pomiędzy elektrodą platynową a kalomelową. Część pomiarów tego potencjału wykonano za pomocą elektrody kombinowanej rH. Potencjał oksydacyjno-redukcyjny wyrażano za pomocą rH Clarka, według równania Ernsta: $rH = (Eh / 30) + (2 \times pH)$.

W profilach pionowych dziewięciu masowych grobów przeprowadzono także badania mineralogiczno-petrograficzne. Wykonywano je za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego (uniwersalny Olympus BX-51). Próbkę pobierano z różnych głębokości w profilu pionowym masowego grobu lub jego otoczenia: z osadów ponad pochówkiem, z poziomu pochówku oraz – jeśli było to możliwe – spod pochówku. Miejsca te wybierano sugerując się wykształceniem osadów. Następnie materiał suszono i zatapiano w epoksydowej żywicy. Tak przygotowaną próbkę cięto za pomocą piły diamentowej, szlifowano i polerowano. Obserwacje prowadzono przy pomocy mikroskopu Polmi A, z przystawką do mikrofotografii, w powiększeniu około 120 razy. Przy pomocy tego mikroskopu obserwowano również proszkowe preparaty, z zastosowaniem oświetlenia bocznego, wykorzystując powiększenia do 60 razy. Ponadto wykorzystano cyfrową kamerę fotograficzną Olympus DP-12 sterowaną komputerowo poprzez program Analysis, wyposażoną w sensor CCD o rozdzielczości 3,34 MP, pozwalającą na współpracę z większością mikroskopów. Za jej pomocą obserwowano strefy mineralizacji osadów przy 30-krotnym powiększeniu. Analizy prowadzono również na próbkach napylnych węglem, za pomocą mikroskopu skaningowego (mikroskop skaningowy JEOL 5200) połączony z półilościowymi analizami chemicznymi, wykonywanymi przy pomocy przystawki elektronowej EDS. Koncentrowano się głównie na pierwiastkach, które zawiera ludzkie ciało: Ca, P, K, Na, S, Fe, Cl, Mg, Al, Zn.

Próbki z sześciu grobów pobrano z zachowaniem struktury materiału. Dotyczyło to zarówno osadów z pionowych profilów masowego grobu, jak i jego otoczenia. W celu pobrania próbki wykonywano wkop o głębokości około 2 metrów. Następnie wkopywano się w ścianę tego wkopu i wbijano delikatnie pojemnik plastikowy po filmach o wysokości 4 cm w strop powstałego zagłębienia. W ten sposób pobrano próby w:

- Niepołomicach, z głębokości: 0,3–0,34 m; 0,66–0,70 m; 1,22–1,26 m oraz 1,88–1,92 m, w odległości 8 m na zachód od grobu z II wojny światowej,
- Bochni, z głębokości: 0,40–0,44 m; 0,62–0,66 m; 1,38–1,42 m; 1,6–1,64 m, poniżej grobu z I wojny położonego na stoku, w linii współczesnych grobowców,
- Dukli, z głębokości: 0,56–0,60 m; 0,74–0,78 m; 1,64–1,68 m, w odległości 4 m poniżej masowego grobu z II wojny światowej położonego na łagodnym stoku,
- Barwinku, z głębokości: 0,26–0,30 m; 0,86–0,90 m; 1,30–1,34 m, w odległości 2 m poniżej masowego grobu z II wojny światowej położonego na łagodnie nachylnym stoku,
- Nowym Sączu, z głębokości: 0,36–0,40 m; 0,86–0,90 m; 1,26–1,30 m, na terenie żydowskiego cmentarza, przy zabudowaniach, w sąsiedztwie masowego grobu z okresu II wojny światowej.

Z kilku masowych pochówków pobrano również próbki, wybierając selektywnie materiał z różnych głębokości profilu pionowego, sugerując się innym jego zabarwieniem w porównaniu z dominującą barwą miejscowych osadów. W ten sposób pobrano dodatkowo materiał w: Niepołomicach – z masowego grobu z II wojny, Błoniach – w sąsiedztwie najniższej położonego rzędu grobów z I wojny, Zbylitowskiej Górze – w dnie okresowo odwadnianej doliny, w sąsiedztwie najniższej położonej kwatery grobu z II wojny, Dukli – morfologicznie 4 m poniżej masowego grobu z II wojny światowej oraz Barwinku – w odległości 2 m od masowego grobu z II wojny światowej.

Ponadto próbki pobierano w zależności od zróżnicowania wykształcenia osadów, na różnych głębokościach, przy pomocy świdra ręcznego z zamontowanym próbnikiem. W ten sposób pobrano próby z różnych głębokości w: Niepołomicach – 0,5 m; 1,1 m i 1,3 m, Rajbrocie – 0,6 m; 1,6 m; 2,2 m, Zbylitowskiej Górze – 0,5 m; 1,2 m, Błoniach – 0,6 m; 1,0 m; 1,6 m oraz Brzesku – 0,5 m; 1,4 m; 1,9 m.

Do poszukiwania podobieństwa składów jakościowych badanych próbek, ze względu na występowanie 10 podstawowych pierwiastków, zastosowano grupowanie według przypadków (grobów) metodą Warda wykorzystując w obliczeniach euklidesowe odległości wiązań. Do tego celu wykorzystano program statystyczny „Statistica 5,1” (SP8068317302G51).

Zawartości wybranych jonów w próbkach wody, o objętości około 50 ml, pobranych z i w otoczeniu 28 grobów, zmierzono przy pomocy chromatografu cieczowego Varian HPLC, o następujących parametrach: kolumna do chromatografii cieczowej – 30 x 4,6 mm L x ID, przepływ – 2 ml/min, temperatura – 60 °C, ciśnienie – 30 MPa (300 bar, 4300 psi), detektor – UV exc = 220 nm, dozowana objętość – 1 µl. W wodzie badano zawartości kilkunastu jonów: azotanowych (NO_3^-), amonowych (NH_4^+), siarczanowych (SO_4^{2-}), fosforanowych (PO_4^{3-}), fluorkowych (F^-), chlorkowych (Cl^-), żelaza (Fe^{3+}), manganu (Mn^{2+}), cynku (Zn^{2+}), miedzi (Cu^{2+}) oraz glinu (Al^{3+}).

1.2. Metodyka oceny względnej zawartości pierwiastków w badanych 245 grobach

W celu określenia, jakie pierwiastki dominują w otoczeniu masowych grobów z I i II wojny światowej, obliczono korelację pomiędzy zawartością P a koncentracją pozostałych pierwiastków dla wszystkich badanych 245 pochówków. Ponadto taką zależność ustalono także dla różnic, które obliczono pomiędzy zawartościami badanych pierwiastków w 86 pochówkach a ich koncentracją w miejscach porównawczych. Uznano bowiem, że jeśli potwierdzi się wysoka korelacja koncentracji badanego pierwiastka z zawartością P, to uzasadnione jest stwierdzenie, że pierwiastek ten pochodzi z dekompozycji pochówku. Ponadto pierwiastki z nim związane powinny wykazywać podobną zmienność w koncentracji. Nie można jednak wykluczyć ich migracji poza pochówek, na co wskazują badania zanieczyszczenia wody podziemnej.

Następnie, na podstawie przeprowadzonego rankingu, oceniono zawartości pierwiastków w 245 grobach. Ranking ten ustalono według malejącej sumy względnej zawartości ośmiu, a następnie jedenastu badanych pierwiastków. Podobny ranking opracowano dla badanych różnic pomiędzy zawartościami pierwiastków w 86 pochówkach a ich koncentracją w miejscach porównawczych. **Względną zawartość** w podłożu każdego z pierwiastków obliczono dzieląc ich zawartość w każdym grobie przez maksymalne koncentracje, odpowiednie dla tych pierwiastków. Następnie **sumowano uzyskane ilorazy** dla ośmiu, a następnie jedenastu wyselekcjonowanych pierwiastków. Pozycja grobu w tych rankingach jest zależna od obliczonej sumy wskaźników dotyczących uwzględnionych pierwiastków. W opracowaniu zestawiono tylko pochówki o najwyższych sumach obliczonych wskaźników.

Porównano także zawartości maksymalne badanych pierwiastków w podłożu 245 grobów z wartościami minimalnymi, średnimi i najczęstszymi oraz koncentracje pierwiastków w grobach zajmujących pozycje 1, 10, 50 i 100 w przeprowadzonych rankingach. Ponadto obliczono wskaźniki zmienności zawartości badanych pierwiastków. Podobnie postąpiono z różnicami w zawartościach, obliczonych pomiędzy koncentracją pierwiastków w 86 pochówkach a ich koncentracją w miejscach porównawczych.

Określono również typy zmienności badanych różnic w zawartościach, które obliczono pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych. Typy te ustalono na podstawie zmienności tych różnic, które dotyczyły grobów z pozycji 1, 10 i 50 malejących rankingów dla poszczególnych pierwiastków.

W celu wykazania, jakie grupy pierwiastków i które pierwiastki decydują o wpływie pochówków na środowisko, połączono badane pierwiastki w grupy. Pod uwagę brano zarówno liczbę pierwiastków, jak i ich parametry statystyczne oraz merytoryczną logikę grupowania. W jedną liczną grupę połączono pierwiastki ciężkie: Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Pb, Fe i Ni. Kolejną grupę pierwiastków, składającą się z: N, P i K, nazwano „eutroficzna”. Grupę „utleniaczy” tworzą dwa pierwiastki F i J, ze względu na ich właściwości utleniające i bardzo małe zawartości. Z kolei trzy pierwiastki: Mg, Ca i Si, charakterystyczne dla składów chemicznych skał, połączono w grupę „środowiskową”. Natomiast pierwiastki: Na, Cl, S i Mn tworzą ostatnią grupę, nazwaną „pierwiastkami złożowymi”. W poszczególnych wyróżnionych grupach pierwiastków sumowano ich zawartości dla każdego grobu. Na tej podstawie przeprowadzono rankingi grobów dla każdej grupy pierwiastków. Ostateczne zestawienia dla populacji 245 i próby 86 grobów – dla której badano różnice, utworzono na podstawie średniej arytmetycznej wszystkich pozycji grobu, które zajmował w każdym z rankingów, utworzonych dla wyróżnionych grup.

Uznano, że wcześniejsze rankingi okazały się mało precyzyjne i zastosowano nowe grupowania pierwiastków oraz przyjęto inną metodykę obliczania analizowanych wskaźników. Rozszerzono grupę „środowiskową” oraz wydzielono „pierwiastki śladowe” ograniczając grupę „pierwiastków ciężkich”. Inaczej zestawiono kolejną grupę, którą nazwano „ograniczającą”. Ostatecznie pogrupowano badane pierwiastki w logiczne grupy: N, P i K – „eutroficzna”; Na, Cl i Ca – „ograniczająca”; S, Fe, Mg, Si i Mn – „środowiskowa”; Cu, Zn, Al, Pb

i Ni – „pierwiastków ciężkich”; F i I – „utleniaczy”; Cr i Cd – „pierwiastków śladowych”. W wyróżnionych grupach pierwiastków dla każdego grobu z populacji 245 pochówków obliczono **wskaźniki względnej zawartości**. Podobny wskaźnik, nazwany **wskaźnikiem różnic względnej zawartości**, zastosowano dla badanych różnic, które obliczono dla próby 86 grobów. W tym celu sumy zawartości pierwiastków w wyróżnionych grupach lub sumy badanych różnic zawartości pierwiastków w grupach, dotyczące każdego z populacji 245 i próby 86 grobów, dzielono przez maksymalne sumaryczne zawartości tych pierwiastków w grupach lub przez maksymalne sumaryczne różnice w koncentracji, które obliczono dla pierwszego grobu w każdym z rankingów. Na podstawie tak obliczonych wskaźników względnej zawartości przeprowadzono grupowania grobów w każdej grupie pierwiastków. Ponadto, dla wybranych liczebności pochówków z populacji 245 i próby 86 grobów, np. 64 i 25 grobów zajmujących najwyższe pozycje w rankingu dla sum wskaźników względnej zawartości pierwiastków oraz 20 grobów z drugiej dziesiątki tego rankingu, obliczono współczynniki korelacji pomiędzy wskaźnikami dotyczącymi poszczególnych grup pierwiastków.

Ponadto przeprowadzono ranking i grupowanie grobów na podstawie sumy wszystkich wskaźników względnej zawartości badanych grup pierwiastków, dla każdego z populacji 245 i próby 86 grobów.

1.3. Metodyka charakterystyki środowiska fizyczno-geograficznego 240 badanych grobów

Próby do analiz osadów podłoża pobierano latem w czasie długich okresów bezopadowych w latach 2002–2005. Unikano natomiast pobierania prób w okresach zróżnicowanych wilgotnościowo.

Do badań zostały wybrane groby różnie zagospodarowane, o różnym pokryciu roślinami, w różnym stopniu zarośnięte różnymi gatunkami drzew, otoczone grobami innych cmentarzy, zabudową miejską, lasem lub łąką. W charakterystyce miejsc pochówku uwzględniono także takie parametry właściwości masowych grobów, jak: okres pochówku, liczbę pochowanych osób, powierzchnię cmentarzy, powód śmierci, rodzaj pochówku oraz stopień zagospodarowania cmentarza. Określono również lokalizację, na powierzchni grobu, miejsc pobierania próbek oraz uwzględniono odległość od górnej krawędzi wyznaczonych miejsc pochówków. W badaniach tych nie pominięto także stopnia zanieczyszczenia środowiska.

W rezultacie przyjęta struktura oceny środowisk masowych grobów i samych pochówków uwzględnia kilka grup właściwości. Badane właściwości dotyczą: 6 – pochówków, 7 – rzeźby, 5 – roślinności i użytkowania, 3 – podłoża, 2 – wilgotności miejsca, 2 – lokalizacji poboru prób oraz 1 – zanieczyszczenia środowiska.

Środowisko fizyczno-geograficzne każdego z 240 masowych grobów oceniono na podstawie 5 cech 26 właściwości ich środowisk i grobów (tab. 3). Cechę każdej z 26 wyróżnionych właściwości określono poprzez wybór jednej właściwej z pięciu możliwych. Kwantyfikowane wartości cech dla każdej właściwości wyznaczono na bazie 5-stopniowej skali.

Tabela 3. Uwzględnione cechy 26 wyróżnionych właściwości masowych grobów i ich środowisk przyrodniczych

1. okres pochówku	2. liczba pochowanych	3. powierzchnia grobu w m ²	4. powód śmierci	5. rodzaj pochówku
1 – I wojna, (80 lat)	1 – do 100	1 – do 100	1 – od ran i chorób	1 – masowy
2 – I wojna, grób na cmentarzu	2 – 101–500	2 – 101–500	2 – od bagnetu, kuli	2 – masowy i pojedynczy
3 – II wojna (55 lat)	3 – 501–1000	3 – 501–1000	3 – od kuli na froncie	3 – pojedynczy i masowy
4 – żydowski do 1939 r.	4 – 1001–10 000	4 – 1001–3000	4 – od kuli, rozstrzelania	4 – pojedynczy
5 – parafialny	5 – powyżej 10 001	5 – powyżej 3000	5 – od kuli, palenie zwłok	5 – prochy
6. zagospodarowanie grobu	7. nachylenie powierzchni grobu	8. nachylenie terenu położonego niżej	9. nachylenie terenu położonego wyżej	10. typ rzeźby
1 – duże	1 – poziomo	1 – poziomo	1 – poziomo	1 – Beskidy
2 – lokalnie duże	2 – do 5 stopni	2 – do 5 stopni	2 – do 5 stopni	2 – kotliny śródgórskie
3 – średnie	3 – 5–10 stopni	3 – 5–15 stopni	3 – 5–10 stopni	3 – pogórza
4 – małe	4 – 10–15 stopni	4 – próg	4 – 10–15 stopni	4 – progi
5 – żadne	5 – powyżej 15 stopni	5 – wyższy próg	5 – próg, powyżej 15 stopni	5 – kotliny przedgórskie
11. forma terenu	12. ekspozycja grobu	13. wyrównanie powierzchni	14. miejsce poboru próby z grobu	15. odległość od górnej krawędzi
1 – wierzchowina	1 – N	1 – wyrównana	1 – górna część	1 – poniżej 5 m
2 – stok górny	2 – S	2 – lokalnie falista	2 – centralna część	2 – od 5 m do 10 m
3 – stok dolny	3 – E	3 – falista	3 – dolna część	3 – od 10 m do 20 m
4 – dno doliny, kotliny	4 – W	4 – rozcięta	4 – skrajna część	4 – od 20 m do 40 m
5 – lokalne spłaszczenie	5 – poziomo	5 – sterasowany stok	5 – z boku	5 – powyżej 40 m

16. jednostka geologiczna	17. utwory podłoża	18. skład gleby	19. wilgotność podłoża w czasie i przestrzeni	20. wilgotność miejsca poboru próby	
1 – śląska, skolska	1 – piaskowce i łupki	1 – glina ciężka	1 – całkowicie suche	1 – suche	
2 – dukielska	2 – piaski	2 – glina średnia	2 – przewaga okresowo suchego	2 – średnio suche	
3 – magurska	3 – iły	3 – glina lekka	3 – przewaga okresowo wilgotnego	3 – lekko wilgotne	
4 – miocen	4 – aluwia	4 – glina pylasta	4 – zróżnicowana wilgotność	4 – wyraźnie wilgotne	
5 – wapienie jurajskie (strefa kruhelska itp.)	5 – wapienie	5 – piasek	5 – teren podmokły	5 – podmokłe	
21. pokrycie gleby roślinami zielnymi	22. przeważający rodzaj pokrycia powierzchni grobu	23. przeważające gatunki drzew	24. stopień pokrycia grobu drzewami	25. użytkowanie otoczenia grobu	
1 – całkowite	1 – las, runo	1 – brak	1 – całkowite	1 – las	
2 – przeważające	2 – las, podszycie	2 – dąb, grab, buk	2 – przeważają	2 – las parkowy	
3 – rzadkie	3 – trawa	3 – klon, akacja, jesion	3 – lokalnie duże	3 – pola, łąki	
4 – sporadyczne	4 – beton	4 – lipa, topola, brzoza	4 – małe pokrycie	4 – zabudowa miejska	
5 – brak	5 – krzewy	5 – sosna, świerk, tuja	5 – brak pokrycia	5 – zabudowa cmentarza	
26. zanieczyszczenie środowiska	1 – duże	2 – średnie	3 – małe	4 – śladowe	5 – naturalne

Typy środowisk badanych masowych grobów wyróżniono metodą statystyczną przy pomocy programu Statistika 5.1. Początkowym problemem okazała się sensowna, merytorycznie uzasadniona, liczba typów masowych grobów o podobnych cechach pochówków i ich środowisk. W celu ich ustalenia przeprowadzono szereg prób grupowań względem przypadków (grobów), możliwymi metodami uwzględnionymi w programie Statistika 5.1. Ostatecznie do dalszych badań przyjęto metodę Warda. Natomiast do oszacowania odległości między skupieniami wykorzystano w tej metodzie podejście analizy wariancji (Ward 1963). Wybór odległości pomiędzy skupieniami został oparty na minimalizacji sumy kwadratów dowolnych dwóch skupień. Według uzyskanych w grupowaniu odległości wiązań możliwe było przyjęcie kilku wariantów: 4, 7 lub kilkanaście typów grobów. Przeprowadzone grupowanie wymagało jeszcze decyzji co do miary odległości wiązań. Do dalszych rozważań wybrano odległość euklidesową, która dawała podobne wyniki, jak odległość miejska (Manhattan). Ta ostatnia tłumi jednak pojedyncze duże różnice między obiektami. Natomiast kwadrat odległości euklidesowej pozwala przypisać większą wagę obiektom bardziej oddalonym. Liczbę grup ustalono także posiłkując się analizą czynnikową. Zastosowano metodę wyodrębnienia składowych głównych z 1933 r. (Grabiński 1991). Uzyskana tą metodą liczba głównych składników równa się co prawda liczbie zmiennych pierwotnych, ale tylko kilka z nich posiada wysokie wartości. Te nowe zmienne powstają w wyniku transformacji zmiennych pierwotnych – objaśniających. Analiza głównych składowych nie obejmuje czynników swoistych, co ma miejsce w analizie czynnikowej. W związku z tym wykres osypiska, czyli rozmieszczenie składowych głównych, pozwoliło na uzasadnienie wyboru liczby grup (typów grobów) uzyskanych w metodzie Warda.

Takie postępowanie pozwoliło przyjąć 7 grup masowych grobów o podobnych cechach. W celu konkretnego ustalenia, które groby zostaną zaliczone do tych siedmiu grup, zastosowano metodę grupowania k-średnich. Metoda ta wymaga wyznaczenia w każdej z grup takich grobów, których cechy są najbardziej dlań charakterystyczne. W opracowaniu tym wyróżniono w ten sposób siedem grobów, które wybrano z grup wyróżnionych metodą Warda. Były to groby z centrum każdej grupy drzewka hierarchicznego. Metoda k-średnich w pewnym sensie jest odwrotnością analizy wariancji. Badacz określa liczbę skupień i wskazuje na obiekt o charakterystycznych cechach dla każdego skupienia. Program, grupowanie metodą k-średnich, tak przenosi obiekty między skupieniami, by minimalizować zmienność wewnątrz skupień, a maksymalizować zmienność między skupieniami.

1.4. Metodyka badań dotycząca oceny wpływu masowych grobów na środowisko

Przedmiotem badań była zawartość 20 pierwiastków stwierdzonych w podłożu w 240 masowych grobach oraz w próbie 86 badanych pochówków, dla której porównano zawartość pierwiastków w podłożu z tłem geochemicznym.

Ponadto uwzględniono także 26 właściwości środowiska badanych grobów (tab. 3). W badaniach tych w pierwszej kolejności wyznaczono, za pomocą grupowań według zmiennych oraz wskaźników zmienności, najbardziej charakterystyczne właściwości środowiska geograficznego oraz pierwiastki zawarte w masowych grobach. Następnie grupowano według przypadków – grobów. W grupowaniach tych uwzględniono wcześniej wyselekcjonowane właściwości środowiska oraz charakterystyczne pierwiastki zawarte w masowych grobach. Ostatecznie, w celu oceny zależności pomiędzy wyselekcjonowanymi właściwościami środowiska (zmiennie jakościowe) a zawartościami charakterystycznych pierwiastków (zmiennie ilościowe) porównano wyniki uzyskanych rozkładów badanych grobów. Szczegółowa procedura przeprowadzonego postępowania przedstawia się następująco:

1. Wybór 5 najbardziej charakterystycznych spośród 26 właściwości środowiska masowych grobów za pomocą metody Warda, grupowania według zmiennych – właściwości środowiska – z miarą odległości, niezgodnością procentową oraz wskaźnika zmienności.
2. Ustalenie liczby grup grobów i najczęstszych wartości zmiennych, czyli cech opisujących właściwości środowiska w 9 grupach, za pomocą grupowania metodą Warda z miarą odległości Czebyszewa.
3. Grupowanie zasadnicze 240 badanych grobów w 9 grup, według przypadków – masowych grobów – o podobnych 5 wyselekcjonowanych właściwościach środowiska geograficznego metodą k-średnich, wokół wcześniej ustalonych wartości zmiennych.
4. Wybór 5 najbardziej charakterystycznych pierwiastków zawartych w 240 masowych grobach za pomocą metody Warda, grupowania według zmiennych – pierwiastków – z miarą odległości euklidesowej oraz wskaźnika zmienności.
5. Ustalenie liczby grup grobów i średnich zawartości pierwiastków w 9 grupach za pomocą grupowania metodą Warda z miarą odległości potęgowej, dla $p=2$ i $r=4$.
6. Grupowanie zasadnicze 240 badanych grobów w 9 grup, według przypadków – masowych grobów – o podobnych zawartościach 5 wyselekcjonowanych pierwiastków metodą k-średnich, wokół wcześniej obliczonych wartości zmiennych.
7. Ustalenie zgodności wyników zasadniczych grupowań, dwóch rozkładów 240 grobów w 9 grupach, dotyczących zarówno właściwości środowiska sprzyjających dekompozycji oraz wyselekcjonowanych pierwiastków typowych dla podłoża masowych grobów.

Celem porównania tych rozkładów było sprawdzenie zależności pomiędzy zawartościami charakterystycznych pierwiastków w podłożu a wyróżnionymi właściwościami środowiska geograficznego badanych grobów.

1.5. Metodyka badań dotycząca chemizmu wód gruntowych w otoczeniu masowych grobów

Próbki wody pobierano w zróżnicowanych okresach pogodowych. Postępowano tak w celu ograniczenia liczby wykonywanych analiz i jednocześnie uwzględnienia, w miarę możliwości, zakresu możliwych zmian chemicznych wody w badanych miejscach. W literaturze światowej wyniki analiz wody, dotyczące cementarzy, przedstawia się w postaci zakresu stwierdzonych koncentracji jonów (Rodrigues, Pacheco 2003). W tego typu badaniach stosuje się zasadę nieuśredniania wartości uzyskanych w różnym czasie dla tego samego piezometru. W związku ze zróżnicowanymi warunkami pogodowymi badania przeprowadzono w: V, VI i VII 2002 roku oraz X, XI i XII roku 2004.

W pierwszej kolejności wpływ masowych grobów na środowisko wykazano poprzez porównanie pod względem chemicznym jakości wody podziemnej – pierwszego horyzontu na i w otoczeniu grobów, z miejscem porównawczym oddalonym znacznie od pochówków, tzw. tłem hydrogeologicznym. Nie była to jedyna droga badawcza, ponieważ nie ma 100-procentowej pewności podobieństwa badanych środowisk. Nawet na małym obszarze, np. na terasach rzecznych, obserwuje się dużą zmienność wykształcenia osadów. Próbkę pobierano na stoku poniżej pochówków (7 przypadków) oraz na terasie w ich sąsiedztwie (4 przypadki). Tylko 2 próbki pobrano z wody powierzchniowej poniżej pochówków. Miało to miejsce w Zbylitowskiej Górze, gdzie woda gromadzi się okresowo w dnie doliny, poniżej masowego grobu z II wojny, natomiast wysycha w okresie długotrwałych susz, np. w roku 2003. Drugą próbkę wody powierzchniowej pobrano z rowu odwadniającego porównawczy teren w Baczkowie. Większość badaczy prowadzących tego typu badania na świecie pobiera wodę do analiz przede wszystkim z piezometrów. Część z nich analizuje również wodę z: zagłębień terenowych, studni, rowów odwadniających, cieków itp. (Dent 1995; Chan inni 1992; Beak 1992 za Dent 1998).

Uzyskane wyniki odniesiono także do dopuszczalnych zawartości 11 jonów w wodzie pitnej. Mierzono koncentracje tych jonów, na które wskazywały wyniki dotychczasowych badań, prowadzonych na świecie nad zanieczyszczeniem cementarnych wód gruntowych (Dent 1997, 1998; Rodrigues, Pacheco 2003; Ceerly 2004). Mierzone zawartości porównano więc z wartościami granicznymi wskaźników jakości wody dla A_1 (Rozporządzenie z 27 XI 2002). Według tego rozporządzenia dopuszczalne stężenia dla badanych jonów wynoszą: azotanowych – 50 mg/l, fosforanowych – 0,4 mg/l, chlorkowych – 250 mg/l, siarczanowych – 250 mg/l, fluorkowych – 1,5 mg/l, cynku – 3 mg/l, miedzi – 0,05 mg/l, żelaza – 0,3 mg/l oraz manganu – 0,05 mg/l. Dla pozostałych badanych jonów, nie uwzględnionych w tym rozporządzeniu, przyjęto: dla jonów amonowych wartość graniczną – 1,5 mg/l, a dla jonów glinu – 0,2 mg/l. Zawartości te nawiązują do ustaleń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO). Taką drogę postępowania przyjęto za innymi badaczami.

W celu wykazania zmienności jakości wody w czasie, pobrano również 9 próbek z tych samych miejsc w innym czasie. Pierwszą serię próbek pobrano

w okresie od V do VII 2002 roku, natomiast drugą serię od X do XII w roku 2004. Próbkę pobierano ze studni (piezometrów) przeważnie dobrze zakrytych. Kręgi betonowe studni przykryte były betonową lub drewnianą płytą. Część z nich (9) przykryta była tylko częściowo. Studnie te posiadały w pokrywach boczne otwory, pozwalające na wyciągnięcie wiadra z jej komina. Tylko kilka badanych studni było odkrytych, np. w Niedzieliskach, Cerekwi i Szczurowej. W tych trzech przypadkach istnieje duże prawdopodobieństwo ich zanieczyszczenia z zewnątrz przez wiatr lub przez ludzi.

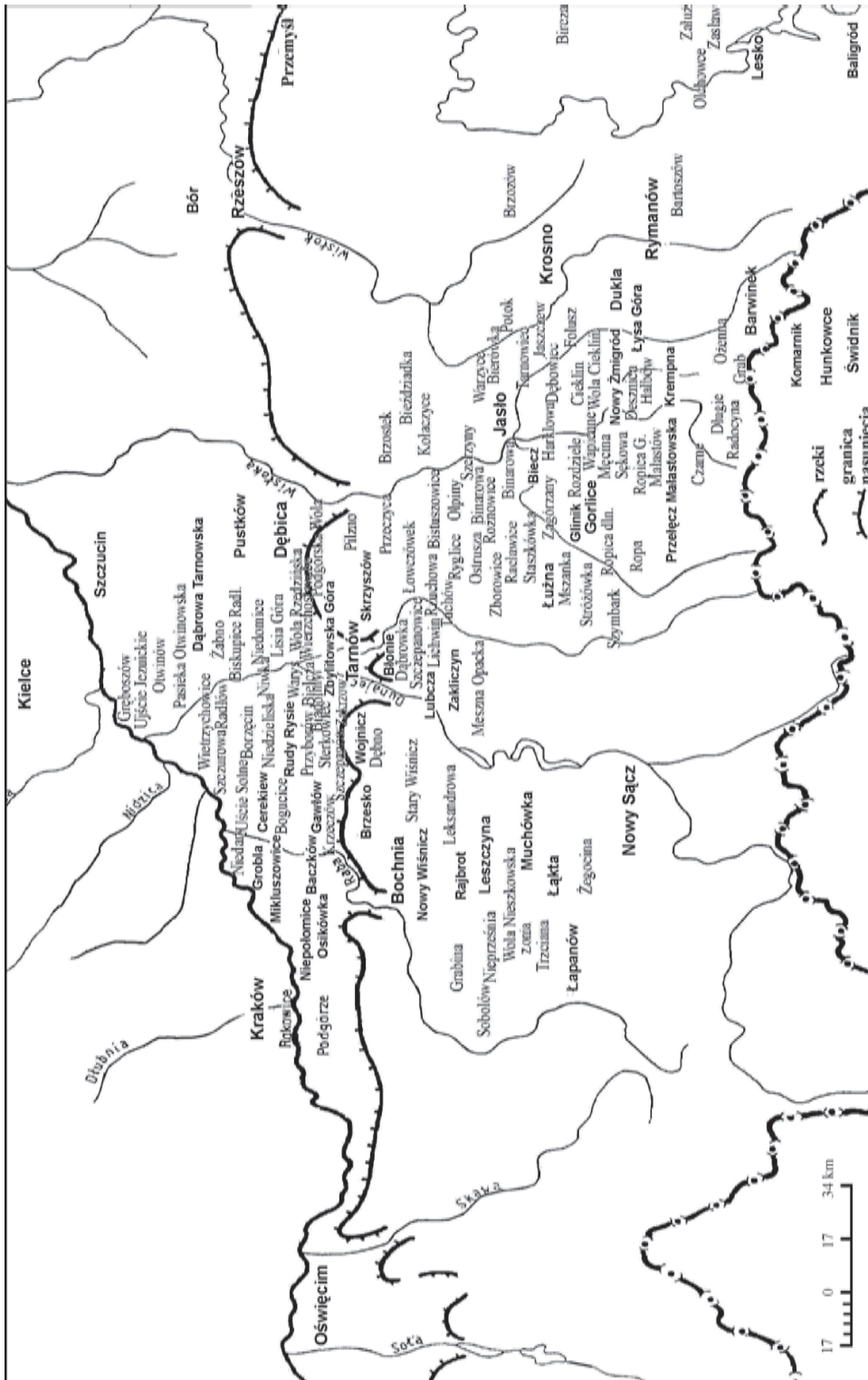
2. Środowisko badanych masowych grobów

2.1. Teren badań

W celu oceny wpływu masowych grobów na środowisko, w przeprowadzonych grupowaniach uwzględniono 240 tego typu pochówków. Ponadto we względnej ocenie zawartości badanych pierwiastków w podłożu uwzględniono także 5 grobów z Oświęcimia. Dwa z nich dotyczą popiołów rozsypanych wokół krematoriów oraz paleniska usytuowanego na wolnym powietrzu. Trzeci grób to nieodległy pochówek jeńców radzieckich zlokalizowany przy strażnicy obozu. W badaniach tych uwzględniono także więźniów zmarłych po wyzwoleniu obozu w Oświęcimiu, pochowanych przy ulicy Więźniów Oświęcimia. Badania zakończono tam na cmentarzu, gdzie pochowano żołnierzy radzieckich wyzwalających miasto.

Dla tych wybranych losowo grobów w południowo-wschodniej Polsce, dla których mierzono zawartości pierwiastków w podłożu, opracowano charakterystyki jakościowe ich zróżnicowanego środowiska. Próbkę pobierano głównie w: Karpatach na wschód od doliny Raby, Kotlinie Sandomierskiej, sporadycznie Kotlinie Oświęcimskiej oraz na zachodnim krańcu Doliny Kielecko-Łagowskiej (ryc. 1). W tych jednostkach fizycznogeograficznych badano masowe pochówki położone na: wierzchołkach, w górnych i dolnych częściach stoków o różnym nachyleniu, lokalnych spłaszczeniach, w pobliżu progów, dużych, średnich i małych terasach rzek oraz w zagłębieniach terenowych. Badania te objęły różny materiał geologiczny: piaski, zróżnicowane aluwia rzek, gliny ciężkie, średnie, lekkie oraz utwory pylaste. Pobierany materiał spoczywał na: łałach miocenkich, zrębach wapiennych, piaskowcach i łupkach jednostek: magurskiej, dukielskiej, śląskiej i skolskiej. W związku z położeniem grobów w obrębie różnych form terenu badane miejsca różniły się także wilgotnością podłoża. Szczegółową charakterystykę środowiska 240 grobów zamieszczono w osobnym rozdziale.

Badania dotyczące zawartości związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem przeprowadzono w przypadku 21 grobów. Przede wszystkim próby pobierano na masowych grobach z okresu I i II wojny światowej (tab. 4). Były to najczęściej samodzielne pochówki żołnierzy z obu wojen. W badaniach tych uwzględniono groby z I wojny w: Bierówce koło Jasła, Rajbrocie koło Żegociny, Łużnej i Tarnowie-Chyszowie oraz z II wojny zlokalizowane w: Dukli, Pustkowie, Rzeszowie, Baligródzie, Hunkowcach na Słowacji i w Przemyślu. W grobach z I wojny spoczywają obok siebie żołnierze różnych walczących ze sobą armii. Natomiast w czasie II wojny żołnierzy chowano osobno, np. radzieckich w Rzeszo-



Ryc. 1. Położenie miejscowości, w których prowadzono badania masowych grobów

wie, Dukli i Pustkowie, polskich i radzieckich w Baligrodzie, a Wehrmachtu w Hunkowcach i Przemyślu. Tylko w nielicznych przypadkach, a dotyczyło to przeważnie rozstrzelanej ludności cywilnej, pochówki miały miejsce na cmentarzach, np. w Rymanowie. Liczniejsze tego typu przypadki zanotowano podczas I wojny, kiedy to cmentarze wojenne lokowano na cmentarzach parafialnych, np. w Żmigrodzie lub w sąsiedztwie cmentarza żydowskiego, np. w Brzesku. Ponadto w badaniach uwzględniono również duże pochówki z różnych okresów: cmentarza parafialnego oraz masowych grobów z I i II wojny w Dukli. Pamiętano również o dużych grobach ludności cywilnej w Borze koło Głogowa na północ od Rzeszowa i w Zbylitowskiej Górze nad Dunajcem koło Tarnowa. Próby pobrano także z masowych miejsc zagłady w Oświęcimiu i Pustkowie, gdzie rozsypywano prochy spopielonych ludzi. Nie zapomniano również o cmentarzach: żydowskim w Lesku i współczesnym w Niedzieliskach, na północ od Brzeska. Ponadto do tej populacji grobów dołączono jeszcze koncentracje wybranych związków chemicznych w podłożu leśnej szkółki w Baczkwie.

Tabela 4. Rodzaje grobów uwzględnione w badaniach zawartości związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem

Rodzaje grobów	Miejscowości z masowymi grobami, cmentarzami i miejscem porównawczym
z I wojny światowej, pojedyncze	Bierówka, Rajbrot, Łużna, Tarnów
z I wojny, w sąsiedztwie innych pochówków, kirkutu ^{*1} , cmentarza ^{*2} , grobu z II wojny ^{*3}	Brzesko ^{*1} , Nowy Żmigród ^{*2} , Dukla ^{*3}
z II wojny, żołnierzy radzieckich ^{*4} , Wehrmachtu ^{*5} , polskich ^{*6}	Dukla ^{*4} , Pustków ^{*4} , Rzeszów ^{*4} , Baligród ^{*6} , Hunkowce ^{*5} , Przemyśl ^{*5}
z II wojny, na których rozsypiano prochy po spaleniu, w sąsiedztwie krematoriów ^{*7} , obrzeża sztucznych nasypów w sąsiedztwie krematorium ^{*8}	Oświęcim ^{*7} , Pustków ^{*8}
z II wojny, ludności cywilnej (Żydów)	Bór, Zbylitowska Góra
z II wojny, położone na cmentarzu	Rymanów
cmentarz	Niedzieliska
żydowskie, nieczynne od okresu wojny	Lesko
porównawczo, szkółka leśna	Baczków

Wybrane pochówki reprezentują typowe lokalizacje w tej części Polski. W badaniach uwzględniono groby leżące na wierzchowinach o niewielkim nachyleniu, np. w Bierówce, Rajbrocie, Brzesku i Przemyślu. Poziom zwierciadła wody pod tymi cmentarzami zalega głęboko i nie jest możliwe, by sięgał powierzchni terenu. Przepuszczalność podłoża tych grobów jest bardzo wysoka w piaskach Rajbrotu i Brzeska oraz nieco mniejsza w utworach pylastych w Bierówce i Przemyślu. W miejscach tych, w okresie bezopadowym, grunt

na otwartych przestrzeniach jest suchy lub lekko zawilgocony, jak np. pod dębami w Rajbrocie.

Dolne części karpackich stoków zajmują groby w Łuźnej, Hunkowcach i Rymanowie. Tylko w Lesku duży kirkut ciągnie się od wierzchołku aż po dno doliny lub w innym miejscu sięga krawędzi progu. Podłoże grobów położonych na stokach o zmieniających się nachyleniach w Łuźnej i Hunkowcach to płytkie pokrywy gliniaste z dużą zawartością gruzu skalnego. Natomiast cmentarze w Lesku i Rymanowie założono na pylastych i ciężkich glinach o zróżnicowanej miąższości. Pod tymi grobami woda gruntowa zalega na głębokości kilku metrów. Próbkę z tych miejsc pobierano w dolnej części cmentarzy.

W badaniach uwzględniono także groby zlokalizowane na lokalnych spłaszczeniach stoków, np. na cmentarzu w Nowym Żmigrodzie oraz dwa masowe groby w Dukli. Oba sąsiadujące pochówki żołnierzy z I i II wojny światowej w Dukli leżą poniżej parafialnego cmentarza. Ponadto cmentarz z I wojny położony jest częściowo w linii spływu wody z grobu z II wojny. Teren okalający te groby jest mocno przekopany w związku z budową cmentarzy i drogi dojazdowej. W podłożu, podczas prowadzonego wykopu, natrafiono na wymieszany z ciężką gliną gruz budowlany. Powierzchnia masowego grobu z II wojny podzielona jest na kwatery i pokryta drobnym żwirem, natomiast na grobie z I wojny dominuje trawnik. Wspomniany grób z I wojny w Nowym Żmigrodzie umiejscowiono na skraju cmentarza od strony łagodnie wznoszącego się stoku. Ta część cmentarza leży na spłaszczeniu, które przechodzi w kierunku zachodnim, czyli drogi Jasło–Nowy Żmigród, w pierw w stok o małym, a następnie większym nachyleniu. Podłoże tego cmentarza to glina średnia, z licznymi okruchami piaskowca. W okresach bezopadowych jest ona sucha i twarda.

Analizy prowadzono również w masowych grobach położonych na zaprożu progu, w różnej odległości od jego krawędzi, w Pustkowie, Rzeszowie, Baligrodzie i na cmentarzu w Niedzieliskach. Ponadto próbki pobrano jeszcze z najniższej kwatery masowego grobu, w dnie okresowo odwadnianej doliny, rozcinającej osuwiskowe czoło progu wyższej terasy Dunajca w Zbylitowskiej Górze. Górna, pylasta część profilu pionowego podłoża tego dna jest podścielona zawodnionym żwirkiem. Natomiast masowy pochówek żołnierzy radzieckich poległych w czasie wojny i polskich poległych w walkach z oddziałami UPA, usytuowano na zaprożu wysokiej czterometrowej terasy Hoczewki. Poległych zakopano zatem w madach. Powierzchnię pochówku podzielono betonowymi murkami na kwatery, które następnie wypełniono nawiezioną średnią gliną. Z kolei cmentarz w Niedzieliskach leży na piaszczystej równinie opadającej półtorametrowym progiem w kierunku drogi i zabudowy. Poziom zwierciadła wody w studni na tym cmentarzu zalega na głębokości około 2 m i podnosi się na wysokość przedpoła tego progu. Trumny zakopuje się w tych warunkach na głębokości około 1,5 m. Środowisko pochówku jest zatem często zawilgocone ze względu na występowanie w piaskach wód kapilarnych. Natomiast masowe groby żołnierzy radzieckich zlokalizowano na zalesionej piaszczystej równinie, rozciętej wciosem drogowym w pobliżu grobu prochów w Pustkowie oraz wysokiej piaszczystej terasie Wisłoka w Rzeszowie. Kwatery obu grobów wyznaczają betonowe murki wypełnione lokalnym piaskiem. Głębokie wcięcie drogowe w Pustkowie oraz zaproże progu w Rzeszowie wykluczają wysoki poziom wody gruntowej.

Prowadzone badania dotyczyły także masowych grobów występujących na rozległych terasach rzecznych w Tarnowie-Chyszowie i Oświęcimiu oraz na równinie Płaskowyzu Kolbuszowskiego w Borze koło Głogowa. Środowisko tych teras jest bardzo zróżnicowane w profilu pionowym oraz przestrzennie. W górnych częściach ich pionowych profili występują gliny pylaste w Tarnowie oraz czarne ziemie, z dużą ilością próchnicy i białymi przebarwieniami, prawdopodobnie związanymi z niedopalonymi fragmentami kości w Oświęcimiu. Wody gruntowe zalegają płytko w tych terasach rzecznych. Często ich zwierciadło podnosi się wraz z poziomem wody w rowach odwadniających badany teren. Uwzględniony w tych badaniach masowy grób 3000 Żydów leży w lasach Boru, na piaszczystej równinie, nieopodal drugiego pochówku położonego na stokach wydmy. Miejsce pochówku opasane jest betonowym murkiem wysokości około 20 cm, wewnątrz którego posadzono ozdobne krzewy. Piaski w górnej części pionowego profilu mają zabarwienie brunatne, wskazujące na udział minerałów ilastych, które przechodzi niżej w popiel, a następnie przyjmuje złoty kolor czystych piasków. Nieopodal tego grobu, w odległości od 8 m do 20 m, wykopano płytki rów odwadniający badany teren. Woda gruntowa zalega zatem tutaj płytko.

Do porównań wybrano naturalne zagłębienie terasy Raby, w miejscu prowadzonej leśnej szkółki, położonej na skraju lasu w Baczowie. Badany teren jest okresowo zalewany wodą. Natomiast podczas suszy podłoże było lekko wilgotne. W górnej części jego pionowego profilu piasek miał kolor brunatny, który poniżej głębokości 10 cm przechodził w żółty. Badane podłoże porośnięte było dużą ilością mchu oraz sadzonkami drzew i krzewów, np. wilczej jagody. Środowiska badanego miejsca porównawczego oraz przyległego rezerwatu przyrody „Dębina” są podobne.

Badania mineralogiczno-petrograficzne osadów wykonano na bazie próbek pobranych z 9 grobów pochodzących z okresu I i II wojny światowej. Wybrane pochówki położone są w różnych jednostkach fizycznogeograficznych (tab. 5). W Kotlinie Sandomierskiej badania prowadzono na plejstoceniejskiej, piaszczystej terasie Wisły w Niepołomicach – pochówku z okresu II wojny światowej; progę modelowanej osuwiskiem wysokiej, plejstoceniejskiej, żwirowej terasy Dunajca w Zbylitowskiej Górze – pochówku z okresu II wojny światowej oraz na piaszczystej, lekko nachylonej wierzchowinie na Wysoczyźnie Szczepanowskiej w Brzesku – pochówku z okresu I wojny światowej.

Prowadzono także badania w masowych grobach z okresu I wojny na Przedgórzu Karpat w Błoniach koło Tarnowa oraz na cmentarzu w Bochni. Pochówek w Błoniach leży w górnej części łagodnego stoku czoła progę Przedgórza Karpat. Natomiast masowy grób w Bochni położony jest w górnej części gliniastego czoła progę przedgórza, o nachyleniu od 6%–8%, w otoczeniu grobów cmentarza parafialnego (fot. 1).

Pogórza Karpackie reprezentują dwa masowe groby: żołnierzy z I wojny w Rajbrocie na Pogórzu Wiśnickim oraz żołnierzy radzieckich z okresu II wojny, z bitwy o Przełęcz Dukielską, w Dukli na Pogórzu Jasielskim. Pochówek w Rajbrocie leży na skraju lasu, na wierzchowinie, w piaszczystym podłożu z domieszką większych okruchów piaskowca fliszowego jednostki śląskiej (fot. 2). Natomiast grób w Dukli położony jest w środkowej części łagodnego stoku, założonego na glinach i ilach, w pobliżu innych pochówków (fot. 3). Z kolei środowisko gór

niskich reprezentuje masowy grób ludności cywilnej z okresu II wojny wykopany w glinach i iłach w Barwinku w Beskidzie Niskim. Jest on położony na zalesionym spłaszczeniu, w dolnej części łagodnego stoku.

Ponadto badania wykonano także w Kotlinie Sądeckiej na żydowskim cmentarzu położonym na rolnej, pylastej terasie w pobliżu ujścia Kamienicy do Dunajca. Próby z tego cmentarza pobrano przy ogrodzeniu, na granicy prywatnej posesji, w sąsiedztwie masowego pochówku z okresu II wojny.

Badane groby pochodzące z okresu I wojny leżą w pobliżu innych pochówków na cmentarzu parafialnym w Bochni oraz w sąsiedztwie kirkutu w Brzesku lub oddzielnie na skraju lasu w Rajbrocie i Błoniach (fot. 2, 4). Natomiast groby pochodzące z okresu II wojny zlokalizowane są samodzielnie w lesie w Niepołomicach, Zbylitowskiej Górze i w Barwinku oraz w sąsiedztwie innych pochówków w Nowym Sączu i w Dukli. Podczas budowy tych grobów, zgodnie z wiedzą i tradycją, na ich terenie sadzono drzewa. Obecnie na większości z nich pozostały tylko pnie. Starsze okazy drzew można spotkać w Rajbrocie i w Brzesku (fot. 2, 5).

Tabela 5. Lokalizacja fizyczno-geograficzna pochówków, użytkowanie otoczenia masowych grobów oraz forma terenu i rodzaj podłoża, do którego złożono pochówki na wybranych masowych grobach

Lokalizacja grobu, okres pochówku	Jednostka fizyczno-geograficzna	Forma terenu, rodzaj i przepuszczalność podłoża	Otoczenie masowego grobu
Niepołomice, z II wojny	Kotlina Sandomierska	piaszczysta terasa plejstocenska Wisły podścielona iłami miocenu, duża przepuszczalność, mobilne zwierciadło wody	las sosnowo-brzozowy
Zbylitowska Góra, z II wojny	Kotlina Sandomierska	czoło osuwiskowego progu wysokiej terasy Dunajca, w części grobowej żwirki z większymi otoczkami, powyżej osady pylaste, zróżnicowana przepuszczalność	las mieszany (buk, sosna, dąb)
Brzesko, z I wojny	Kotlina Sandomierska	górną część łagodnego stoku opadającego na SW, na Wysoczyźnie Szczepanowskiej, osady piaszczyste, duża przepuszczalność	kirkut, ogródki działkowe
Bochnia, z I wojny	Przedgórze Bocheńskie	dolna część łagodnego stoku, zróżnicowane ły, gliny, mała przepuszczalność	groby cmentarza parafialnego
Błonie, z I wojny	Przedgórze Ciężkowickie	górną część łagodnego stoku progu przedgórz, osady piaszczysto-żwirowe, duża przepuszczalność	las mieszany, za drogą od zachodu grunty orne
Rajbrot, z I wojny	Pogórze Wiśnickie	wierzchowina, piaszczysta zwietrzelina z okruchami piaskowców fliszowych, duża przepuszczalność	las bukowo-brzozowy, grunty orne
Dukla, z II wojny	Pogórze Jasielskie	środkowa część łagodnego stoku, gliny ponad iłami, mała przepuszczalność	łąka, obok grób z I wojny, powyżej z boku, za drogą cmentarz
Barwinek, z II wojny	Beskid Niski	spłaszczenie w dolnej części łagodnego stoku, gliny, mała przepuszczalność	las świerkowy
Nowy Sącz, z II wojny	Kotlina Sądecka	terasa rolna Kamienicy i Dunajca, osady pylaste w części grobowej, zróżnicowana przepuszczalność	masowy grób na terenie kirkutu sprzed II wojny

Ocenę jakości wody podziemnej i powierzchniowej przeprowadzono na terenie i w pobliżu 26 masowych grobów z I i II wojny światowej oraz porównawczo dla cmentarzy (tab. 6). W badanych studniach różnie kształtowała się głębokość do zwierciadła wody podziemnej. Najbliżej powierzchni terenu woda ta występuje na osuwisku w Bieczu (tab. 6). Płytko zalega również woda gruntowa w Kotlinie Sandomierskiej, w Niepołomicach – 2,2 m oraz w Niedzielskich – 2,0 m. Natomiast najgłębsze studnie występują w środkowych i górnych częściach stoków w Karpatach fliszowych w: Gorlicach – 5 m, Szczepanowicach – 5 m, Rymanowie – 4,5 m, Zakliczynie – 4,5 m, Ryglicach – 4,5 m oraz na terasach rzecznych: Wisły w Grobli – 4,5 m, Dunajca w Nowym Sączu – 5 m i Raby w Mikłuszowicach – 5 m.

W pozostałych badanych miejscach poziom zwierciadła wody w studniach znajduje się na głębokości od 2,5 m do 4 m. Najczęściej taka głębokość występuje w Kotlinie Sandomierskiej na wysoczyznach w Rudach Rysiach – 3,5 m; Gręboszowie – 3 m oraz na terasach rzecznych: Raby w Cerekwi – 3 m, Dunajca w Radłowie – 3 m i Wojniczu – 4 m oraz Wisły w Gręboszowie – 3 m, Szczurowej – 3,5 m i w Oświęcimiu – 3,3 m. Podobną głębokość do zwierciadła wody stwierdzono w studniach w Karpatach: w dolnych częściach stoków w Dukli – 3,5 m; na terasie Ropy w Gliniku Mariampolskim – 2,5 m oraz w dnie małej dolinki w Tuchowie – 3 m. Studnie położone na cmentarzach najczęściej znajdowały się w jego centralnej części, np. w: Dukli, Rymanowie, Zakliczynie, Mikłuszowicach, Szczepanowicach, Wojniczu, Krakowie-Rakowicach oraz w Niepołomicach (piezometr) lub przy ogrodzeniu nekropolii, np. w: Rudach Rysiach, Niedzielskich, Cerekwi, Radłowie, Gręboszowie oraz Grobli.

Próbki do badań z sąsiedztwa pochówków pobierano z dziewięciu miejsc. Były one oddalone od 30 m na terasie Dunajca w Nowym Sączu do 200 m na terasie Wisły w Oświęcimiu. Próbki wody pochodzą ze stoków w Karpatach poniżej cmentarzy w różnej od nich odległości, od 5 m do 80 m (tab. 6). Takie odległości warunkowane były funkcjonującymi studniami, które służą lub służyły miejscowej ludności do pozyskiwania wody pitnej. Najczęściej wodę tę ludzie wykorzystują w gospodarstwie. Studnie znajdują się w różnej odległości od cmentarza, np. w: Bieczu – 10 m, Gliniku – 15 m, Łuźnej – 50 m, Gorlicach – 60 m oraz w Ryglicach – 80 m. Natomiast studnie położone na cmentarzach znajdują się w niewielkiej odległości od masowych pochówków. W pobliżu grobów z I wojny światowej studnie są w odległości: 4 m w Szczurowej, 20 m w Zakliczynie, 15 m w Krakowie na Rakowicach oraz 30 m w Wojniczu, a od masowych grobów z II wojny w oddaleniu: 30 m w Nowym Sączu i 10 m w Krakowie na cmentarzu przy ulicy Prandoty (fot. 6).

Badane pochówki złożono w zróżnicowane osady, na co wskazuje również ich położenie morfologiczne. Osady tej samej formy terenu, np. terasy, są istotnie zróżnicowane (tab. 7). Pojemność sorpcyjna mad zmienia się z głębokością w zależności od składu granulometrycznego (Ruszkowska i inni 1994). Terasę Wisły w Oświęcimiu buduje glina ciężka podścielona ilami miocenu. Na terenie terasy tej samej rzeki w Niepołomicach nad utworami miocenu zalegają piaski, miejscami zailone lub utwory żwirowe i pylaste w Krakowie – na Rakowicach oraz w Gręboszowie. Na terasach innych rzek pochówki składano także do różnych osadów. Na terasie Dunajca były to utwory: pylaste w Nowym Sączu, pylasto-żwirowe

Tabela 6. Zestawienie wybranych miejscowości wraz z położeniem i charakterystykami studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody podziemnej na cmentarzach lub w ich pobliżu, w celu porównania zawartości wybranych jonów

Studnia w miejscowości, na cmentarzu lub obok	Data pobrania próbki	Głębokość do zwierciadła w [m]	Położenie studni względem pochówków	Odległość od grobów w [m], z okresu wojennego	Zabezpieczenie studni
Biecz (obok)	19.05.2002	1,2	poniżej	10, I wojna	zakryta
Gorlice (obok)	19.05.2002	5	poniżej	60, I wojna	częś. zakryta
Glimik (obok)	19.05.2002	3	poniżej	15, I wojna	zakryta
Dukla (cm.)	20.05.2002	3,5	na cmentarzu	centralnie, parafialny	częś. zakryta
Rymanów (cm.)	20.05.2002	4,5	na cmentarzu	centralnie, parafialny	częś. zakryta
Zbylitowska Góra (obok)	28.05.2002	0	poniżej	5, II wojna	odkryta
Rudy Rysie (cm.)	31.05.2002	3,5	na cmentarzu	przy ogrodzeniu, parafialny	częś. zakryta
Niedzielska (cm.)	31.05.2002	2	na cmentarzu	przy ogrodzeniu, parafialny	odkryta
Szczurowa (cm.)	31.05.2002	3,5	na cmentarzu	4, I wojna	odkryta
Zakliczyn (cm.)	14.11.2004	4,5	na cmentarzu	centralnie, 20, I wojna	częś. zakryta
Baczków (obok)	9.06.2002	0	z rowu	w pobliżu miejsca	ciek
Mikuszowice (cm.)	9.06.2002	5	na cmentarzu	centralnie, parafialny	częś. zakryta
Cerekiew (cm.)	9.06.2002	3	na cmentarzu	przy ogrodzeniu, parafialny	odkryta
Tuchów (obok)	15.06.2002	3	w sąsiedztwie	z boku, choleryczny	zakryta
Ryglice (obok)	15.06.2002	4,5	poniżej	80, I wojna	zakryta
Szczepanowice (cm.)	16.06.2002	5	na cmentarzu	centralnie, parafialny	częś. zakryta
Radłów (cm.)	20.06.2002	3	na cmentarzu	przy ogrodzeniu (N)	zakryta
Wojnicz (cm.)	20.06.2002	4	na cmentarzu	centralnie, 30, I wojna	zakryta
Gręboszów (cm.)	21.06.2002	3	na cmentarzu	przy ogrodzeniu, parafialny	zakryta
Nowy Sącz (obok)	28.06.2002	5	w sąsiedztwie	30, II wojna	zakryta
Grobla (cm.)	4.07.2002	4,5	na cmentarzu	obok, 6 m od grobów	częś. zakryta
Kraków-Rakowice (I w.)	28.10.2004	8	na cmentarzu	15, I wojna	zakryta
Kraków-Rakowice cm.	28.10.2004	8	na cmentarzu	centralnie, komunalny	zakryta
Kraków-Prandoty, cm.	28.10.2004	7,5	na cmentarzu	10, II wojna	zakryta
Luźna (obok)	14.11.2004	3	poniżej	50, I wojna	zakryta
Niepolomice (mas.)	8.10.2004	2,2	na grobie	centralnie, II wojna	piezometr
Oświęcim (obok)	6.07.2002	3,3	w sąsiedztwie	200, jeńcy, II wojna	częś. zakryta

cm. – cmentarz; por. – porównawczy; I, II w. – I, II wojna światowa; mas. – masowy grób; obok – studnia położona w pobliżu grobów; część. – częściowo

w Zbylitowskiej Górze, lekka glina w Wojniczu lub piaski w Radłowie. Podobne zróżnicowanie osadów występuje na terasie Raby: gliny ciężkie w Baczkowie, utwory pylaste w Cerekwi lub piaski w Mikluszowicach. Dodatkowo uwzględniono także terasę Ropy z utworami pylastymi w Gliniku, na terenie Gorlic. Znacznie mniejsze zróżnicowanie dotyczy osadów przykrywających stoki wzniesień w Karpatach. Są to najczęściej gliny ciężkie w: Bieczu, Dukli, Rymanowie, Łużnej, średnie w Zakliczynie, lekkie w Ryglicach oraz utwory pylaste w Szczepanowicach. Mało zróżnicowane są osady wysoczyzn na terenie Kotliny Sandomierskiej. Są to głównie piaski, budujące wydmy lub wypełniające obniżenia. Często zawierają one różną ilość minerałów ilastych, np. w: Rudach Rysiach, Niedzieliskach i Szczurowej.

Tabela 7. Okres pochówku, położenie i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów z różnych miejsc pochówków lub z ich sąsiedztwa (obok)

Studnie pomiędzy grobami lub obok nich, w miejscowości	Forma terenu	Osady pochówku	Starsze podłoże	Obecność masowego pochówku
Biecz (obok) ^{*1}	zbocze doliny, osuwisko	glina ciężka	jedn. śląska	I wojna
Gorlice (obok)	górną stok Góry Cmentarnej	glina średnia	jedn. śląska	I wojna
Glinik (obok)	niższe spłaszczenie terasy	pylasto-żwirowe	jedn. śląska	I wojna
Dukla (cm.)	spłaszczenie zbocza doliny	glina ciężka, il	jedn. śląska	parafialny
Rymanów (cm.)	środkowa część stoku wzgórza	glina ciężka, il	jedn. śląska	II wojna
Zbylitowska Góra (obok)	dno zagłębienia, osuwisko na progu terasy	pylasto-żwirowe	miocen	II wojna
Rudy Rysie (cm.)	równina wysoczyzny	zailone piaski	miocen	I wojna
Niedzieliska (cm.)	równina wysoczyzny	piaski	miocen	parafialny
Szczurowa (cm.)	równina wysoczyzny	zailone piaski	miocen	I, II wojna
Zakliczyn (cm.)	środkowa część zbocza doliny	glina średnia	jedn. śląska	I wojna
Baczków (obok)	zagłębienie terasy w dolinie Raby	glina ciężka	miocen	brak
Mikluszowice (cm.)	stok wydmy Raby	zailony piasek	miocen	I wojna
Cerekiew (cm.)	płaska terasa Raby	pylaste	miocen	parafialny
Tuchów (obok)	dno płaskodennej doliny	pylaste	jedn. śląska	choleryczny
Ryglice (obok)	środkowa część stoku wzgórza	glina lekka	jedn. śląska	I wojna
Szczepanowice (cm.)	dolna część stoku grzbietu	pylaste	jedn. śląska	I wojna
Radłów (cm.)	wydma terasy Dunajca	pylaste, piaski	miocen	I, II wojna
Wojnicz (cm.)	płaska terasa Dunajca	glina lekka	miocen	I wojna
Gręboszów (cm.)	płaska terasa Wisły	pylaste	miocen	I wojna
Nowy Sącz (obok)	płaska terasa Dunajca	pylaste	jedn. śląska	II wojna
Grobla (cm.)	płaska terasa Wisły	glina, żwiry	miocen	I wojna
Kraków-Rakowice (cm.)	spłaszczenie stożka Prądnika	pylaste	miocen	I wojna
Kraków-Prandoty (cm.)	spłaszczenie stożka Prądnika	glina ciężka	miocen	II wojna
Kraków-Rakowice (centralny cm.)	spłaszczenie stożka Prądnika	pylaste	miocen	I wojna
Łużna (obok)	stok wzgórza Pustki	glina ciężka, il	jedn. śląska	I wojna
Niepołomice (mas.)	płaska terasa Wisły	piaski	miocen	II wojna
Oświęcim (obok)	płaska terasa Wisły	glina ciężka	miocen	II wojna

^{*1} obok – studnia w pobliżu pochówków; mas. – masowy grób; cm. – na cmentarzu; jedn. – jednostka; centralny cm. – studnia położona w centralnej części cmentarza

Do badań porównawczych jakości wody podziemnej na terenie grobów lub w ich sąsiedztwie z tłem geochemicznym wybrano cmentarze, na których zlokalizowane są masowe groby z I wojny w: Cerekwi, Zakliczynie, Mikłuszowicach i Wojniczu oraz masowe groby z I i II wojny światowej w: Bieczu, Łużnej, Gliniku, Gorlicach i Niepołomicach (tab. 8). Dodatkowo porównywano próbki wody podziemnej z trzech miejsc w Mikłuszowicach: z cmentarza, użytkowej studni położonej w sąsiedztwie, w odległości 25 m od cmentarza oraz z miejsca porównawczego odległego o około 500 m. Tego rodzaju badania przeprowadzono w miarę możliwości w tym samym czasie w X i XI w roku 2004. Okres ten wybrano ze względu na najbardziej stabilne warunki pogodowe w klimacie umiarkowanym. Próbkę zarówno z cmentarza, jak i z miejsca porównawczego pobierano w odstępie kilkunasto- lub kilkudziesięciominutowym. Takie podejście zapewniło podobne warunki zewnętrzne, np. pogodowe w obu porównywalnych miejscach. Podobne głębokości do zwierciadła wody w porównywanych miejscach występują jednak sporadycznie. Dotyczy to jedynie studni położonych na rozległych terasach Dunajca w Wojniczu i Raby w Cerekwi (tab. 8).

Tabela 8. Położenie, data i miejsce pobrania próbki oraz charakterystyka studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody w podobnych warunkach pogodowych, w celu porównania zawartości wybranych jonów w miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok) z miejscem porównawczym (por.)

Studnie pomiędzy grobami lub obok nich, w miejscowości	Data pobrania próbki	Głębokość do zwierciadła w [m]	Położenie studni względem pochówków	Odległość studni od grobów w [m]	Zabezpieczenie studni
Cerekiew (cm.) [*]	27.10.2004	4	na cmentarzu	przy ogrodzeniu	odkryta
Cerekiew (por.)	27.10.2004	4	w sąsiedztwie	500	część zakryta
Mikłuszowice (cm.)	27.10.2004	5	na cmentarzu	centralnie	część zakryta
Mikłuszowice (obok)	27.10.2004	4	poniżej	25	część zakryta
Mikłuszowice (por.)	27.10.2004	5	w sąsiedztwie	500	część zakryta
Wojnicz (cm.)	14.11.2004	4	na cmentarzu	centralnie	zakryta
Wojnicz (por.)	14.11.2004	4	w sąsiedztwie	200	zakryta
Zakliczyn (cm.)	14.11.2004	5	na cmentarzu	centralnie	część zakryta
Zakliczyn (por.)	14.11.2004	3	w odległości	300	część zakryta
Łużna (obok)	14.11.2004	3	poniżej	50	zakryta
Łużna (por.)	14.11.2004	1,5	poniżej	250	część zakryta
Biecz (obok)	14.11.2004	1	poniżej grobu	10	zakryta
Biecz (por.)	14.11.2004	2	w sąsiedztwie	150	zakryta
Gorlice (obok)	14.11.2004	4,5	poniżej grobu	60	część zakryta
Gorlice (por.)	14.11.2004	4	poniżej	500	zakryta
Glinik (obok)	14.11.2004	4	poniżej	15	zakryta
Glinik (por.)	14.11.2004	6	w górę Ropy	200	zakryta
Niepołomice (mas.)	8.10.2004	2,2	na grobie	centralnie	piezometr
Niepołomice (por.)	8.10.2004	1,7	w sąsiedztwie	250	piezometr

^{*} cm. – studnia położona na cmentarzu, por. – dotyczy studni porównawczej, I lub II wojna – pochówek z I lub II wojny światowej, mas. – masowy grób, obok – studnia w pobliżu pochówków, część. – studnia częściowo zakryta

Największe różnice pomiędzy głębokością do wody gruntowej w masowych grobach lub poniżej nich a miejscami porównywanymi dotyczyły terenów osuwiskowych. Przykładowo w Bieczu wynosiło odpowiednio 1 m i 2 m, a w Łuźnej 3 m i 1,5 m. Porównywane studnie w Zakliczynie są z kolei położone na różnych formach terenu. Na cmentarnym stoku woda gruntowa zalega na głębokości 5 m. Natomiast porównywana studnia leży w odległości 300 m w dnie doliny Dunajca. Do jej zwierciadła wody jest tylko 3 m.

Próbki z miejsc porównawczych pochodzą także ze studni o zbliżonych głębokościach do zwierciadła wody. Miejsca te leżą w sąsiedztwie grobów na rozległych terasach: Raby w Cerekwi i Mikłuszowicach, Dunajca w Wojniczu oraz Wisły w Niepołomicach. Jedynie w przypadku węższych dolin, np. na terasie Ropy w Gliniku, części Gorlic, występują różnice w zaleganiu wody podziemnej pomiędzy masowym grobem a miejscem porównawczym oddalonym o około 200 m w górę rzeki. Głębokość do zwierciadła wody gruntowej w miejscu porównawczym wynosiła 6 m, natomiast w pobliżu masowego pochówku w Gliniku do zwierciadła wody było tylko 4,5 m (tab. 8). Miejsca porównawcze na stokach w Karpatach wybierano poza linią spływu wody gruntowej, poniżej pochówków, w znacznej odległości od grobów, np. 200 m w Łuźnej, 300 m w Zakliczynie i ponad 400 m w Gorlicach. Jedynie w Bieczu przyjęto mniejszą odległość około 140 m. Studnia porównawcza leżała tu na sąsiednim stoku o innej ekspozycji niż masowy grób. Wody podziemne na tych stokach krążą niezależnie od siebie. Znacznie większe odległości, wynoszące około 500 m, przyjęto pomiędzy studniami porównawczymi a cmentarzami położonymi na terasie Raby w Mikłuszowicach i Cerekwi. Przyjęcie tak znacznych odległości wynika z dużej przepuszczalności osadów w wymienionych miejscach. Dotyczy to przede wszystkim osadów piaszczystych w Mikłuszowicach i pylastych w Cerekwi (tab. 9). Osady tego typu sprzyjają wyższym zanieczyszczeniom chemicznym wód podziemnych. Jednak wraz z odległością od cmentarza, ilość jonów w takim podłożu zdecydowanie maleje. Potwierdzają to także wyniki uzyskane w odległości 300 m od cmentarza Luz de Tavira w Algarve w południowej Portugalii (Rodrigues, Pacheco 2003).

W większości badanych studni, zarówno tych położonych w sąsiedztwie pochówków, jak i w miejscach porównawczych, stwierdzono podobne zabezpieczenie przed wpływami zewnętrznymi (tab. 8). Studnie wykorzystane do porównań były najczęściej zakryte. Tylko w nielicznych przypadkach uznano je za częściowo zakryte. Miało to miejsce w Łuźnej, Zakliczynie, Mikłuszowicach i Cerekwi. Wybrane studnie były rzadko używane i dlatego przykryto je drewnianymi pokrywami. Jedynie studnia zlokalizowana na czynnym osuwisku w Łuźnej posiadała tylko daszek. Górny krąg tej studni nie był więc przykryty.

Niektóre analizowane studnie, zlokalizowane na terenie cmentarza lub w jego pobliżu, były wykopane w osadach pylastych zdeponowanych przez rzeki na terasach, np. w Cerekwi, Mikłuszowicach (studnia porównawcza), Wojniczu oraz Zakliczynie. Tylko w dwóch miejscowościach, położonych na terasie Wisły w Niepołomicach oraz na terasie Raby na cmentarzu w Mikłuszowicach, wody podziemne zalegały w piaskach, które leżą na ilach miocenu (tab. 9).

Tabela 9. Położenie, okres pochówku i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów w miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok) z miejscem porównawczym (por.)

Studnie pomiędzy grobami lub obok nich, w miejscowości	Forma terenu	Osady pochówku	Starsze podłoże	Obecność masowego pochówku
Cerekiew (cm.)*	płaska terasa Raby	pylaste	miocen	parafialny
Cerekiew (por.)	płaska terasa Raby	pylaste	miocen	
Mikluszowice (cm.)	stok wydmy na terasie Raby	piaski	miocen	I wojna
Mikluszowice (obok)	płaska terasa, obok wydmy	piaski	miocen	
Mikluszowice (por.)	płaska terasa Raby	pylasto-żwirowe	miocen	
Wojnicz (cm.)	płaska terasa Dunajca	pylaste	miocen	I wojna
Wojnicz (por.)	płaska terasa Dunajca	pylaste	miocen	
Zakliczyn (cm.)	środkowy stok zbocza doliny	glina średnia	jedn. śląska	I wojna
Zakliczyn (por.)	płaska terasa Dunajca	pylaste	jedn. śląska	
Łuźna (mas., obok)	środkowy stok wzgórza Pustki, osuwisko	glina ciężka, il	jedn. śląska	I wojna
Łuźna (por.)	dolny stok wzgórza, osuwisko	glina ciężka, il	jedn. śląska	
Biecz (mas., cm.)	środkowe zbocze Ropy, osuwisko	glina ciężka	jedn. śląska	I wojna
Biecz (por.)	środkowe zbocze, osuwisko	glina ciężka	jedn. śląska	
Gorlice (mas., obok)	górnny stok Góry Cmentarnej	glina średnia	jedn. śląska	I wojna
Gorlice (por.)	środkowy stok wzniesienia	glina średnia	jedn. śląska	
Glinik (mas., obok)	niższy stopień terasy Ropy	pylasto-żwirowe	jedn. śląska	I wojna
Glinik (por.)	płaska terasa Ropy	pylasto-żwirowe	jedn. śląska	
Niepołomice (mas.)	płaska terasa Wisły	piaski	miocen	II wojna
Niepołomice (por.)	płaska terasa Wisły	zailone piaski	miocen	

* cm. – studnia położona na cmentarzu; por. – dotyczy studni porównawczej; I lub II wojna – pochówek z I lub II wojny światowej; mas. – masowy grób, obok – studnia położona w pobliżu pochówków; część. – studnia częściowo zakryta

Badane osady teras rzecznych są zatem zróżnicowane w przestrzeni oraz w profilu pionowym, np. w Gliniku czy w Zbylitowskiej Górze (tab. 9). W górnych częściach profili obu teras występują utwory pylaste, pod którymi zalegają żwiry rzeczne. Natomiast na stokach w Karpatach dominowały gliny ciężkie w Biecu i w Łuźnej oraz średnie w Zakliczynie i w Gorlicach. Poziom wody gruntowej w tych osuwiskach jest bardzo zróżnicowany w zależności od miejsca na powstałej formie. Badania porównawcze z tłem geochemicznym obejmowały głównie pochówki z okresu I wojny. Masowe groby z okresu II wojny znajdują

się przeważnie na lokalnych cmentarzach (po ekshumacji) lub zlokalizowane są daleko od siedzib ludzkich. W tym zestawieniu uwzględniono także cmentarz parafialny w Cerekwi położony na terasie Raby.

W celu wykazania zmienności w czasie składu chemicznego wody podziemnej porównano próbki pobrane w różnym okresie z tych samych miejsc na masowych grobach lub z ich sąsiedztwa (tab. 10).

Tabela 10. Położenie i charakterystyka studni (piezometrów) w wybranych miejscowościach, z których pobierano w różnym czasie z tego samego miejsca próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów

Studnie pomiędzy grobami lub obok nich, w miejscowości	Data pobrania próbki	Głębokość do zwierciadła w [m]	Położenie studni względem pochówków	Odległość od grobów w [m]	Zabezpieczenie studni
Kraków-Prandoty (cm.)	10.05.02	6,5	na cmentarzu	10, II wojna	zakryta
Kraków-Prandoty (cm.)	28.10.04	7	na cmentarzu	10, II wojna	zakryta
Kraków-Rakowice (cm.)	28.10.04	8	na cmentarzu	centralnie, komunalny	zakryta
Kraków-Rakowice (cm.)	10.05.02	7,5	na cmentarzu	15, I wojna	zakryta
Kraków-Rakowice (cm.)	28.10.04	8	na cmentarzu	15, I wojna	zakryta
Wojnicz 1* (cm., I w.)	20.06.02	4	na cmentarzu	centralnie, 30, I wojna	zakryta
Wojnicz 2 (cm., I w.)	14.11.04	4	na cmentarzu	centralnie	zakryta
Glinik 1 (mas., I w.)	19.05.02	3	poniżej	15, I wojna	zakryta
Glinik 2 (mas., I w.)	14.11.04	4	poniżej	15, I wojna	zakryta
Mikluszowice 1 (cm. I w.)	9.06.02	5	na cmentarzu	centralnie	część. zakryta
Mikluszowice 2	27.10.04	5,5	na cmentarzu	centralnie	część. zakryta
Cerekiew 1 (cm.)	9.06.02	3	na cmentarzu	przy ogrodzeniu	odkryta
Cerekiew 2 (cm.)	27.10.04	4	na cmentarzu	przy ogrodzeniu	odkryta
Oświęcim 1 (mas., II w.)	6.07.02	3,3	w sąsiedztwie	200, jeńcy, II wojna	zakryta
Oświęcim 2 (mas., II w.)	9.12.04	3,5	w sąsiedztwie	200, jeńcy, II wojna	zakryta
Gorlice 1 (mas., I w.)	19.05.02	5	poniżej	60, I wojna	część. zakryta
Gorlice 2 (mas., I w.)	14.11.04	4,8	poniżej	60, I wojna	część. zakryta
Biecz 1 (mas., I w.)	19.05.02	1,2	poniżej	10, I wojna	zakryta
Biecz 2 (mas., I w.)	14.11.04	1	poniżej	10, I wojna	zakryta

* 1, 2 – numery próbek dotyczące tego samego pochówku; cm. – na cmentarzu; I w. lub II w. – pochówek z I lub II wojny światowej; mas. – masowy grób; centralnie – studnia położona w centralnej części cmentarza; część. – częściowo; cm. I w. – masowy grób położony na cmentarzu; mas., I w. – samodzielny masowy grób z I wojny światowej

Pierwszą turę próbek pobrano na cmentarzach lub w ich pobliżu, w okresie wiosenno-letnim, w miesiącach od V do VII 2002 roku. Natomiast drugą turę próbek, z tych samych miejsc, pobrano w okresie późnej jesieni (od X do XII) 2004 roku. Tak dobrane okresy gwarantują odmienną rozkładu temperatury, opadów, aktywności zwierząt żyjących w gruncie itp. Nie uwzględniono jednak wszystkich możliwych kombinacji czynników występujących w tych wybranych okresach, kiedy pobierano próbki. Okres wiosenno-letni jest w warunkach południowo-wschodniej Polski zdecydowanie wilgotniejszy w porównaniu z okresem późnej jesieni. Uzewnętrznia się ta prawidłowość w głębokości zalegania wody gruntowej (tab. 10). Zwierciadło wody podziemnej najczęściej obniżało się na terasie w okresie późnej jesieni, w: Gliniku z 3 m do 4 m, Cerekwi z 3 m do 4 m, Oświęcimiu z 3,3 m do 3,5 m oraz w Mikuszowicach na wydmy terasy z 5 m do 5,5 m. W kilku przypadkach poziom wody nieznacznie podniósł się. Na zboczu doliny Ropy w Bieczu głębokość do zwierciadła wody zmalała z 1,2 m do 1 m oraz w górnej części stoku Góry Cmentarnej w Gorlicach poziom wody podniósł się o 20 cm (tab. 10). W czasie pobierania próbek, w dniu 14.11.2004 roku było pochmurno, ale nie padało. Temperatura powietrza w południe wynosiła około 5 °C. Jednak nad ranem spadała poniżej zera. Kilka dni wcześniej lokalnie padało. Głównie tymi warunkami należy tłumaczyć nieznaczny wzrost stanu wody w tych dwóch studniach. Studnia w Gorlicach bardzo szybko reaguje na opady. Sprzyjają temu gliny średnie o znacznej przepuszczalności (tab. 11). Woda w tej studni w okresach suszy wysycha. Gospodarstwo z niej korzystające dowozi w tym okresie wodę z innego miejsca. Natomiast studnia w Bieczu położona jest na osuwisku, gdzie zwierciadło wody gruntowej leży płytko, na głębokości około 1 m. Poziom ten zmienia się szybko nawet po niewielkich opadach. W gospodarstwie korzystającym z tej studni nigdy nie brakło wody. Badania prowadzone na tym zboczu wskazują zarówno na bliskie, jak i dalekie pola alimentacji dla tej studni.

W badaniach dotyczących zmienności jakości chemicznej wody w czasie, uwzględniono studnie położone na:

- cmentarzach w Krakowie, Wojniczu i Mikuszowicach,
- w sąsiedztwie masowych grobów na terasach Wisły w Oświęcimiu – około 200 m od pochówku jeńców radzieckich oraz Ropy w Gliniku – około 15 m od grobu z I wojny,
- poniżej masowych grobów, w górnej części stoku Góry Cmentarnej w Gorlicach – 60 m od grobu z I wojny oraz w środkowej części zbocza doliny Ropy w Bieczu – 10 m od masowego grobu z I wojny (tab. 11).

Tabela 11. Położenie, okres pochówku i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów, w tych samych miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok), w różnym czasie

Studnie pomiędzy grobami lub obok nich, w miejscowości	Forma terenu	Osady pochówku	Starsze podłoże	Obecność masowego pochówku
Kraków-Prandoty (cm.) [*]	spłaszczenie stożka Prądnika	glina ciężka	miocen	II wojna
Kraków-Rakowice (cm.)	spłaszczenie stożka Prądnika	pylaste	miocen	I wojna
Kraków-Rakowice (cent.)	spłaszczenie stożka Prądnika	pylaste	miocen	I wojna
Wojnicz (cm.)	płaska terasa Dunajca	pylaste	miocen	I wojna
Glinik (obok)	nadzalewowa terasa Ropy	pylasto-żwirowe	jedn. ślaska	I wojna
Mikluszowice (cm.)	stok wydmy na terasie	piaski	miocen	I wojna
Cerekiew (cm.)	płaska terasa Raby	pylaste	miocen	brak
Oświęcim (obok)	płaska terasa Wisły	gliny	miocen	II wojna
Gorlice (obok)	górnny stok Góry Cmentarnej	glina średnia	jedn. ślaska	I wojna
Biecz (obok)	środkowa część zbocza Ropy, osuwisko	glina ciężka	jedn. ślaska	I wojna

^{*} cm. – na cmentarzu; obok – studnia położona w pobliżu masowych grobów; cent. – studnia położona w centralnej części cmentarza; jedn. – jednostka geologiczna

2.2. Charakterystyka środowiska fizycznogeograficznego 240 badanych pochówków

Charakterystykę środowiska badanych masowych grobów przeprowadzono metodą statystyczną, za pomocą programu Statistika, polegającą na grupowaniu grobów o podobnych właściwościach środowiska i grobów, w ich typy. W przeprowadzonej ocenie środowiska jednakowo traktowano wszystkie analizowane jego właściwości. Nie można zatem wyłącznie na tej podstawie oceniać wpływu właściwości poszczególnych typów środowisk grobów na zawartość produktów dekompozycji w podłożu. Charakterystyczne właściwości środowiska, które różnicują proces dekompozycji, wyróżniono w inny sposób. Poświęcono temu problemowi osobny rozdział. Na tym etapie poznania nie było podstaw do przyjęcia a priori istotnych właściwości, tak jak to jest celowe w typologii środowiska opartej na typach rzeźby (Starkel 1978). Z kolei German cechy wskaźnikowe zmienności geokompleksów wyznacza w wyniku grupowania uroczysk oraz ich zbieżności w przestrzeni z granicami „płatów” (German 1992).

Ostatecznie 240 badanych grobów pogrupowano według cech środowiska i pochówku na 7 grup. Grupę I stanowi 30 grobów (tab. 12) zlokalizowanych na terasach i lokalnych spłaszczeniach, przeważnie na suchym podłożu, lekko zapiaszczonym, na aluwjach, z grobami najczęściej nie porośniętymi, przeważnie trawiastymi, bez drzew, np. w Rudach Rysiach (fot. 7). W grobach tych, o stosunkowo niewielkiej powierzchni, pochowano przeważnie do 100 żołnierzy w czasie II wojny światowej.

Tabela 12. Grupa I 30 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
I wojna światowa (samodzielny)	Cieklin, Hunkowce, Zakrzów
I wojna światowa (na cmentarzu parafialnym)	Bochnia, Bochnia (Rozalii), Gawłów, Grobla, Kielce, 2 groby – Łapanów, Męcina, Kraków-Podgórze, Rudy Rysie
II wojna światowa (samodzielny)	Bór koło Głogowa Małopolskiego
II wojna światowa (na cmentarzu parafialnym, z I wojny ¹ lub żydowskim ³)	Bochnia (radz.), Bochnia (Polacy), Brzesko ¹ , Dąbrowa Tarnowska ³ , Dębica, Kielce, Nowy Sącz, Nowy Sącz ³ (Żydzi), Nowy Sącz ³ (Polacy), 2 groby przy Prandoty w Krakowie, Radłów, Rzeszów, Szczurowa, Tarnów ³
stary cmentarz parafialny	Żegocina

radz. – grób żołnierzy radzieckich.

Brzesko¹ – indeks górny przy nazwie miejscowości oznacza rodzaj cmentarza, na którym występuje masowy grób. Rodzaj tego cmentarza oznaczony jest takim samym indeksem w kolumnie „okres pochówku” np. z I wojny.

Grupa II to 39 masowych grobów położonych na piaszczystych terasach i spłaszczeniach w kotlinach, na progu Karpat i terasach nadzalewowych (tab. 13). W ich podłożu występuje najczęściej glina pylasta, ale można również często spotkać grubszą warstwę piasku. Groby te są okresowo podmokłe. W związku z dobrymi warunkami wilgotnościowymi są one w całości pokryte roślinami zielnymi. Lokalnie najczęściej rośnie na nich dąb i buk. W grupie tej zdecydowanie przeważają groby z I wojny światowej. Są to w połowie samodzielne masowe groby lub zlokalizowane na innych cmentarzach, np. w Mikłuszowicach (fot. 8).

Tabela 13. Grupa II 39 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
I wojna światowa (samodzielny)	3 groby – Biskupice Radłowskie, Bogucice, Dąbrowa Tarnowska, Glinik, Krzeczów, Niedary, Niedomice, Niwka, Otwinów, Pasięka Otwinowska, Sterkowiec, Stróżówka (przy drodze), Ujście Jezuickie, Waryś
I wojna światowa (na cmentarzu parafialnym lub przy grobie z II wojny ²)	Bielcza, Borzęcin, Dębica ² , Dębno, Gręboszów, Mikłuszowice, Lisia Góra, Pilzno, Radłów, Szczepanów, Szczurowa, Uście Solne, Wierzchosławice, Wietrzychowice, Wojnicz, Wola Rzędzińska, Zakliczyn, Żabno
II wojna światowa (samodzielny)	Niepołomice, Osikówka (Puszcza Niepołomicka), Podgórska Wola
II wojna światowa (na cmentarzu parafialnym)	Bochnia (cmentarz Rozalii)

Dębica² – indeks górny jak w tabeli 12

Grupa III to 27 masowych grobów położonych na wyższych terasach nadzalewowych i lokalnych spłaszczeniach, pozbawionych w podłożu piasku, ale z pylastymi glinami podścielonymi aluwiami (tab. 14). Są to duże groby z II wojny światowej, o wyrównanej powierzchni i o dużym zagęszczeniu i zagospodarowaniu, np. w Baligródzie (fot. 9). Na ich powierzchni przeważają głównie rośliny zielne. Lokalnie rosną na nich sosny i świerki. Próby do analiz pobierano w tych grobach w znacznej odległości od górnej krawędzi grobu lub z jego skrajnej części. Ze względu na emisję zanieczyszczeń w większych miastach, powietrze nad badanymi pochówkami jest średnio zanieczyszczone.

Tabela 14. Grupa III 27 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
I wojna światowa (samodzielny)	2 groby w Tarnowie
I wojna światowa (na cmentarzu parafialnym ^p lub przy kirkucie ³)	Brzesko ³ , Cerekiew ^p , Jasło ^p , Kielce ^p , Krosno ^p , Nowy Sącz ^p , 2 groby w Krakowie na Rakowicach
II wojna światowa (samodzielny)	Baligród, Dębica, Nowy Sącz, Olchowce, Pustków, Rzeszów
II wojna światowa (na cmentarzach: parafialnym ^p , żydowskim ³ lub wojskowym ²)	Dąbrowa Tarnowska ³ , 2 Kielce ^p , Przemyśl ³ , 2 groby w Krakowie ² przy ul. Prandoty
cmentarz parafialny ^p lub żydowski ³	Niedzieliska ^p , Nowy Sącz ³ , Tarnów ^p (stary), Tarnów ³ , Szczepanowice ^p

Cerekiew^p – indeks górny jak w tabeli 12, 13

Grupa IV to 51 grobów zlokalizowanych przeważnie na wierzchowinach, w górnych częściach stoków i lokalnych spłaszczeniach o niewielkim nachyleniu (tab. 15). W podłożu tych grobów występują piaskowce, względnie łupki i to przeważnie z jednostki śląskiej i skolskiej. Próby z tych grobów pobierano głównie z glin pylastych oraz w mniejszym stopniu z glin średnich i lekkich. Podłoże ich jest przeważnie suche, na pewno nie podmokłe, np. w Gorlicach (fot. 10). Są to groby z I wojny światowej, przeważnie samodzielne. Najczęściej powierzchnię grobów porasta trawa. Rosną na nich również różnego gatunku drzewa liściaste i iglaste. Lokalnie zajmują one nawet duże powierzchnie. Groby te otaczają grunty orne, łąki oraz lasy. Znikome jest zatem zanieczyszczenie powietrza nad tymi grobami.

Tabela 15. Grupa IV 51 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
1	2
I wojna światowa (samodzielny)	Biecz (od Libuszy), Bierówka, Bistuszowa, Dąbrówka, Folsz, Gorlice (Góra Cmentarna), Harkłowa, 2 groby – Lichwin Gródek, Lichwin Wał (ekspozycja na S), 2 groby – Lubcza, 3 groby – Łąka Dolna, Meszna Opacka, Muchówka, Ołpiny, Ostrusza (wierzchowina), Raclawice, Rajbrot, 2 groby – Ropica Górna, Rożnowice, Ryglice, 3 groby – Staszkówka, Stróżówka (stok), Szymbark (szpital), 3 groby – Tuchów, Wapienne, Zonia

1	2
I wojna światowa (na cmentarzu parafialnym)	Bieżdziatka, Binarowa, Brzostek, Dębowiec, Kołaczyce, Nowy Wiśnicz, Przemyśl, Sobolów, Stary Wiśnicz, Szymbark
II wojna światowa (samodzielny)	Brzozów, Leksandrowa, Warzyce
II wojna światowa (na cmentarzu parafialnym ^p lub wojskowym ²)	Przemyśl ² , Zasław ^p
cmentarz żydowski	Lesko

Przemyśl² – indeks górny jak w tabeli 12, 13, 14

Grupa V to 36 masowych grobów położonych na lokalnych spłaszczeniach, ograniczonych przeważnie progiem (tab. 16). W podłożu pochówków dominują piaskowce i łupki jednostki śląskiej, skolskiej i magurskiej. Ponad nimi rozwinęły się pokrywy zwietrzelinowe wykształcone w postaci glin pylastych, lekkich i średnich. Na grobach tych, tylko po nawalnych opadach, krótko zalega woda, np. przy ulicy Łokietka w Gorlicach (fot. 11). Ich powierzchnia jest przeważnie w całości pokryta trawą. Na większości z nich występuje dużo drzew. Są to przeważnie drzewa liściaste: klon, akacja lub jesion. W otoczeniu tych pochówków występują głównie grunty orne i łąki. W nielicznych przypadkach groby te sąsiadują również z cmentarzami. Powietrze jest zanieczyszczone nad tymi grobami w niewielkim stopniu.

Tabela 16. Grupa V 36 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
I wojna światowa (samodzielny)	Jasło, Biecz, Bieżdziatka, Deszna, Długie, Gorlice, 2 groby – Grab, Grabina, Jaszczew, Krempna, Męcina (od Sękowej), Nieprzeźnia, Ropica Dolna, Rzuchowa, Rozdziele, 2 groby – Stróżówka (od Gorlic), Szczepanowice, Szymbark, 3 groby – Tuchów, Zagórzany, Żegocina
I wojna światowa (na cmentarzu parafialnym)	Nowy Żmigród, Ożenna, Przeczyce, Radocyna, Szczepanowice, Tarnowiec, Trzciana
II wojna światowa (samodzielny)	Barwinek, Hałbów, Załuż
II wojna światowa (na innych cmentarzach)	brak
cmentarz żydowski	Biecz

Grupa VI to 45 masowych grobów zajmujących lokalne spłaszczenia położone w różnych częściach stoków (tab. 17). Nachylenie tych spłaszczeń wynosi przeważnie do 5 stopni, ale zdarzają się także większe nachylenia, maksymalnie do 10 stopni. Najczęściej stoki, na których zlokalizowano groby, mają profil schodkowy. Przeważnie pochówków dokonywano w glinach ciężkich. Ich podłoże posiada zatem zróżnicowaną wilgotność w czasie i przestrzeni. Okresowo jest to nawet lokalnie duże zawilgocenie. Na grobach tych brakuje drzew. Natomiast w ich otoczeniu dominują lasy lub łąki, np. na Magurze Małastowskiej (fot. 12). Są to przeważnie duże masowe groby. Próby do analiz pobierano w dolnej ich

części, w odległości od 10 m do 40 m od górnej krawędzi, w zależności od rozmiarów pochówków.

Tabela 17. Grupa VI 45 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wybrane groby
I wojna światowa (samodzielny)	2 groby – Biecz, Cieklin (las), Lesko, Leszczyna, Lichwin Wał (ekspozycja na N), Łowczówek, 4 groby – Łuzna, Łysa Góra, Małastów, Mszanka, Ostrusza (przy drodze), Potok, Przełęcz Małastowska, 2 groby – Przemyśl, Ropica Górna (dolny stok), Sękowa, Staszkówka – Ostaszkówka, 2 groby – Stróżówka (ekspozycja na N), Szeżyny, Warzyce, Wola Cieklińska, Wola Nieszkowska, Zborowice
I wojna światowa (na cmentarzach, parafialnym ^p lub przy grobie z II wojny ²)	Czarne ² , Dukla ² , Ropa ^p , Żegocina ^p
II wojna światowa (samodzielny)	Bochnia (Uzbornia), Dębica (radz.), Hunkowce (wehr.), Komarnik (Słowacy i Czesi), Bierówka (jeńcy radz.), Rymanów (jeńcy radz.), Skrzyszów (Polacy), Świdnik (radz.)
II wojna światowa (na cmentarzu parafialnym ^p lub przy pochówku z I wojny ⁴)	Czarne ⁴ , Dukla ⁴ , Rymanów ^p
cmentarz żydowski	Bircza

radz. – masowy grób żołnierzy radzieckich, wehr. – masowy grób żołnierzy Wehrmachtu, Czarne² – indeks górny jak w tabeli 12, 13, 14, 15, 16

Grupa VII to 12 grobów zajmujących przeważnie niewyrównane stoki, lekko nachylone, maksymalnie do 5 stopni (tab. 18). Groby te są położone na zaprożu progów lub na skłonach lokalnych spłaszczeń w dnie kotlin. Górne części ich profili glebowych zawierają dużo piasku, pod którym na różnej głębokości zalegają ily mioceńskie, np. w Pustkowie (fot. 13). Podłoże grobów cechuje zatem zróżnicowana wilgotność w czasie i przestrzeni. Najczęściej jest suche, ale w okresach wilgotniejszych zdecydowanie podnosi się w nich poziom wody gruntowej, sięgając nawet pochówków. Ich powierzchnia jest przeważnie pokryta trawą, na której sporadycznie występują drzewa. W grobach tych pochowano dużą liczbę ludzi, którzy umarli z różnych powodów. Tylko sporadycznie powodem zgonu była kula frontowa, natomiast częstą przyczyną śmierci było rozstrzelanie. Masowe groby z tej grupy mają więc rozległe powierzchnie. Próby do analiz pobierano daleko od górnej ich krawędzi w odległości ponad 40 m.

Tabela 18. Grupa VII 12 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk

Okres pochówku	Miejscowości, w których znajdują się wyróżnione groby
I wojna światowa (samodzielny)	Błonie, Przyborów
I wojna światowa (na innych cmentarzach)	brak
II wojna światowa (samodzielny)	Przemyśl (wehr.), Baczków , Bór (Żydzi), 2 groby w Krakowie-Płaszowie (Żydzi), Pustków, Zbylitowska Góra (Żydzi)
II wojna światowa (na innych cmentarzach)	brak
cmentarz parafialny ^p lub żydowski ³	Kraków-Płaszów ³ , Wietrzychowice ^p (stary, nieczynny), Żabno ³

wehr. – masowy grób żołnierzy wehrmachtu, Płaszów³ – indeks górny jak w tabeli 12, 13, 14, 15, 17

Odległości wiązań między siedmioma grupami grobów, ustalonymi ostatecznie metodą grupowania k-średnich, dla 5 cech 26 właściwości 245 pochówków, wskazują na duże podobieństwo pomiędzy grupami: I, II i III oraz pomiędzy grupami IV, V i VI (tab. 19). Jedyne grupa VII, składająca się z 12 grobów wykazuje największe różnice względem pozostałych grup, a szczególnie wobec grupy V wraz z 36 grobami, z odległością wiązań 1,35. Ponadto duże różnice dotyczą pary grup: I i VI z odległością wiązań 1,33 oraz pary I i IV z odległością wiązań 1,32. Pierwsze 3 grupy wykazują duże podobieństwo, szczególnie pod względem rzeźby terenu. W II grupie w podłożu dużej liczby grobów występuje piasek. W dwóch pozostałych dominują aluwia. Różne natomiast jest ich pokrycie drzewami i roślinami zielnymi. Na grobach w grupie I brak jest drzew, natomiast w dwóch pozostałych grupach lokalnie występuje ich skupisko. W grupie II są to głównie: dąb, buk oraz grab, a w III sosna i świerk. Pokrycie roślinami zielnymi powierzchni pochówku jest całkowite na grobach grupy II. Na grobach grupy I i III tego typu roślinność występuje sporadycznie.

Tabela 19. Odległości wiązań pomiędzy 7 grupami wyróżnionymi w grupowaniu metodą k-średnich

Grupy	I	II	III	IV	V	VI	VII
I	0	0,75	0,99	1,32	1,1	1,33	1,12
II	0,75	0	0,9	1,11	0,92	1,27	1,14
III	0,99	0,90	0	1,28	1,19	1,29	1,07
IV	1,32	1,11	1,28	0	0,75	0,77	1,18
V	1,1	0,92	1,19	0,75	0	0,87	1,35
VI	1,33	1,27	1,29	0,77	0,87	0	1,07
VII	1,12	1,14	1,07	1,18	1,35	1,07	0

Porównywane groby z grupy I, II i III różnią się także charakterystykami pochówku. W grupie II dominują groby z pierwszej wojny światowej, z kolei w dwóch pozostałych grupach z drugiej wojny. Grupę III wyróżnia większa liczba pochowanych, od 1001 do 10 000, podczas drugiej wojny światowej oraz większa powierzchnia grobu, powyżej 3000 m². Inny w tej grupie był również powód śmierci. Dla znacznej części ludzi powodem śmierci były odniesione rany oraz uszkodzenia frontowe, przeważnie przez kule. Ponadto pochówki w grupie III prowadzono nie tylko w jednym masowym grobie, ale w ich pobliżu chowano zmarłych również w pojedynczych grobach. Obecne zagospodarowanie terenu na tego typu grobach jest duże lub lokalnie duże. Z kolei małe zagospodarowanie jest w grupie I i II. Ze względu na lokalizację w dużych miastach, zanieczyszczenie powietrza nad grobami z grupy III jest znacznie większe.

Odległości wiązań między grupami wskazują natomiast na duże podobieństwo grup: IV, V i VI. Groby z danych grup posiadają w podłożu piaskowce i łupki. W grupie VI dominuje zdecydowanie przy powierzchni glina ciężka, w przeciwieństwie do grupy IV i V, gdzie sporadycznie występuje piasek i glina ciężka. Wyróżnia się natomiast glina pylasta. Takie podłoże jest przeważnie suche. Zróżnicowana w czasie i przestrzeni wilgotność dotyczy natomiast glin ciężkich (grupa VI). Groby z tej grupy zlokalizowane są przeważnie w dolnych częściach stoków. Powyżej grobów stoki posiadają nachylenie nawet do 10 stopni. Natomiast od niżej położonego terenu oddziela je najczęściej próg. Sytuacja jest podobna, jak w grobach grupy V, które leżą na lokalnych spłaszczeniach. Najwyżej położone są groby grupy IV. Są one umiejscowione na wierzchołkach lub górnych częściach stoków. Z kolei groby z grupy V najczęściej położone są poziomo. Groby z dwóch pozostałych grup mają przeważnie ekspozycję N lub S. Zróżnicowanie między grobami grupy IV, V i VI dotyczy także pokrycia grobów. W grupie VI dominują groby o małym pokryciu roślinami, z małą liczbą drzew, otoczone lasem. Na grobach w grupie V i VI rosną różne drzewa, lokalnie o dużej koncentracji. W ich otoczeniu występują pola i łąki.

Ostatnia VII grupa grobów wykazuje największe różnice względem pozostałych grup grobów. Grupa ta jest najbardziej podobna do III i VI. Podobieństwo dotyczy głównie wielkości powierzchni grobów – powyżej 3000 m²; niewielkiego nachylenia ich powierzchni; wyrównania powierzchni – falista powierzchnia; miejsca poboru próby – dolne części cmentarza; dalekiej odległości od krawędzi; pokrycia prawie całej powierzchni grobu trawą.

Teoretyczny grób wyznaczony metodą najczęstszej liczebności, za pomocą programu Statistika 5.1 dla 245 grobów charakteryzują najbardziej typowe cechy (tab. 20): grób z pierwszej wojny światowej, występujący samodzielnie (1), liczba pochowanych – od 101 do 500 osób (2), powierzchnia grobu – od 101 m² do 500 m² (3), powód śmierci to rana od bagnetu lub kuli (4), rodzaj pochówku – grób masowy z pojedynczymi grobami (5), małe zagospodarowanie cmentarza (6), prawie pozioma powierzchnia grobu (7), nie ograniczona załomami terenu na zewnątrz (8, 9), groby najczęściej zlokalizowane na Pogórze (10), położone na lokalnych spłaszczeniach (11), o powierzchni wyrównanej (13), próba najczęściej pobierana była w odległości od krawędzi górnej cmentarza – od 10 m do 20 m (15), podłoże stanowiły przeważnie ily miocenu oraz piaskowce i łupki jednostki śląskiej (16, 17), próbę pobierano najczęściej z poziomu gliny pylastej – jakkolwiek

próby z innych typów podłoża były liczbowo podobne (18), podłoże gleby było suche (19), przeważnie na całym grobie (20), groby najczęściej pokryte były całkowicie roślinami zielnymi, a szczególnie trawą (21, 22), na znacznej części grobów rosły drzewa lub często było ich brak (23, 24), najczęściej rósł dąb i buk (23), wokół grobu występowała zabudowa cmentarna lub pola i łąki (25), zanieczyszczenie powietrza nad masowymi grobami było najczęściej niewielkie (26).

Tabela 20. Liczebności dla 5 cech 26 właściwości środowisk 245 grobów

Numer właściwości ¹	Wartość cechy ²												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	112	71	22	32	74	15	117	82	131	25	29	41	87
2	57	91	85	155	130	32	93	82	80	39	47	48	67
3	61	33	41	27	22	32	26	21	20	84	28	25	67
4	8	35	48	26	14	128	6	60	6	23	55	24	3
5	7	15	49	5	5	38	3	0	8	74	86	107	21
Najczęstsza cecha	1	2	2	2	2	4	1	1/2	1	3	5	5	1
Numer właściwości ¹	Wartość cechy ²												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	1	14	99	131	46	96	159	144	15	76	23	57	9
2	76	31	3	30	44	54	20	56	29	60	48	13	37
3	103	73	35	24	39	52	52	28	179	39	75	75	66
4	61	65	99	51	79	40	11	17	14	24	23	23	55
5	4	62	9	9	37	3	3	0	8	46	76	77	78
Najczęstsza cecha	3	3	1/4	1	4	1	1	1	3	1	5	5	5

^{1,2} – Nazwy właściwości środowiska i grobów oraz wartości wyróżnionych cech podano w tabeli 3.

2.3. Warunki oksydacyjno-redukcyjne podłoża wybranych grobów

Potencjał redoks oraz pH są istotnymi wskaźnikami przemian chemicznych i biologicznych w glebie (Patrick 1964; Gliński, Duliban 1972; Grabińska-Loniewska 1998; Łabuda i inni 2000). O zakresie procesów fizyczno-chemicznych decyduje wielkość tego potencjału oraz jego spadek w ciągu doby. Potencjał Eh zawiera się w przedziale od (-300) mV do (+800) mV (Kowalik 2001). Dolna granica odpowiada pełnym i długotrwałym warunkom anaerobowym często z silnie antyutleniającymi właściwościami. W tych warunkach następuje redukcja związków zawierających związany tlen. Natomiast środowisko, gdzie Eh sięga górnej granicy, jest dobrze natlenione. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że dodatnie wartości Eh występują w środowisku utleniającym, wartości zaś ujemne Eh w środowisku redukującym. Parametr Eh zależy jednak od pH roztworu. Jest on bardziej skomplikowanym czynnikiem niż pH substancji, pomimo że od pH także zależy stężenie form zredukowanych i utlenionych. W środowisku, gdzie pH = 7, w przedziale Eh od (+320) mV do (+340) mV, brak jest wolnych cząsteczek tlenu. Ulegają one bowiem całkowitej redukcji. Poniżej tego przedziału, w miarę spadku Eh, następuje kolejno redukcja chemiczna: związków azotu, np. NO_3^- , NO_2^- do NH_3 , przy Eh od (+180) mV do (+200) mV, związków żelaza, przy Eh od (+100) mV do (+200) mV, związków siarki do siarkowodoru, przy Eh od (-100) mV do (-200) mV, a przy jeszcze niższych wartościach Eh redukcja związków węgla do metanu.

Łabuda (1995, 1998, 1999) wykazuje, że jeśli spadek potencjału redoks przekracza 25 mV/dobę, to podatność gleb na redukcję jest znacznie większa. Odporność gleb na redukcję zależy także od czasu potrzebnego do osiągnięcia określonej wartości potencjału redoks. Dla redukcji różnych związków są to charakterystyczne wartości, np. azotanów t_{400} lub redukcji związków żelaza t_{300} (Gliński, Stępniewska 1986; Stępniewska 1988).

W badanych profilach pojemność sorpcyjna podłoża jest znacznie zróżnicowana. Od jej małej pojemności w koloidach mineralnych do kilkadziesiąt razy większej w górnych warstwach profilu, gdzie występuje próchnica. Wzrost pojemności sorpcyjnej gleby oraz zwiększenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami związany jest również z wprowadzeniem do podłoża substancji organicznej w postaci pochówku. Procesy dekompozycji ciał prowadzą do wzrostu w podłożu między innymi azotu. Utrzymywanie się azotu na relatywnie wysokim poziomie skutkuje spadkiem zawartości kationów zasadowych w glebie oraz obniżeniem stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby. Procesy te są konsekwencją zwiększenia kwasowości hydrolitycznej w tym środowisku. Wysokie stężenia azotu w podłożu są czynnikiem redukującym i wpływają na obniżenie potencjału oksydoredukcyjnego. Generalnie jednak wartości potencjału redoks nie zmieniają się istotnie pod wpływem większych ilości substancji organicznej, w tym azotu (Mazurkiewicz 2002). O zmianie potencjału redoks w znacznie większym stopniu decydują właściwości podłoża.

W okresie badań w podłożu, do którego złożono ciała zabitych, utrzymywały się zdecydowanie utleniające warunki w związku z wyraźnym obniżeniem po-

ziomu wody gruntowej. Takie warunki gwarantowały duże podobieństwo czynników zewnętrznych panujących w środowisku badawczym. Jedynie w środowiskach zdecydowanie wilgotnych uzewnętrzniły się procesy redukcyjne. Wysoki poziom wody gruntowej występował podczas wstępnych badań, które miały miejsce w roku 1997 oraz w mniejszym stopniu w roku 2000 i 2001. W tych wilgotnych okresach dominowały procesy redukcyjne. W wielu masowych grobach mierzony potencjał redoks charakteryzował się znacznie niższymi wartościami Eh.

Potencjał oksydacyjno-redukcyjny oceniono za pomocą wskaźnika rH Clarka (tab. 21). Ten syntetyczny wskaźnik uzależniony jest od Eh i pH. W sensie fizycznym rH Clarka jest ujemnym logarytmem z ciśnienia wodoru. Pozwala on ocenić siły redukcyjno-utleniające w wodzie lub osadzie. Jego skala wartości mieści się w granicach od 0 do 42. Wartości mniejsze niż 15 uważa się za redukujące, czyli znajdujące się w obszarze zagniwania. Natomiast przy wartościach większych niż 25 lub według innych 28, w środowisku zachodzą procesy utleniania, tak jak w osadzie czynnym.

Tabela 21. Grupowe zestawienie masowych grobów, na podstawie wielkości wskaźnika rH, pomierzonego w podłożu ponad pochówkiem

Potencjał wyrażony w postaci rH	Masowe groby ustawione w kolejności rosnącej wartości rH
rH od 6,4–15	Dębowiec I*, Radocyna I, Długie I, Dębica II, Zasław II, Przeczycza I, Bierówka I, Cieklin (kurhan) I, Cieklin I, Załuż II, Dębica I, Dębica (radz.) II, Potok I, 1 Bieżdziadka I, Nowy Wiśnicz I, Grabina I, Dębica (Wolica) II, Stary Wiśnicz I, Sterkowiec I, 2 Bieżdziadka I***, Olchowce II, Ożenna I, Przemyśl I, Leksandrowa I, Wola Cieklińska I, Brzesko I, Ropica Grn. 78**, Trzciana I, Podgórska Wola II, Nieprzeźnia I, Ropica Grn. 68, Ropica Grn. 67, Przemyśl I, Bircza (żyd.) II, Małastów I, Leszczyna I, Skrzyszów II, Ropica Polska I,
rH od 15–25	Zborowice I, Gorlice – ul. Łokietka I, Brzozów II, Tarnowiec I, Staszkówka 119, Staszkówka 117, Staszkówka 118, Krosno I, Staszkówka Dawidówka I, Folusz I, Łużna I, Borzęcin I, Przemyśl II, Ostrusza 143, Czarne I, Ostrusza 142, Ropa I, Czarne II, Brzesko II, Warzyce II, Bielcza I, Sękowa I, Sobolów I, Baczków , Rozdziele I,
rH od 25–31,1	Stróżówka 92, Zagórzany I, Przemyśl II, Stróżówka 94, Przemyśl I, Stróżówka 97, Stróżówka 93, Stróżówka 95, Wapienne I, Lesko I, Dukla I, Biadoliny I, Krajowice I, 1 Łapanów I, Jaszczew I, Szczepanów I, Stróżówka 96, 1 Bór II, Wola Nieszkowska I, 2 Łapanów I, Dukla II, Lesko (żyd.) II, Przemyśl (żyd.) II, Pustków (prochy) II, Świdnik II, Zonia I, Męcina Wielka I, 2 Bór II, Przełęcz Małastowska I, Rzeszów (radz.) II, Hunkowce I, Pustków II, Rzeszów II, Męcina (masarnia) I, Hunkowce II, Przyborów I, Szymbark 73, Szymbark (parafialny) I, Zbylitowska Góra II, Komarnik II, Grab 4, Szymbark (Bielany) I, Grab 5, Waryś I, Baligród II, Oświęcim II, Barwinek II.

* Cyfra rzymska „I” lub „II” podana za nazwą miejscowości informuje o pochodzeniu grobu, z I lub II wojny światowej,

** Liczby podane za nazwą miejscowości wskazują na numer ewidencyjny cmentarza z I wojny.

***Cyfra przed nazwą miejscowości wskazuje na większą ilość grobów,

Skrót: radz. – grób żołnierzy radzieckich, żyd. – grób Żydów,

Nazwy i określenia w nawiasach uściślają lokalizację i rodzaj pochówku.

W grupie grobów o warunkach utleniających znalazły się duże masowe pochówki: z I i II wojny w Dukli i Hunkowcach, dwa z II wojny z Boru, radziecki z II wojny w Rzeszowie, dwa żydowskie w Zbylitowskiej Górze i Barwinku, żołnierzy z II wojny w Baligrodzie, jeńców radzieckich w Oświęcimiu itp. (tab. 21). W podłożu tych grobów stwierdzono stosunkowo wysokie zawartości pierwiastków. Stan środowiska badanych pochówków oraz zmienność jego warunków na przestrzeni ponad 60 i 80 lat sprzyjają dużej zmienności w czasie potencjału redoks wyrażonego w postaci pH lub rH. Szczególną uwagę zwrócono zatem, nie lekceważąc znaczenia tych mierzonych parametrów w podłożu pochówków, na cechy 26 właściwości środowiska (tab. 3). Te analizowane cechy, np. możliwość zalewania pochówku w czasie opadów i zalegania na nim wody, wskazują na potencjalną możliwość wystąpienia procesów redukcji.

3. Stan dotychczasowych badań

Badania prowadzone na świecie nad wpływem cmentarzy na środowisko dotyczą przede wszystkim oceny jakości wód gruntowych w warstwie aeracji i saturacji, wód powierzchniowych, podłoża i powietrza (Environmental Agency 2002; Spongberg, Becks 2000a,b). Są one prowadzone zarówno na cmentarzach, jak i w różnych odległościach od nich (Schrapls 1972; Żychowski i inni 2000b). Monitorowanie wody odbywa się według uznania badaczy lub według zaleceń urzędowych. Na Wyspach Brytyjskich praktyka ta nawiązuje do badań jakości wody gruntowej w miejscach, gdzie składowane są odpady. Zalecenia te zawarte są w „Guidance on Monitoring of Landfill Leachate, Groundwater and Surface Water” (Dumble, Ruxton 2000). Natomiast badanie podłoża zalecane jest poniżej poziomu pochówku na głębokości 0,5 m (Creely 2004) lub na głębokości 1 m (Environmental Agency 2002).

Chemizm wód gruntowych zalegających pod cmentarzem jest wypadkową wszystkich pochówków. W wielu przypadkach, szczególnie tam, gdzie podłoże jest nieprzepuszczalne, badacze nie znają nawet dróg krążenia wody (Knight, Dent 1998). Coraz częściej w tego typu badaniach miejsc pochówku wykorzystuje się różne techniki pomiarowe nawiązujące do badań archeologów, np. elektrooporowe, geofizyczne i inne (Mendes i inni 1989; Carvalho Junior, Silva 1997; Braz, Beckmann, Silva 2000; Bastianon i inni 2000).

Większość profesjonalnych badań wykorzystuje piezometry, które powinny być umieszczone wzdłuż linii spadku hydraulicznego wody podziemnej. Często jednak trudno spełnić te zalecenia. Do badań jakości wody gruntowej wykorzystuje się rowy, studnie na cmentarzach, studnie odwadniające lub studnie położone przy gospodarstwach zlokalizowanych w pobliżu cmentarzy (Chan i inni 1992; Żychowski i inni 1997; 2000a,b; 2003). Zanieczyszczenie środowiska przez cmentarze może być zakłócone wpływem innych naturalnych lub antropogenicznych czynników (Dent 2000), szczególnie wtedy, gdy bada się jakość płytkich wód gruntowych (Rodiguez, Pacheco 2003).

Badania prowadzone nad tym problemem wskazują, że zanieczyszczenia opuszczają cmentarz (Knight, Dent 1998; Żychowski i inni 2000b). Większość badaczy ocenia zanieczyszczenia, porównując wyniki badań prowadzonych na cmentarzach z tzw. tłem, czyli z wynikami uzyskanymi w miejscach naturalnych. Ten sposób oceny też nie jest pozbawiony wad. Problemy wynikają z różnic we właściwościach podłoża pomiędzy cmentarzem a porównywanymi miejscami, uznanymi za naturalne lub ze względu na mały spadek hydrauliczny poziomu wody podziemnej (Knight, Dent 1998; Creely 2004). Sporadycznie w tych badaniach wykorzystuje się ekshumację zwłok (Forbes 2002; Trick i inni 1999).

Tego typu prace są konieczne w przypadku badań dotyczących jadu trupiego, czyli produktu rozkładu tłuszczu. Badania te związane są ze specjalistycznym sprzętem, chromatografem jonowym i spektroskopem atomowym (Forbes i inni 2003; Stuart i inni 2000).

Metodyka badań wody gruntowej na cmentarzach nawiązuje między innymi do opracowania „Advisory Committee on Dangerous Pathogens and the Spongiform Encephalopathy” (Advisory Committee 2003). Większość badań traktuje cmentarze jako „czarną skrzynkę” (Dent 2000b). Materiałem wyjściowym są produkty rozkładu zgromadzone w granicach cmentarza. Natomiast wyjściem są składniki zanieczyszczenia środowiska opuszczające cmentarze. Na świecie prowadzi się mało badań nad wpływem miejsc pochówku na środowisko. Najwięcej prac z tego zakresu przeprowadzono w Europie i Ameryce Północnej (Young i inni 1998; Creely 2004). Dotyczyły one głównie niemetalicznych zanieczyszczeń. Obecnie tego typu badania są intensywnie rozwijane szczególnie w Australii (Knight, Dent, Forbes, Stuart), Brazylii (Pacheco, Matos, Bastianon, Silva, Mendes, Batello, Gamba, Pellizari), Republice Południowej Afryki (Croukamp, Fisher, Richards, Tumagole) oraz w mniejszym zakresie w Nowej Zelandii (Selket), Wielkiej Brytanii (Trick, Noy), Portugalii (Rodrigues), Kanadzie (Chan, Scafe, Emami), Stanach Zjednoczonych (Spongberg, Becks) oraz w Polsce (Żychowski, Pawlikowski, Lach, Kolber). Ponadto kilku uczonych opracowało raporty na ten temat, np. Ucisik, Rushbrook, Creely, Morgan i inni.

Za prekursora badań nad wpływem pochówków na środowisko uważa się van Haarena z Holandii (van Haaren 1951). Pomierzył on w płytce zalegającej wodzie gruntowej, bez oceny gleby, wysokie stężenia kilku jonów, np.: chlorków – 500 mg/l, siarczanów – 300 mg/l, dwuwęglanów – 450 mg/l oraz wysokie przewodnictwo elektryczne – 2300 μ S/cm. Tak wysokie stężenia jonów potwierdzono także w Niemczech, w bezpośrednim sąsiedztwie grobów, na głębokości 50 cm poniżej pochówków (Schraps 1972). Badania te koncentrowały się głównie na zmianie stężeń jonów, w zależności od odległości od cmentarza i nachylenia jego powierzchni. Uwzględniały zawartość w wodzie podziemnej jonów amonowych i azotanowych, dwutlenku węgla, chemiczne zapotrzebowanie wody na tlen oraz stężenia lotnego amoniaku. Ustalono, że zawartości zanieczyszczeń szybko zmniejszają się wraz z odległością od grobów. Ponadto Schraps stwierdza w sąsiedztwie pochówku dużo bakterii. Z kolei Mulder (Muller 1954 za Bouwer 1978) dostrzegł jeszcze w roku 1954 w studniach położonych blisko cmentarzy w Paryżu słodki smak wody i odór oraz potwierdził wzrost zachorowań na tyfus brzuszny w podobnym miejscu w Berlinie. Badania prowadzone w Hamburgu nie stwierdzają zanieczyszczeń, ale w badanym miejscu warstwa aeracji ma stosowną miąższość – 0,7 m i sprzyja temu podłoże (Hanzlick 1994). Prawidłowość zmniejszania się zanieczyszczeń wraz ze wzrostem odległości od cmentarza potwierdził również zespół Graya, prowadzący badania w Anglii i Walii (Gray i inni 1974). Zauważyli oni mały spadek tych stężeń do odległości od 100 m do 200 m od cmentarza. Natomiast w dalszej odległości, według tych badaczy, występuje gwałtowny ich spadek. Badania tego zespołu zwracają uwagę na wysokie stężenia chlorków w pobliżu i pod pochówkami.

W Polsce również zwrócono uwagę na ten problem (Żychowski i inni 1996, 1997, 2000a,b, 2001a,b, 2003). Badania te skupiły się wokół występowania wybranych jonów oraz aminokwasów, związanych z pochówkiem, w wodach podziemnych zarówno na, jak i w okolicach cmentarzy. Ponadto dostrzeżono szkodliwy wpływ masowego grobu na środowisko (Żychowski 2000c,d).

Problem cmentarzy okazał się także istotny dla rządu w Wielkiej Brytanii. Badania prowadzone w innych krajach oraz lokalnie wysokie stężenia formaldehydu – 8,6 mg/l w wodzie, stwierdzone w pobliżu świeżo zakopanego pochówku w roku 1992, w Northood Cemetery w zachodnim Londynie, zachęciły rząd tego kraju do zlecenia badań British Geological Survey i Environment Agency. Pierwsze badania przeprowadzono na starym, nieczynnym od 20 lat, XIX-wiecznym cmentarzu Carter Gate Cemetery w Nottingham o powierzchni 3500 m². Stwierdzono tam niewielkie zanieczyszczenie środowiska kilkoma jonami: siarczanowymi, chlorkowymi, sodu oraz sporadycznie jonami fenolu i cynku (Trick i inni 1999). Powodem małego zanieczyszczenia wód gruntowych była strefa aeracji o znacznej miąższości. W strefie tej, w kolorowo przebarwionym gruncie, stwierdzono większe stężenia: P, Ca, Cu i Zn. Natomiast woda pobrana ze strefy aeracji zawierała na głębokości od 2 m do 3 m, przy obojętnym pH, większe stężenia jonów: siarczanowych, chlorkowych, potasu, manganu, magnezu, sodu i wapnia oraz znaczne ilości całkowitego węgla organicznego i amoniaku. Amoniak ten uznano za główną substancję pochodzącą z grobów. Migruje on szybciej w stosunku do wolniej przemieszczających się, np. jonów chlorkowych, siarczanowych i sodu. Jony te też pochodzą z grobów, ale – według badaczy – prawdopodobnie migrują w ciągu 20 lat przez strefę aeracji. Część tych zanieczyszczeń pochodzi z innych źródeł, np. Mn uwalnia się podczas redukcji piaskowców triasowych, natomiast B, a nawet częściowo P i metale ciężkie migrują z przeciekających kanałów. W badanej pod pochówkami strefie nienasyconej wykazano także wyższe koncentracje substancji organicznych pochodzenia antropogenicznego, np. chlorowane węglowodory z przemysłowych rozpuszczalników, ftalany oraz wolne kwasy tłuszczowe. Zarówno wykazane ilości badanych kwasów, podwyższone zawartości amoniaku, jak i innych rozpuszczonych substancji nie wskazują, jak twierdzą badacze, na duży wpływ tego cmentarza na środowisko (Trick i inni 1999).

Znacznie większe zanieczyszczenia chemiczne i bakteriologiczne występują na współczesnym cmentarzu w Wolverhampton (Trick i inni 2001). W niżej położonej części tego cmentarza stwierdzono wysokie stężenia jonów: chlorkowych, siarczanowych, sodu i wapnia. Z kolei w środkowej jego części dominowały jony: azotanowe, siarczanowe, wodorowęglanowe, węglanowe oraz potasu i magnezu. Zdecydowanie największe zanieczyszczenia wystąpiły w piezometrze sięgającym płytkich wód gruntowych. W miejscu tym zaobserwowano również dużą zmienność koncentracji jonów w czasie: siarczanowych, sodowych, chlorkowych oraz zawartości całkowitego węgla organicznego. Ponadto okresowo wystąpiły tu również wysokie stężenia większej ilości jonów: amonowych, miedzi, manganu, cynku, żelaza oraz węgla organicznego. Wyjątkowo w tej płytce zalegającej wodzie odnotowano również obecność pierwiastków śladowych, w tym arsenu. Natomiast w innym piezometrze wykryto wysoki poziom wolnego kwasu tłuszczowego, o wartości 16 mg/l. Zagadnieniem tym interesuje się także parlament Wielkiej Brytanii, gdzie poprzez komisję „Environment, Transport and Regional Affairs” ukazują

się stosowne memoranda dostępne na stronach internetowych (*Memorandum by the Environment Agency* [CEM 56] 2000). W roku 1992 problem ten dostrzegło również kanadyjskie Ministerstwo Środowiska. Na cmentarzu w Toronto oceniono zanieczyszczenia wód podziemnych formaldehydem, związanym z balsamowaniem ciał oraz pierwiastkami z materiałów, z których wykonane były trumny. Badania prowadzono w zależności od podłoża i poziomu wody gruntowej (Levine i inni 1984; Beak 1992). Nie potwierdziły one istotnych przekroczeń miejscowego prawa. Uwzględniono w nich zawartość: formaldehydu, alkoholu metylowego, arsenu, rozpuszczalników, polichlorowanych bifenyli (PCBs) i różnych metali. Jedynie zawartości Cu i Zn oraz biologiczne zapotrzebowanie wody na tlen były nieznacznie wyższe od wymaganych kryteriów. Inne badania, prowadzone także w Kanadzie, zwróciły szczególną uwagę na zanieczyszczenia bakteriologiczne oraz jonami azotanowymi i fosforanowymi (Chan i inni 1992). Nie stwierdzono jednak dużego zanieczyszczenia naturalnego środowiska. Dotyczy to również powszechnie stosowego w Ameryce Północnej formaldehydu. Natomiast inne jony, np. azotanowe, azotynowe i fosforanowe, przeważnie wykazywały niskie zawartości, z wyjątkiem jednego miejsca.

Zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne dostrzeżono również na cmentarzu w północno-zachodnim Ohio (Spongberg, Becks 2000a,b). Na wiekowym cmentarzu, funkcjonującym od XVIII wieku, stwierdzono toksyczne zanieczyszczenia pochodzące z balsamowania, np. As, Hg i formaldehyd. Natomiast zaobserwowane podwyższone zawartości metali ciężkich, np. Pb, Cu, Zn i Fe, pochodzą z materiałów, z których wykonane były trumny oraz ze środków chemicznych, którymi je konserwowano (Consumer Reports 1977). Najwyższe stężenia tych pierwiastków stwierdzono przy grobach, a szczególnie na głębokości pochówku. W przypadku kilku pierwiastków, np. Cu, ich koncentracja zwiększała się wraz z głębokością. Ołowiu i arsenu było zdecydowanie więcej na cmentarzu niż poza nim. Z kolei nie potrafiono wytłumaczyć pochodzenia wysokiego stężenia kobaltu. Zawartości pozostałych badanych w podłożu pierwiastków: Ni, Cr, Mn i Al, nieznacznie różniły się z tymi, pomierzonymi w naturalnych warunkach. Generalnie jednak istotne zmniejszenie koncentracji Cu, Pb i Zn występuje w odległości od 15 m do 18 m od parceli pochówku.

Dekompozycja pochówku, który miał miejsce w roku 1972 w Knoxville (USA), także została oceniona przez dr. W. Bassa z Uniwersytetu Tennessee (Creely 2004). Powstałe na podstawie tych badań publikacje omawiają stan zwłok po złożeniu do grobu, w zależności od jakości ziemi. Celem tych badań było poznanie procesów rozkładu oraz identyfikacja szczątków ludzkich znajdujących w prowadzonych wykopach, na cmentarzach.

Najwięcej prac i największa liczba uczonych, badających problem cmentarzy, pochodzi z Brazylii. Najbardziej znany zespół skupiony jest wokół profesora A. Pacheco, kierującego Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (Pacheco 1986; Pacheco, Mendes 1990; Migliorini 1994; Silva 1998; Pequeno Marinho 1998; Matos i inni 1998; Pacheco i inni 1999; Pacheco 2000; Pacheco, Batello 2000; Pacheco, Matos 2000; Rodrigues 2002). Badania te koncentrują się między innymi nad wpływem cmentarzy na środowisko w zależności od różnych środowisk (Pacheco i inni 1991; Pedley, Guy 1996). Większość prac szczególnie porusza problem obecności bakterii i ich przemieszczania się

na zewnątrz cmentarzy (Martins i inni 1991; Matos i inni 1997a; Matos i inni 1997b; Matos i inni 1999; Bastianon i inni 2000; Matos, Pacheco 2000; Matos 2001). Praca Matosa dotyczyła migracji drobnoustrojów z cmentarza Vila Nova Cachoeirinha w pobliżu Sao Paulo.

Do opracowań brazylijskich nawiązuje praca L. Rodriguesa i A. Pacheco (2003). Dotyczy ona zanieczyszczenia chemicznego i bakteriologicznego wód podziemnych na trzech portugalskich cmentarzach: Luz de Tavira, Querenc, Seixas, które położone są w różnych warunkach klimatycznych. W wodach podziemnych tych cmentarzy wystąpiły niewielkie zanieczyszczenia metalami ciężkimi Pb i Zn.

Z kolei w Australii powołano narodowy zespół badawczy pod kierunkiem profesora M.J. Knighta z Uniwersytetu w Sydney. Kilku badaczy, skupionych wokół National Study Groundwaters Cemetery, bada jakość wód podziemnych na cmentarzach. Pierwsze prace dotyczyły cmentarza „Botany” w Sydney, położonego w Nowej Południowej Walii. Przy młodych pochówkach, w wodach pod tą nekropolią stwierdzono wzrost przewodności elektrycznej i podwyższone zawartości wielu jonów, np.: amonowych, azotanowych, ortofosforanowych, chlorkowych, żelaza, sodu, magnezu i potasu (Dent 1995), jakkolwiek tło geochemiczne dla tego cmentarza często wykazywało wyższe zawartości, np. jonów azotanowych, wodorowęglanowych i cynku. Następnie tego rodzaju badania rozszerzono na inne cmentarze w: Adelaide, Sydney, Melbourne i Perth, na których zwrócono uwagę na znaczenie podłoża dla rozkładu i potwierdzono obecność bakterii *Pseudomonas aeruginosa* (Dent 1998; Dent, Knight 1998a,b; Knight, Dent 1998). W opracowaniu dotyczącym cmentarza Necropolis badacze potwierdzili wyższe zawartości kilku jonów: azotanowych, azotynowych, chlorkowych i dodatkowo wykazali obecność jonów siarczanowych. Natomiast nie zauważyli wyższych zawartości jonów amonowych i ortofosforanowych. Z kolei zawartość np. jonów siarczanowych była ich zdaniem wyższa w miejscu porównawczym, poniżej dwóch innych cmentarzy, Woronora i Guildford oraz w źródle na jednym z nich. Na tych cmentarzach wody gruntowe zanieczyszczają również jony fosforanowe. Duże zróżnicowanie w wynikach i stosunkowo małe stężenia badanych jonów wynikają zapewne z małej ilości opadów w okresie prowadzonych badań. Typowymi wynikami, uzyskanymi na badanych cmentarzach w Australii, są te pomierzone na cmentarzu Cheltenham w Adelaide (Knight, Dent 1998). W wodzie podziemnej pod tym cmentarzem wykazano wyższe zawartości ortofosforanów, dwutlenku węgla oraz niższą koncentrację całkowitego organicznego węgla i niższe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu w wodzie. Zarówno wielkości fizyczne, np. przewodnictwo i potencjał redoks, jak i chemiczne, np. zawartość tlenu i dwutlenku węgla, charakteryzują się tu dużą zmiennością w czasie. Powodem tego zjawiska jest szybki rozkład tkanek miękkich w tym środowisku. Ponadto, poniżej tego cmentarza, zaobserwowano wyższe stężenia, np.: amoniaku, całkowitego azotu, organicznego węgla oraz większe biologiczne zapotrzebowanie wody na tlen. Inne badania Denta (2000a), prowadzone przy nowych pochówkach, potwierdzają duże ilości jonów azotanowych w wodach gruntowych. Zanieczyszczenia te, jak wykazały badania, nie docierają na większe odległości. W późniejszych badaniach, do największych zanieczyszczeń w strefie aeracji zalicza on różne jony azotu, z udziałem 30,6%, a w strefie saturacji jony: siarcza-

nowe, chlorkowe, sodu, magnezu i strontu, stanowiące 35,3% zanieczyszczeń (Dent 2003, 2004). W różnych badaniach istotny udział w zanieczyszczeniu wody miały różne formy P z udziałem około 20%. Badania Denta (2003, 2004) potwierdzają również obecność metali ciężkich w wodzie w otoczeniu pochówków. Dent kontynuował te badania na dziewięciu cmentarzach, co stanowi 60% nekropolii Australii. Podczas tych prac pobierał próby najpierw z 38 miejsc, a z czasem założył nawet 72 piezometry (Dent 2000a,b). W miejscach tych mierzył stężenia związków organicznych i nieorganicznych. Ostatecznie Dent (2004) do pracy doktorskiej (PhD) wykorzystał 305 prób z 83 odwiertów. W tych próbach oceniał zawartość związków nieorganicznych, metali oraz obecność bakterii. Na kontynencie australijskim prowadzone są również badania dotyczące jadu trupiego, czyli produktu rozkładu tłuszczu (Forbes i inni 2002a,b; Forbes i inni 2003; Forbes i inni 2004a,b). Natomiast w sąsiedniej Nowej Zelandii naukowiec Selket zamierza ocenić, czy rozkład pochówków może zaburzyć zrównoważony rozwój środowiska (Selket 2003).

Tego rodzaju badania prowadzone są również w Republice Południowej Afryki. Zwracają one uwagę na lokalizację pochówku i podkreślają, że największym zanieczyszczeniem, które związane jest z cmentarzami są bakterie i wirusy (Fisher, Croukamp 1993; Tumagole 2004). Prace nad tym problemem są tu kontynuowane w ramach działalności Council for Geoscience (Council for ...1999). W nawiązaniu do tych wszystkich badań, Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) opracowała raport w tej sprawie (Ucisik, Rushbrook 1998).

Podobne skutki dla środowiska, jak pochówki ludzi, wynikają również z zakładania cmentarzy dla zwierząt. W Ontario, w Kanadzie, zwierzęta zakopuje się głównie na polu właściciela, z dala od cieków, na głębokości 0,6 m. Założono tam także specjalne pola dla tego typu odpadów. Weterynarze lub inni licencjonowani przedsiębiorcy kompostują na nich małe, padłe zwierzęta (Koebel 2001). Polega to na zakopaniu ich w ziemi na głębokość do 0,6 m i przykryciu słomą lub trocinami. Następnie padlinę polewa się specjalnym roztworem, w celu uzyskania oczekiwanych, końcowych produktów (Freedman, Fleming 2003). Według zaleceń brytyjskiej organizacji prywatnych cmentarzy „The Associational of Private Pet Cemeteries and Crematoria”, na jednym hektarze zwierzęcych pochówków powinno ich być 10 000, czyli 4 razy więcej niż ludzkich (Environment Agency 2002). Potencjał zanieczyszczeń jest zatem podobny. Masa pojedynczego pochówku zwierząt jest mniejsza, ale za to jest większa gęstość grobów. Dopuszcza się pochówki zwierząt w terenach wyludnionych, ale zgodnie z prawem, np. z uwzględnieniem „Environmental Protection Act 1990”. Dokument ten zaleca składanie zdechłych zwierząt, bez balsamowania, w biodegradacyjnej trumnie, np. z tektury, na głębokości 0,9 m, z dala od strumieni, kanałów i studni. Nieliczne badania, prowadzone nad wpływem tych pochówków na środowisko, a dotyczące trzech świń po 430 dniach od ich zakopania na głębokości od 0 cm do 30 cm ponad pochówkiem, wykazują wzrost zawartości np. całkowitego C, N, S, amoniaku, aminokwasów, jonów amonowych oraz pH (Hopkins i inni 2000).

Natomiast dotychczas nie prowadzi się na świecie tego typu badań dotyczących masowych pochówków. Dent, długoletni doświadczony badacz cmentarzy australijskich, stawia pytania „Jakie będą skutki dla środowiska, gdy dojdzie do masowego pochówku?” „Co stanie się ze związkami chemicznymi

i biologicznymi?” „Czy nie korzystniejsza jest w tych warunkach kremacja?” Jego pytania dotyczą pochówków po katastrofach. Zdaniem badacza, Australia nie jest gotowa pochować, np. 5000 ludzi po tragedii. Podobnie problem postrzeżga Morgan (2004). Pisze on: „Nie wiadomo dotychczas jaki jest rozkład i rozproszenie produktów dekompozycji ciał, gdy jednocześnie grzebanych jest dużo ludzi jednocześnie”. Według niego, po katastrofach, gdy ofiary nie są zidentyfikowane, powinien być preferowany pochówek. Ponadto uważa on, że wpływ tych pochówków na społeczeństwo jest mały; dotyczy zwłaszcza osób, które służbowo mają kontakt ze zmarłymi. Jest to głównie personel wojskowy, ratownicy, ochotnicy itp. Zagrożenie zachorowaniem związane jest z obecnością, w miejscu prowadzonych akcji ratunkowych, drobnoustrojów: bakterii jelitowych, prątków gruźlicy, wirusów *hepatitis B, C*, HIV itp. Wyższe, dla tej grupy ludzi, jest również prawdopodobieństwo zachorowania na takie choroby, jak: ospa, dur brzuszny, zapalenie opon mózgowych, niezbyt przewodu pokarmowego itp. Ponadto mają oni większy kontakt z bakteriami i wirusami z różnych grup infekcyjnych, np. *Streptococcus, Salmonella, Rotavirus* itp. W większym stopniu dotyczy ich także zachorowalność na choroby zakaźne, np. z grupy encefalopatii gąbczastych (choroba Creutzfeldta-Jacoba), wrzody, cholera itp. (Healing, Hoffman 1995; de Ville, de Goyet 2000). Po katastrofach, z dużą liczbą śmiertelnych ofiar, istnieje duże ryzyko epidemii (de Ville, de Goyet 1979, 2000). Ciała rozkładają się szybko po zgonie, a z braku możliwości stosownego przechowania praktykuje się szybki masowy pochówek (Vass i inni 2002).

W celu dezynfekcji pochówków posypuje się chlorowanym wapnem (de Ville, de Goyet 1980). W warunkach wojennych, podczas I i II wojny światowej, rzadko stosowano ten środek. Wynikało to prawdopodobnie z jego braku lub ze względu na tempo rozgrywających się wydarzeń. Znane są przypadki wapnowania masowych grobów kilka lat po wojnie. W związku z tym groby te musiały stanowić zagrożenie dla okolicznych mieszkańców. Osoby, które obsługują zmarłych, np. pracownicy organizacji humanitarnych i zdrowia, przedstawiciele władzy, policji, obrony cywilnej, wojska itp., powinny odbyć właściwe przeszkolenie. Problem dotyczy: przestrzegania higieny, mycia rąk, używania rękawiczek, masek na usta i nos, jednorazowych worków na ciała, stosowania szczepień przeciwko żółtacze typu B, gruźlicy itp. W praktyce jednak brak jest informacji, jak postępować z tragicznie zmarłymi. Konieczne jest opracowanie przepisów w tej sprawie (Morgan 2004). Pochówek masowy powinien uszanować miejscowe zwyczaje, stosowane praktyki, a ciała zmarłych powinny być odpowiednio rozmieszczone. Teren przeznaczony na pochówek nie powinien mieć odpływu, albo odpływy należy zatkać, a płyny zbierać, zabezpieczać i unieszkodliwiać. Czynności te powinny wykonywać wyspecjalizowane przedsiębiorstwa (Environment Agency 2002). W praktyce jednak, a dotyczy to nie tylko okresu wojen, mamy do czynienia z niewłaściwymi pochówkami i złą identyfikacją. Potwierdzają to współczesne dramaty, np. po huraganie Mitch w Ameryce Środkowej w roku 1998, cyklonie w Orisa, w Indiach w roku 1999, trzęsieniu ziemi w Salwadorze w roku 2001 i Turcji w roku 2003, czy po tsunami w basenie Oceanu Indyjskiego w roku 2005 (Morgan 2004).

Wielu znawców problemu preferuje jednak, po katastrofie, kremację szczątków (Environment Agency 2002; Morgan 2004). Obecnie stosuje się kre-

mację w wielu krajach, ale szczególnie w Japonii, gdzie w roku 1997 poddano kremacji 98,8% ludzi. Czynnych było tam wówczas 1607 krematoriów. W tym samym czasie w Australii kremowano tylko 54% zmarłych (Dent 1998). W Europie Zachodniej odsetek ten jest jeszcze mniejszy. Funkcjonowanie krematoriów opiera się w większości krajów Europy na dyrektywach Parlamentu Europejskiego. Jednak doświadczenia światowe wskazują, że krematoria również mogą zagrażać człowiekowi. Są one potencjalnym źródłem zanieczyszczenia, szczególnie powietrza. W gazach kominowych znajdują się cząstki materii, np. pył zawieszony, pył z osiadania, radioaktywny kurz, złożone organiczne lotne cząstki, np. 2,3,7,8 chlorosubstytuty dibenzo-dioxyiny, dibenzo-furany, metale ciężkie, np.: Cd, Hg, Pb, Cu, Fe, chlorek wodoru i inne (Nicholson i inni 1997; Takeda i inni 2000, 2001; Creely 2004). Pełną listę związków podaje AEA Technology Environment (AEA Technology Environment 2001). Jedno krematorium może rocznie wypuścić do atmosfery 5453 kg Hg (Maloney i inni 1998). Stosowanie selenowych filtrów może ograniczyć emisję tego pierwiastka nawet do 85%. Istotnym problemem przy kremacji są stomatologiczne amalgamaty rtęci stosowane w plombach zębów, które składają się w 50% z metalicznej Hg oraz rozruszniki serca (Gale, Mulley 2002). Zagrożeni tymi uzupełnieniami ludzkich ciał są przede wszystkim pracownicy krematoriów. W ich włosach stwierdza się wyższe zawartości Hg niż u zwykłych ludzi. Są to i tak mniejsze ilości niż u stomatologów. Tymczasem w organizmie człowieka tolerowane jest tylko 6 ppm rtęci. Pracownicy krematoriów cierpią częściej na nieżyty nosa, zapalenie oskrzeli, bronchit, astmę i mają problemy laryngologiczne (Douthit 2001). Kontakt z nieboszczykiem grozi również przeniesieniem chorób poprzez krew, płyny ustrojowe, a nawet gazy. Konieczne jest zatem przestrzeganie stosownych procedur i to niezależnie od sytuacji. Profilaktyczne działania, polegają między innymi na: obowiązkowym wypełnieniu kwestionariusza przed kremacją, usuwaniu plomb i rozruszników serca, odbyciu przez pracowników szczepień, używaniu stosownych ubiorów i worków na ciała, ciągłym treningu i edukacji, a przede wszystkim, ustalenie przyczyn śmierci. Po kremacji nie zamyka się w urnie 100% szczątków. Pozostałe prochy, tj. około 35,5%, rozprasa się w strefach buforowych, przynajmniej dwa metry od granicy strefy (Anon 2001; Dent 2002).

Produkty rozkładu ulegają częściowo degradacji, w procesach fizyczno-chemicznych, w bezpośrednim środowisku pochówku. Do procesów tych zalicza się: filtrację, sorpcję, rozkład biologiczny, oksydację substancji chemicznej, redukcję substancji chemicznej itp. (Environment Agency 2002). Redukcja zanieczyszczeń dotyczy głównie warstwy saturacji, w której jest więcej substancji aktywnych chemicznie i biologicznie niż w warstwie aeracji. W warstwie saturacji znaczna część powstających nowych związków chemicznych jest rozpuszczalna i wyprowadzana poza otoczenie pochówków. Procesy te prowadzą w konsekwencji do zmniejszenia zanieczyszczeń. Natomiast warstwa aeracji pełni funkcję ograniczonego czasowo magazynu zanieczyszczeń. Pomimo to, zanieczyszczenia docierają do wody gruntowej, a szczególnie dotyczy to jonów siarczanowych, sodowych, chlorkowych i azotu, w postaci jonów azotanowych i amoniaku. Jony amonowe, jako ogniwo pośrednie, są w tych wodach w mniejszości (Trick 2001).

Typowe groby są otwarte na środowisko. Natomiast grobowce też nie ograniczają zachowania zawartości w trumnie (Iserson 1994; Sponberg, Becks

2000a,b). Jedyne hermetycznie zamknięte trumny ograniczają wydostawanie się zanieczyszczeń do środowiska. Jest to jednak sposób krótkotrwały. Powiększają się wówczas tereny nieprzepuszczalne oraz tworzą magazyny szkodliwych substancji dla środowiska (Greatest single ... 2002).

Na świecie, w tym w Kanadzie i USA, nie prowadzi się systematycznego monitorowania jakości wody gruntowej w pobliżu cmentarzy. Brak jest również wyselekcjonowanych typowych wskaźników, które wskazują na wpływ cmentarzy na środowisko. Często jednak wymienia się: bakterie, wirusy oraz bakteriofagi (Higgo i inni 1993; Harrison, Higgo 1994; Ward i inni 1997). Istotnym wskaźnikiem, szczególnie w Ameryce, jest formaldehyd. Używa się go do balsamowania zwłok, od roku 1901 w stanie Michigan, a powszechnie od roku 1905 (Mayer 1990). Na jedno ciało potrzeba 3½ galona (9 l) formaldehydu, co daje w USA rocznie 7 mln galonów (Matos 2001). Tętnice i jamy ciała wypełnia się 2% roztworem, rozpuszczając 180 g formaldehydu w dziewięciu litrach płynu. Balsamowanie najlepiej rozwinięte było w starożytnym Egipcie. Praktykowano go już od roku 3200 p.n.e. Natomiast w Europie do tego celu stosowano od roku 650 tlenek arsenu i chlorek rtęci (Mendelson 1940). Ponadto, od XVII wieku używano jeszcze: saletry potasowej, smoły, żywicy, kamfory, cynamonu i alkoholu (Trick 1999). Balsamowania toksycznymi metalami lub alkaloidami zakazano od roku 1951. Obecnie prawie połowa pochówków w Wielkiej Brytanii jest balsamowana roztworem formaliny (Environment Agency 2002). Są jednak regiony, np. w Ontario, w Kanadzie, gdzie balsamuje się 90% zmarłych (Chan i inni 1992). Z kolei bardzo rzadko stosuje się takie praktyki w Australii (Dent 1998). Natomiast w Nowej Zelandii balsamujący płyn jest mieszaniną formaldehydu i alkoholu metylowego. Formaldehyd jest substancją toksyczną, rakotwórczą, o żrących właściwościach (William 2001; Texas Commission on Alcohol and Drug Abuse 2000). Jest on wpisany na Listę II szkodliwych związków, wykazanych w „Regulations Groundwater 1998” (SEPA) i przez „Environmental Protection Agency” od roku 1987. Anatomowie i balsamiści wykazują wyższe ryzyko zachorowania na białaczkę i raka mózgu, jak głosi raport „National Institute Cancer” z roku 1980. Wielu uczonych zwraca uwagę na zagrożenie dla człowieka ze strony formaldehydu (Bastianon i inni 2000; Pacheco i inni 1991; Ucisik, Rushbrook 1998).

Nie na wszystkich jednak cmentarzach potwierdzono występowanie tego związku w środowisku (Chan i inni 1992; BEAK 1992). W środowisku trawiastym prawie połowa płynu degraduje się w czasie rozkładu. Na początku jego koncentracja w wodzie, w pobliżu miejsca pochówków, sięga – 90 mg/l, po 4 latach – 5 mg/l, a po 10 latach – 0,1 mg/l (Young i inni 1999). Brak jest jednak stosownych badań nad wpływem środków służących do balsamowania na środowisko, np. na wodę podziemną, podłoże i chorobotwórcze mikroorganizmy.

Prowadzone na świecie badania nad wpływem cmentarzy na środowisko dotyczą podłoża, na różnych głębokościach i w różnych odległościach od pochówków, wód gruntowych oraz powierzchniowych. Wykazują one, że wskaźniki nieorganiczne lepiej oceniają produkty dekompozycji ciał zmarłych. Wszyscy jednak są zgodni, że dla człowieka groźniejsze są substancje organiczne, a szczególnie elementy mikrobiologiczne.

Wpływ cmentarzy na środowisko, według większości badaczy, zależy od warunków litologicznych i hydrogeologicznych podłoża (Knight, Dent 1995; Miotto 1990). Szczególnie zwraca się uwagę na: typ i rodzaj podłoża, jego strukturę, właściwości warstwy wodonośnej i nieprzepuszczalnej, grubość pokrywy zwietrzelinowej, przepuszczalność podłoża, zdolność do wypłukiwania zanieczyszczeń, odczyn gruntu, zawartości wapnia itp. Tylko nieliczni wskazują na jeszcze mniej dotychczas eksponowane czynniki: rzeźbę terenu, warunki pogodowe, właściwości związków zanieczyszczających, np. wymianę kationową, zagospodarowanie cmentarza, obrządek pochówku, kulturowe zwyczaje i praktyki pogrzebowe, rozmiary i wiek chowanego, jego stan zdrowia przed śmiercią, fazę rozkładu przy pochówku, parametry grobu, wielkość i czas funkcjonowania cmentarza, przedmioty znajdujące się w otoczeniu trumny itp. (Pacheco i inni 1991; Ucisik, Rushbrook 1998; Dent 1998, 2000, 2004; Spongberg, Becks 2000b; Trick 1999, 2001; Rodrigues, Pacheco 2003). W pracach badawczych sformułowano konkretne wnioski. Według naukowców, zanieczyszczeniu i skażeniu środowiska w otoczeniu pochówków sprzyjają:

- przepuszczalne podłoże, o małej wodochłonności, np. żwiry i piaski oraz beztlenowe warunki (Reddy i inni 1981; Ucisik, Rushbrook 1998; Schrap 1972, 1978; Santarsiero 2000; Creely 2002),
- popełkane, z kanałami, lite utwory, np. kredowe, które ograniczają filtrację drobnoustrojów (West i inni 1999),
- mała miąższość warstwy filtracji, np. przy wysokim poziomie wody podziemnej i cienka warstwa saturacji (Flesher 1984; Young i inni 1998; Santarsiero 2000; Environment Agency 2002; Rodrigues 2003; Morgan 2004; Tumagole 2004),
- cienka warstwa aeracji, duża wielkość ziaren, drożne pory i wzajemna relacja wielkości ziaren i bakterii, które decydują o migracji i adsorpcji, np. poliovirusa umiejscowionego blisko powierzchni ziemi (Lance, Gerba 1980; Ucisik, Rushbrook 1998; SEPA 2002; Environment Agency 2002),
- infiltracja wywołana zalewaniem grobów, które położone są w najniższej części stoku (Ucisik, Rushbrook 1998),
- położone w sąsiedztwie cmentarzy źródła, ciekły, kanały, dreny i miejsca zamieszkałe (Spongberg, Becks 2000b; Dent 2004; Creely 2004),
- właściwości otoczenia miejsca pochówku, np. większa wilgotność oraz pogrzebowe praktyki, np. kiedy nie stosuje się odpowiedniej gęstości wypełniacza wokół trumny, który ułatwia, zaraz po pochówku, przenikanie tlenu i wody, co przyspiesza dekompozycję i ucieczkę drobnoustrojów (Pedley, Howard 1997; Dent, Knight 1998; Ucisik, Rushbrook 1998; Trick i inni 1999; Santarsiero i inni 2000; Dent 2000, 2004; Creely 2004),
- wzrost temperatury powietrza, mający także wpływ na zawartość jadu trupiego (Rodriguez, Bass 1985; Mann i inni 1990; Forbes i inni 2004; www.forensics.com.au/print.php?sid=155),
- sezonowe zmiany bilansu wodnego, podnoszenie się poziomu wody i duża częstotliwość zalewania grobu szczególnie wtedy, gdy chorobotwórcze organizmy znajdują się blisko powierzchni ziemi. Filtracja sięga przeważnie do 5 cm od powierzchni zailonych piasków (Reddy i inni 1981; Trick i inni 2001; Dent 1997, 1998, 2000; Tumagole 2004),

- odpowiedni odczyn i temperatura podłoża, które warunkują optymalne warunki przetrwania konkretnych drobnoustrojów, np. poliovirusa przez 84 dni, częściowo zachowuje się on w zasadowym środowisku, a szybciej umiera w kwaśnym (Reddy i inni 1981; Ucisik, Rushbrook 1998; Tumagole 2004),
- podłoże o odczynie powyżej 7, z wysokim poziomem wody gruntowej, które ułatwia migrację drobnoustrojów (Reddy i inni 1981),
- wzrost stężenia kationów w przesączającej się wodzie z cementarza, który stabilizuje, a nawet powoduje wzrost koncentracji drobnoustrojów w podłożu (Reddy i inni 1981),
- większa szybkość przepływu wody, która przemieszcza wirusy z przeciwnym silnym ładunkiem na większe odległości, pomimo adsorpcji (Corry 1978; Ucisik, Rushbrook 1998),
- bakterie, które przemieszczają się dalej niż mniej mobilne wirusy, osadzające się chętniej na ziarenkach gruntu (Corry 1978),
- zmienność przestrzenna i czasowa także innych czynników, np. liczebności drobnoustrojów (Dent 2000, 2004),
- różny okres półtrwania mikroorganizmów, który różnicuje ich czas przetrwania (West i inni 1998; Trick i inni 2001),
- ponowne pochówki w pobliżu słabo rozłożonych ciał, których rozkład powoduje wzrost pH i temperatury otoczenia, a tym samym wzrost populacji bakterii i eksplozję zanieczyszczeń, szczególnie w zimnych porach roku. Optymalna temperatura rozwoju drobnoustrojów wynosi od 5 °C do 30 °C (Reddy i inni 1981; Rodriguez, Bass 1985; Trick i inni 2001),
- znaczna częstotliwość pochówków, duże rozmiary ciał zmarłych, w dojrzałym okresie życia (Dent, Knight 1998; Young i inni 1998; Trick i inni 2001),
- duża wielkość i czas funkcjonowania cementarza (Trick i inni 1999; Coetzee i inni 2003),
- balsamowanie, które opóźnia rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, ale wprowadza do środowiska kolejne zagrożenie (Creely 2004),
- kulturowe obyczaje, polegające na chowaniu ze zmarłymi przedmiotów, np. wyrobów artystycznych, biżuterii (Dent 1997, 1998, 2000; Environment Agency 2002),
- materiały zawierające Fe, Cu, Zn, Pb itp., z których wykonano trumnę, np. metal, plastik, drewno, włókno szklane, tektura, tkaniny lub materiały, którymi owinięto ciała, np. koc, całun oraz użycie konserwantów do drewna, zanieczyszczają środowisko przez wiele lat, szczególnie przy niskim pH (Consumer Reports 1977; Dent, Knight 1998a,b; Ucisik, Rushbrook 1998; Stuart i inni 2000; Spongberg, Becks 2000a; Forbes 2000a; Forbes i inni 2002b).

Natomiast czynniki, które ograniczają zanieczyszczenie środowiska to:

- nie spękane podłoże gliniasto-piaszczyste, o małej porowatości, drobnodziarnistej teksturze, słabym obtoczeniu ziaren oraz substancje absorbujące chemicznie lub wiążące przez reakcje biochemiczne, które uniemożliwiają wypłukiwanie i transport zanieczyszczeń (Ucisik, Rushbrook 1998; Environment Agency 2002),

- gruba warstwa aeracji i drobna granulacja, np. gliny, która sprzyja dużej adsorpcji drobnoustrojów, panowaniu warunków beztlenowych oraz wydłuża czas przebywania zanieczyszczeń. Pod warstwą miąższości, powyżej 50 m, nie zanotowano zanieczyszczeń (Lance, Gerba 1980; Mather 1989; Pacheco i inni 1991; Pedley, Guy 1996; Lewin i inni 1997; Engelbrecht 1998; Ucisik, Rushbrook 1998; Morgan 2004),
- brak azotanów, mała wilgoć oraz wyższa temperatura, które nie sprzyjają rozwojowi drobnoustrojów. Ich podwójna umieralność występuje wraz ze wzrostem temperatury o każde 10 °C. Optymalny rozwój organizmów ma miejsce przy pH od 6 do 7 (Reddy i inni 1981; West i inni 1998),
- znaczny spadek temperatury otoczenia pochówku, który ogranicza rozwój i żywotność pewnych bakterii (Trick i inni 2001),
- właściwości związków zanieczyszczających, np. możliwości wymiany kationowej (Trick i inni 1999),
- cechy grobu, np. większa głębokość pochówku i stabilność ścian grobu (Dent 2000; Mann i inni 1990).
- zagospodarowanie cmentarza, które ogranicza infiltrację wody (Ucisik, Rushbrook 1998),
- rowy odwadniające, które odprowadzają nadmiar wody poza cmentarz (Ucisik, Rushbrook 1998),
- drzewa o głębokim ukorzeniu, które ograniczają ilość infiltrującej wody i prawdopodobnie niszczą w podłożu bakterie i wirusy (Ucisik, Rushbrook 1998; Environment Agency 2002),
- wzrost odległości od cmentarza, kiedy szybko spada ilość zanieczyszczeń, szczególnie drobnoustrojów (Ucisik, Rushbrook 1998; Morgan 2004).

Nieliczni badacze, nie wnikając bliżej w zależność przyczyna–skutek, zwracają jeszcze uwagę i na inne czynniki: wiek, płeć, wagę, wzrost, dietę żyjących, przyczynę, miejsce i sposób śmierci, czas pomiędzy zejściem a balsamowaniem, odzież noszoną podczas zgonu, temperaturę i wilgotność powietrza w momencie zgonu itp. (Outfront 2005). Udział powyższych czynników w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń nie jest bliżej określony naukowo. Proponowane modele dotyczą najczęściej skrajnych sytuacji.

Najwięcej substancji z rozkładu powstaje w ciągu pierwszych 2 lat po pogrzebie. Ale rozprzestrzenianie uzależnione jest przede wszystkim od trumny i czynników zewnętrznych. Pierwszy istotny spadek zanieczyszczeń nastąpi po 5, a następny po 16 latach, jeśli sprzyjają temu warunki środowiska. Dotyczy to zwłaszcza utrzymywania się wysokiego poziomu wody gruntowej oraz cienkiej warstwy aeracji w utworach piaszczystych leżących na piaskowcach. Przy innych, korzystnych dla rozkładu warunkach, pierwszy przełom nastąpi dopiero po 8, a następny po 20 latach (Trick i inni 2001).

Uczeni z różnych krajów proponują zastosowanie stref buforowych, na wszystkich granicach wokół cmentarza (Fisher, Croukamp 1993; Dent 1998, 2002). Dotyczy to szczególnie terenów płaskich, ale również spłaszczeń na stoku, poniżej cmentarza. Strefy buforowe, niezależnie od wielkości cmentarza, powinny być większe na terenach piaszczystych niż na podłożach gliniastych (Dent 1998). Jedną z propozycji jest następująca szerokość tych stref: 10 m na podłożu gliniastym oraz 20 m na piaszczystych ziemiach. Ponadto konieczne są korekty w za-

leżności od topografii terenu i spadku hydraulicznego (Fisher, Croukamp 1993; Coetzee i inni 2003). W strefach buforowych należy posadzić drzewa i krzewy o głębokim systemie korzeniowym. Przeważnie proponuje się jesiony, które należy sadzić w odległości 2 m od grobów.

Systemy prawne w poszczególnych państwach wywierają istotny wpływ na profilaktykę zapobiegania tego rodzaju zanieczyszczeniom. Przykładowo miejsce, utworzenie i rozbudowa cmentarza w Wielkiej Brytanii opiera się na akcie prawnym z roku 1847 „Clauses Cemeteries Act”. Obecnie obowiązują jeszcze i inne ograniczenia wyrażone w aktach prawnych: „The Local Planning Authority” zgodnie z „Town and Country Planning Act 1990”, „Planning and Compensation Act 1991”, „Source Protection Zones” oraz „Water Resources Act 1991”. Ten ostatni dokument wyznacza postępowanie względem zwierciadła wody gruntowej i jej zasobów (Environmental Agency 2002). Dla obywatela są powszechnie dostępne mapy podatności na zanieczyszczenie wody gruntowej w „The Stationery Office”. Największe znaczenie w praktyce, jeśli chodzi o lokalizację cmentarzy, posiada „Local Authority Planning” oraz konsultacje z ustawodawczym konsultantem, agencją do spraw środowiska Environment Agency. W terenie funkcję konsultanta sprawuje Regional Agency Environment. Konsultacje te są oparte na opiniach, przepisach prawnych i aktualnych procedurach zawartych w raporcie (Environment Agency... 1999). Szkołą Agencję Ochrony Środowiska (SEPA) wspomaga również „Control of Pollution Act 1974” i „Groundwater Regulations 1998”.

Na zlecenie rządu Wielkiej Brytanii badany był wpływ dwóch cmentarzy na środowisko. Badania te prowadziły kompetentne państwowe instytucje Environment Agency i The British Geological Survey (Trick i inni 1999, 2001). Niezbędne są jednak dalsze mocne dowody negatywnego oddziaływania cmentarzy na środowisko. W przyszłości pozwoli to na wprowadzenie przez lokalne władze dyrektyw Unii Europejskiej dotyczących jakości wody gruntowej.

Problem lokalizacji cmentarzy jest również uwzględniony w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego – IDP (Integrated Development Plan), opracowanych dla wszystkich miast w Republice Południowej Afryki. Prawo to obowiązuje od roku 1997. Kompetencje władz lokalnych dotyczące cmentarzy zawarte są w „The Local Government Structures Amendment Act 33” z dnia 13 X 2000 roku. Pierwszy etap przygotowywania takiego prawa obejmował fazę inwentaryzacji, w analizie sytuacyjnej, niezbędnej do redukcji liczby cmentarzy z 830 do 300. Zarządy i samorządy miast zobowiązane są do przebadania poprawności lokalizacji cmentarzy zgodnie z „Act Amendment Structures”.

Wstępne badania nad lokalizacją cmentarzy na regionalnym poziomie opierają się na mapach w skali 1 : 100000 i 1 : 50000. Ostateczne decyzje zapadają na podstawie map w skali 1 : 10000 i 1 : 5000 oraz baz danych zgromadzonych w GIS-ie. Niezbędne w tym opracowywaniu są mapy: topograficzne, geologiczne, geotechniczne oraz pedologiczne wykonane przez Institute for Soil Climate and Water. Duży udział w pracach dotyczących planowania cmentarzy w IDP mają naukowcy zrzeszeni w Council for Geoscience. Na ich modelu bazy danych GEODE bazuje również polska służba geologiczna. Tak opracowywane informacje są powszechnie dostępne w bibliotece „Affairs Land Library”, instytucie „Institute Land Affairs”, w Department of Local lub w Provincial Government. Zalecenia, opraco-

wane przez „Council for Geoscience”, dotyczące lokalizacji cmentarzy, są dostępne również na stronach internetowych (Cemetery site investigations).

Natomiast w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej lokalizacja cmentarzy opiera się na dokumencie „The Safe Drinking Water Act”. Ogólne i szczegółowe regulacje prawne, np. w stanie Ohio, są zawarte w pracy Bernarda (1966). W USA zakupuje się rocznie do ziemi 7 mln galonów formaldehydu. Wyspecjalizowana instytucja, Occupational Safety and Health Administration, zalicza formaldehyd do substancji niebezpiecznych dla zdrowia. Jest ona jedną z przyczyn wysokiego ryzyka zachorowania na raka i dziedziczenia wad (Assessing the Groundwater... 2002). Problem ten nie jest jeszcze do końca przebadany.

Z kolei w Portugalii ustawa nr 382 z dnia 22 IX 1999 roku reguluje odległości, czyli strefy ochronne wokół cmentarzy, dla publicznych zasobów wód podziemnych. W wielu krajach funkcjonują specyficzne zalecenia. Przykładowo we Włoszech, zgodnie z prawem, nie można usuwać zwłok z miejsca pochówku przed okresem 2 lat, jeśli pogrzebane osoby były zainfekowane patogenami i saprofitami (Creely 2004).

Australijczycy powołali narodowy komitet National Study of Cemetery Groundwaters, badający wpływ cmentarzy na środowisko z siedzibą w University of Technology w Sydney. Pracami zespołu kieruje profesor M.J. Knight. Pracę doktorską PhD, „The Hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia”, obronił B.B. Dent (2004). Nad innym problemem, podjętym w programie „Adipocere Research Program”, dotyczącym jadu trupiego, pracuje również Forbes (2002). W Australii występuje stosunkowo mało dużych cmentarzy, które zlokalizowano w wielkich miastach. Istotnym problemem w tym kraju jest wykorzystanie miejsc zajętych już pod groby. Dzierżawę gruntu pod pochówek przyznawano na 99 lat do roku 1944, natomiast później na 50 lat. W tym samym miejscu chowano maksymalnie dwa razy (Nicol 1996). Obecnie grunt pod pochówek, w całej Australii, wykupuje się na wieczność. Wyjątek stanowi jedynie Australia Zachodnia. W pewnym okresie chowano tam, w tym samym miejscu, nawet 5 razy, np. na cmentarzu „Cheltenham” w Adelaide. Obecnie dopuszcza się trzykrotny pochówek w tym samym miejscu, co jest zależne od rodziny i regulacji służby zdrowia. Podczas ponownego rozkopywania zbiera się szczątki do małego pudełka lub torby i chowa do grobu poniżej nowego pochówku, np. na „Centennial Park Cemetery” i „Cheltenham Cemetery” w Adelaide (Knight, Dent 1998).

Jak wykazują dotychczasowe badania lokalizacja cmentarzy jest problemem ogólnościowym. Źle zlokalizowane cmentarze mogą doprowadzić do zanieczyszczenia środowiska. Może to najczęściej wystąpić podczas katastrof, np. bardzo intensywnych opadów. Takie zagrożenie wystąpiło w Polsce w roku 1997. Natomiast w Wielkiej Brytanii minimalne przestrzeganie zaleceń, w przypadku ekstremalnych zagrożeń, polega na monitorowaniu stanu środowiska wokół cmentarzy (Environmental Agency 2002). Generalne rozwiązanie tego problemu wymaga zestawienia dotychczasowych wyników badań prowadzonych na świecie oraz ich kontynuowania, w celu optymalizacji rozwiązań badanego zagadnienia. Zalecenia nie mogą ograniczyć się tylko do poszukiwania innych form pochówku, ale także muszą dostosować się do możliwości, tradycji i oczekiwań społecznych.

Na obecnym etapie badań poszczególne państwa praktykują różne rozwiązania. Najczęściej jednak niewiele uwagi poświęcają temu problemowi.

Przykładowo w Republice Południowej Afryki pozwolenie na lokalizację cmentarza nie jest wymagane. Niemniej jednak Council for Geoscience – narodowa organizacja nauk o ziemi, podaje kryteria lokalizacji pochówku. Preferowane są: głębokość pochówku, odległość od ujęć i zbiorników wody pitnej, przepuszczalność podłoża, jakość wody, bliskość kanałów i cieków, wilgotność podłoża, topografia miejsca, naturalne bariery przepływu, stabilność ścian bocznych wykopu, cena ziemi, wielkość i żywotność cmentarza oraz społeczne i kulturowe czynniki. Badacze podkreślają, że nigdy nie wolno chować zmarłych w pobliżu linii źródeł i na terenach podmokłych (Fisher, Croukamp 1993; Croukamp, Richards 2002).

Jednym z celów agencji do spraw środowiska Environmental Agency w Wielkiej Brytanii jest doradzanie w sprawie lokalizacji cmentarzy. Niektóre zalecenia zawarte są w „The New Natural Death Handbook 3”. Wynika z nich, między innymi, konieczność zachowania minimalnych odległości pochówku od wskazanych miejsc, np.: 250 m od źródeł wody pitnej i zasobów wody gruntowej, 30 m od cieku lub źródła, 10 m od kanałów lub drenów (Environmental Agency 2002). Zalecenia te uznaje również Światowa Organizacja Zdrowia (Ucisik, Rushbrook 1998). Ponadto proponuje ona, by nie chować zmarłych w piaskach i żwirach oraz w wodzie. Według WHO zwierciadło wody podziemnej powinno być poniżej dna wykopu. Natomiast Szkocka Agencja Ochrony Środowiska – SEPA (Scottish Environment Protection Agency), precyzuje tę odległość i poleca, by pod złożoną do grobu trumną było co najmniej 1 m suchej ziemi. Według tej Agencji, trumnę należy umieścić wystarczająco głęboko, w celu ograniczenia dostępu do niej zwierząt.

Podobne zalecenia zawarte są w dokumencie „The Safe Drinking Water Act” w USA. Proponuje się w nim, by cmentarze, które mogą zanieczyszczać, były oddalone od tych zagrożonych miejsc od 50–300 stóp (od 15 m do 90 m). Odległość ta zależy przede wszystkim od wykorzystania wody, której jakość jest zagrożona ze strony cmentarzy (Sponberg, Becks 2000a). Bardziej szczegółowe postanowienia co do lokalizacji cmentarzy odnoszą się do rodzaju podłoża, systemów odwodnienia, odległości od miejsc zamieszkałych i innych miejsc, które mogą być zagrożone w związku z sąsiedztwem cmentarzy (Bernard 1966).

Schraps (1978) proponuje, na podstawie własnych badań, by w Niemczech cmentarze były zlokalizowane w miejscach, w których poziom wody gruntowej leży poniżej dna wykopu co najmniej 0,7 m, a od powierzchni ziemi na głębokości 2,5 m. Pochówki powinny być złożone na głębokość 1,8 m. Pod nimi musi być filtr gruntu wolny od zanieczyszczeń.

Z kolei L. Rodrigues i A. Pacheco (2003), na podstawie badań w Portugalii, sugerują by przy lokalizacji uwzględniać warunki geologiczne i hydrogeologiczne oraz zachować stosowne odległości od zwierciadła wody gruntowej, piezometrów, ujęć wody dla gospodarstw, źródeł i innych podobnych miejsc.

Natomiast zespół uczonych z Instituto de Geociências na Uniwersytecie w Sao Paulo w Brazylii podkreśla szczególne znaczenie warunków geofizycznych (Bastianon i inni 2000). Morgan (2004) zwraca również uwagę na warunki hydrogeologiczne, a ponadto oczekuje porozumienia ze społeczeństwem co do lokalizacji cmentarzy. Dostrzega on także zagrożenia związane z zalewaniem tych miejsc

przez wody powodziowe. Jego zdaniem, potrzebne są uzgodnienia w celu ustanowienia standardów dotyczących także wyznaczenia stosownych odległości zagrożonych miejsc od cmentarzy. Morgan akceptuje dotychczasowe wyniki światowych badań i proponuje zastosować kilka z szeregu konkretnych rozwiązań:

- groby zlokalizowane w utworach piaszczysto-gliniastych powinny być na głębokości 1,8 m, natomiast poziom wody gruntowej na głębokości 2,5 m od powierzchni ziemi (Bouwer 1978),
- cmentarze należy lokalizować na nizinach, na terenie nisko położonym, z małym spadkiem zwierciadła wody, na podłożu o dużej porowatości (Dent, Knight 1998),
- należy zachować stosowne odległości od rezerwuarów wody pitnej – 30 m oraz od źródeł, cieków, studni, odwiertów lub innych źródeł wody – 250 m (Ucisik, Rushbrook 1998).

Wiele cennych uwag wnoszą również prace prowadzone w Australii, szczególnie przez Denta (1998, 2002, 2004). Zidentyfikował on znaczną liczbę miejsc, w których ze względu na cechy środowiska nie powinny być lokalizowane cmentarze, np. na terenach podmokłych, blisko źródeł, obok stawów, jezior, tam gdzie obserwuje się duże wahania poziomu wody gruntowej, na terenach zalewanych, na przybrzeżnych polach, w miejscach podatnych na erozję, na stokach i na progach. Zwrócił on także uwagę, że najkorzystniejszym podłożem dla właściwego rozkładu ciał są osuszone, gliniaste piaski. Według wielu naukowców lokalizacja cmentarzy wymaga uwzględnienia właściwości gleby i ich zmienności w czasie. Prosty weryfikatorem podłoża są ściany wykopu, które nie powinny się zawalić przez 24 godziny. Pochówki należy przeprowadzać w grubych pokrywach gliniastych, a jeśli ich brak, to można nawieźć ziemię. Dno wykopu pod grobami musi być ponad poziomem wody gruntowej. Należy również, w tym przypadku, uwzględnić podnoszenie się zwierciadła wody gruntowej na wiosnę. Zagadnienie to wymaga jednak jeszcze dalszych badań, podobnie zresztą, jak lokalizacja pochówków na terenach zalewanych, bagnach, ziemiach o małej miąższości, osuszonych zatokach jezior, polach ściekowych, terenach odwadnianych do jezior, czy dróg wodnych oraz w linii progów (Dent 2002).

Światowa Organizacja Zdrowia (Ucisik, Rushbrook 1998) zaleca zachowanie stosownej odległości od cmentarzy. Zwraca uwagę, by nie pić wód o płytkim zwierciadle wody gruntowej w okolicach cmentarzy. Zwłoki proponuje przykryć co najmniej jednometrową warstwą ziemi, licząc od powierzchni. Miąższość ta powinna być nawet większa wówczas, gdy: cmentarz leży na stromym stoku, struktury hydrogeologiczne są ułożone niekorzystnie albo za szybki jest przepływ wody gruntowej. Ponadto pochówek należy złożyć minimum 1 m ponad litą skałą. Pod nim również powinien być 1 m podglebia. Natomiast dno wykopu ma znajdować się 1 m ponad najwyższym naturalnym zwierciadłem wody gruntowej, uwzględniając oczywiście zmienność wahań tego zwierciadła.

Należy mieć jednak nadzieję, że państwa Unii Europejskiej dadzą przykład światu i wypracują stosowne uzgodnienia, które będą stopniowo stosowane w praktyce.

4. Względna zawartość pierwiastków w środowisku badanych pochówków

4.1. Fosfor i inne charakterystyczne pierwiastki w masowych grobach

W przeprowadzonych badaniach, a szczególnie dotyczących Oświęcimia, gdzie zginęły miliony ludzi, wysokiej zawartości P w podłożu towarzyszy relatywnie wysoka zawartość wielu pierwiastków. Tezę tę potwierdzają przeprowadzone rankingi dotyczące względnej koncentracji pierwiastków ponad pochówkami.

Te najwyższe wskaźniki zdecydowanie dotyczą pochówków z Oświęcimia, w których stwierdzono stosunkowo najwyższe zawartości kilku pierwiastków: Ca, N, F, K, Na, Cl, P, Cr i Cd. Wysoką korelację pomiędzy zawartościami P i kilku innymi pierwiastkami: Ca, Na, N, F, Cl, Cd oraz Cr, potwierdzają współczynniki korelacji, o wartościach od 0,8 do 0,9, obliczone dla 245 pochówków (tab. 22). Tylko nieznacznie wyższe współczynniki korelacji obliczono dla 81 grobów, w których stwierdzono najwyższe zawartości ośmiu pierwiastków (tab. 22). Wspomniane rankingi pochówków, które przedstawiono jedynie dla 81 grobów, uzyskano na podstawie obliczeń sumy wskaźników względnej zawartości wyróżnionych wcześniej ośmiu pierwiastków: P, Ca, Na, N, F, Cl, Cd oraz Cr.

Najwyższe korelacje pomiędzy zawartościami P a pierwiastkami z grupy I uzyskano dla 47 grobów zlokalizowanych w środowisku naturalnym (tab. 22). Groby te wybrano z listy 81 pochówków. Różnica pomiędzy tymi współczynnikami korelacji dla różnych grup pochówków jest jednak mała. Wynika ona zapewne z większej zawartości pierwiastków ciężkich w środowisku miast. Wniosek ten potwierdza wyższa korelacja, dla grobów położonych w miastach, pomiędzy zawartościami P a koncentracjami pierwiastków z grupy III: Zn, Cu oraz S. W tym środowisku na podobnym poziomie także występuje korelacja pomiędzy zawartością P a koncentracjami Al, Pb, J i Fe. Świadczy to o tym, że poza pochówkiem na zawartość tych pierwiastków w podłożu grobów ma mniejszy wpływ również środowisko miejskie. Natomiast znacznie wyższa jest korelacja pomiędzy zawartościami P i K obliczona dla grobów położonych w środowisku naturalnym. Wynika ona z właściwości tego środowiska i niewykluczone, że z pochówku. Natomiast mniejsze są tam korelacje pomiędzy zawartościami P a koncentracją pozostałych pierwiastków: Si, Mn i Mg. Wynikają one zapewne z charakterystycznych właściwości środowiska każdego grobu oraz z utrwalenia ich w tym środowisku w postaci różnych związków z fosforem.

Tabela 22. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartościami P a koncentracją pozostałych badanych pierwiastków ponad pochówkami dla różnej liczby grobów

Badane pierwiastki zestawione w grupy		Współczynniki korelacji pomiędzy zawartościami fosforu oraz pozostałymi badanymi pierwiastkami dla:		
		81 grobów o największych zawartościach pierwiastków	47 grobów z naturalnego środowiska, wybrane z 81 grobów	245 badanych grobów
Grupa I, pierwiastki o wysokiej korelacji ich zawartości z koncentracją P	Ca	0,91	0,92	0,9
	Na	0,88	0,91	0,85
	N	0,88	0,9	0,87
	F	0,88	0,89	0,88
	Cl	0,83	0,88	0,84
	Cd	0,82	0,88	0,82
	Cr	0,77	0,78	0,8
Grupa II, pierwiastki o średniej korelacji ich zawartości z koncentracją P	Pb	0,64	0,65	0,61
	Si	0,6	0,52	0,48
	Mg	0,58	0,55	0,6
	Mn	0,53	0,46	0,51
	K	0,5	0,75	0,52
	Al	0,46	0,59	0,48
Grupa III, pierwiastki o małej korelacji ich zawartości z koncentracją P	Cu	0,23	0,16	0,31
	S	0,23	0,17	0,36
	I	0,21	0,2	0,2
	Ni	0,11	0,11	0,24
	Zn	0,05	0,024	0,21
	Fe	-0,06	-0,05	0,46

W celu potwierdzenia lub zaprzeczenia wykazanych prawidłowości, obliczono także współczynniki korelacji pomiędzy różnicami zawartości dla P i koncentracją pozostałych badanych pierwiastków w 86 pochówkach a ich miejscami porównawczymi. Tylko w kilku przypadkach uzyskano potwierdzenie wyższej korelacji. Nie są to jednak bardzo wysokie współczynniki. Dotyczy to zwłaszcza badanej korelacji z Na, Ca i Cr (tab. 23). Relatywnie najwyższe współczynniki korelacji obliczono pomiędzy różnicami w zawartościach dla P a Ni – (0,64), Zn – (0,62) oraz Mg – (0,59). Potwierdzono natomiast stosunkowo niską tego rodzaju zależność, wyrażoną współczynnikami korelacji z: I – (0,28), Fe – (0,13), Al – (-0,003), Si – (0,13) oraz S – (0,25).

Badanie tego rodzaju różnic dla próby 86 pochówków, logiczne w postępowaniu, obarczone jest niestety błędami w praktyce. Podejście statystyczne oparte na dużej liczbie populacji gwarantuje wiarygodność wniosków dotyczących ogólnych prawidłowości. Natomiast wybór miejsca porównawczego, które spełnia wymogi dla tła geochemicznego jest dużą loterią. Szczególnie, gdy dotyczy to grobów położonych np. na polanach śródleśnych, wydmach lub podlegających wpływowi czynników antropogenicznych, np. w miastach itp. W takich środowiskach występuje bowiem duża zmienność zawartości pierwiastków na stosunkowo małych odległościach. Problemy te uzewnętrzniają się szczególnie wtedy, gdy wyższe zawartości pierwiastków występują w miejscach porównawczych. Ich rozwiązanie nie sprowadza się tylko do wykluczenia z obliczeń takich przypadków. Przyjęcie takiego postępowania prowadzi do zdecydowanego ograniczenia badanej próby. W skrajnym przypadku stwierdzono nawet w miejscu porównawczym dla 66 grobów z 86 badanych wyższą zawartość Al. Uzyskane prawidłowości dla takiej grupy są więc mało przekonujące. Jakkolwiek obliczone korelacje, bez tych przypadków ujemnych, są zdecydowanie wyższe. Zestawienia te sugerują, że nie wszystkie badane groby wykazują wpływ na środowisko (tab. 23). Niemniej jednak tam, gdzie wpływ pochówku jest istotny, obserwuje się zdecydowanie wyższe zawartości w ich otoczeniu.

Powstały w wyniku dekompozycji P łączy się nie tylko z pierwiastkami pochodzącymi z tego procesu, ale również z pierwiastkami uwolnionymi w procesie korozji przedmiotów, które złożono do grobu wraz z ciałami oraz z charakterystycznymi pierwiastkami naturalnych środowisk, np. z Fe (Żychowski i inni 2006c). W grobach wojennych, szczególnie tych z I wojny, jest stosunkowo mało osobistych przedmiotów. Najczęściej żołnierzy w tym okresie chowano wprawdzie na polu bitwy. Dopiero po utworzeniu stosownego urzędu, Wydziału Grobów Wojennych w Krakowie – Kriegsgraber Abteilung, który zajął się miejscami pochówku, dokonano ekshumacji ciał i przeniesiono je w odpowiednie miejsca. Podczas tych czynności osobiste rzeczy przekazywano rodzinom. Ponadto w czasie I wojny powszechnie okradano martwych żołnierzy. Czyniła to miejscowa ludność, która nie posiadała środków do życia. W warunkach wojennych przemysł był nastawiony głównie na dozbrajanie walczących armii.

Wielu żołnierzy zginęło od kuli i odłamków, które utkwily w ich ciałach. Zdecydowanie odsetek takich żołnierzy był większy w czasie II wojny. Śmierć żołnierzy na wojnach i w konfliktach światowych jest przede wszystkim konsekwencją odniesionych ran na skutek uderzeń odłamków (Wiśniewski, Żurowski 2001). Z tej przyczyny umiera od 75% do 80% ludzi. Pociski uśmiercają tylko około 20% walczących. Te metalowe fragmenty uzbrojenia w ciałach zabitych lub znajdujące się w grobach nie są bez znaczenia dla procesów dekompozycji, np. w Dukli (fot. 14). Problem ten wymaga jednak odrębnego opracowania.

Tabela 23. Współczynniki korelacji dla próby 86 grobów pomiędzy różnicami w zawartościach P a tego samego rodzaju różnicami dla pozostałych pierwiastków

Badane pierwiastki zestawione w grupy		Współczynniki korelacji pomiędzy różnicami w zawartościach badanych pierwiastków a stosownymi różnicami w koncentracji P dla 86 badanych grobów	
1		2	
Grupa I, pierwiastki o średniej korelacji pomiędzy ich badanymi różnicami w zawartościach a różnicą w koncentracji P	Ni	0,64	
	Zn	0,62	
	Na	0,61	
	Ca	0,59	
	Mg	0,59	
Grupa II, pierwiastki o małej korelacji pomiędzy ich badanymi różnicami w zawartościach a różnicą w koncentracji P	Cr	0,56	
	Mn	0,49	
	Cd	0,40	
	F	0,37	
Grupa III, pierwiastki nie wykazujące istotnej korelacji pomiędzy ich badanymi różnicami w zawartościach a stosowną różnicą w koncentracji P	I	0,28	
	Cu	0,25	
	S	0,25	
	Pb	0,24	
	Cl	0,22	
	N	0,19	
	Si	0,13	
	Fe	0,13	
	K	0,07	
	Al	-0,003	

4.2. Groby o największych zawartościach pierwiastków pochodzących z dekompozycji

Największe sumy wskaźników względnej zawartości dla ośmiu pierwiastków obliczono dla grobów z Oświęcimia (tab. 24). Szczególnie wyróżnia się masowy grób żołnierzy wyzwalających Oświęcim, który zlokalizowany jest na miejscowym cmentarzu, gdzie nadal odbywają się pochówki. Żołnierze wyzwalający Oświęcim pochowani byli w żołnierskich, frontowych mundurach, z guzikami i często z odznaczeniami. Poza wyposażeniem indywidualnym, kieszenie żołnierzy zawierały również różne osobiste, metalowe przedmioty. Nie można też wykluczyć broni, np. noża. W ciele zabitych znajdowały się także odłamki lub pociski, od których zginęli. Precyzyjne określenie dodatkowych akcesoriów

nie jest możliwe w tych warunkach. Relatywnie wysokie zawartości pierwiastków w podłożu grobów wynikają także z krążenia pierwiastków w tym środowisku. Najmniejsze zawartości badanych pierwiastków w tych pięciu masowych grobach w Oświęcimiu dotyczą otoczenia krematoriów. Uzasadnia to fakt, że palone w krematoriach ciała pozbawione były ubrań i przedmiotów osobistych. Jedynie w przewodzie pokarmowym palonych ciał mogły zachować się wartościowe, drobne przedmioty, np. pierścionki. Ponadto przy relatywnie wysokiej temperaturze spalania znaczna część materii organicznej zamieniała się w gaz. Natomiast na otwartym palenisku nie uzyskiwano już tak wysokich temperatur, stąd w tym miejscu pozostało więcej niedopalonej tkanki. Tak duże koncentracje badanych pierwiastków w tych miejscach wynikają również z dużej liczby palonych ciał. Dużej zawartości tych pierwiastków sprzyja również tutejsze środowisko. Teren obozu w Oświęcimiu położony jest na rozległej terasie rzecznej. Ponieważ teren ten był podmokły, to w czasie funkcjonowania obozu więźniowie wykopali głębokie rowy w celu odwodnienia terenu. Jednak w wilgotnych okresach stan wody zdecydowanie podnosi się zarówno w rowach, jak i w podłożu, ze względu na niskie położenie terenu. Obok krematoriów znajduje się nawet oczko wodne.

W przeprowadzonym rankingu grobów na wysokich pozycjach występuje zdecydowany spadek sumy badanych wskaźników dla grobów z niższych pozycji w rankingu (ryc. 2). Szczególnie wyróżniają się groby z Oświęcimia. Wartości badanej sumy wskaźników gwałtownie maleją dla grobu z Dukli, położonego w rankingu o pozycję niżej. Jednak wyższe zawartości ośmiu pierwiastków występują w Dukli w masowym grobie z I, a nie z II wojny. Różnica w koncentracji wynika z wzajemnego położenia grobów. Grób z I wojny leży zasadniczo obok, ale również w części w linii spływu wody z grobu żołnierzy radzieckich. Ponadto powyżej za murem i drogą dojazdową, na lokalnym spłaszczeniu, leży parafialny cmentarz. Podczas pobierania prób z wykopu, z otoczenia grobu z II wojny, natrafiono na fragmenty uzbrojenia (fot. 14). Istnieje duże prawdopodobieństwo obecności podobnych fragmentów w podłożu tego grobu. Znajdujące się tam fragmenty uzbrojenia są również przyczyną większej zawartości pierwiastków ciężkich w miejscu pochówku. Podobne położenie grobów ma miejsce w Hunkowcach na Słowacji, gdzie grób z II wojny leży powyżej (fot. 15). Duże sumy wskaźników względnej zawartości pierwiastków dotyczą także masowych pochówków ludności cywilnej z okresu II wojny, położonych w Zbylitowskiej Górze pod Tarnowem, na Uroczysku Osikówka w Puszczy Niepołomickiej oraz porównawczego miejsca w Baczkowie koło Bochni (ryc. 2). Groby i porównawcze miejsce w tych miejscowościach zlokalizowane są na terenie o okresowo wysokim poziomie wody gruntowej. Grób w Zbylitowskiej Górze leży ponadto na modelowanym przez osuwisko progu wyższej terasy Dunajca. Wiele masowych grobów zlokalizowano na miejscowych cmentarzach. Dlatego nawet te z I wojny wykazują wyższe zawartości badanych pierwiastków, np. w Nowym Żmigrodzie, Nowym Sączu, Mikłuszowicach, na Rakowicach i w Krośnie (fot. 16). W czołowce przeprowadzonego rankingu znalazły się również masowe groby z I wojny światowej, które położone są w Przemyślu, Tarnowie, Łysej Górze i Krempnej w Beskidzie Niskim, dwa w Lubczy w okolicach Zakliczyna, w Łąckiej Dolnej na Pogórzu Wiśnickim itd. (ryc. 2). Większa liczba grobów z I wojny światowej pojawia się dopiero pod ko-

Tabela 24. Ranking 81 pochówków z 245 badanych, ustalony na podstawie sumy wskaźników względnej zawartości w grobie wybranych pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd

Suma wskaźników	Miejscowość/rodzaj grobu/ okres pochówku	Suma wskaźników	Miejscowość/rodzaj grobu/ okres pochówku	Suma wskaźników	Miejscowość/rodzaj grobu/ okres pochówku	Suma wskaźników
7,25	Oświęcim cm. II	0,45	Tarnów I	0,31	Przemysł żyd. II	Miejscowość/rodzaj grobu/ okres pochówku
5,91	Oświęcim radz. II	0,44	Tarnów cm. „Stary”	0,30	Kraków-Prandoty pol. II	
5,87	Oświęcim po II	0,44	Tarnów żyd., m. II	0,29	Blonie I	
5,46	Oświęcim palenie II	0,44	Rymanów ros. II	0,29	Muchówka I	
5,09	Oświęcim krem. II	0,44	Kraków-Prandoty ang. II	0,29	Kraków-Plaszów obóz 2 II	
1,77	Dukla I, II	0,43	Nowy Sącz cm. II	0,27	Gawłów cm. I	
1,40	Zbylitowska Góra II	0,43	Tarnów żyd. II	0,27	Dąbrowa Tarnowska żyd.	
1,38	Dukla radz. II	0,43	Nowy Sącz żyd., pol. II	0,27	Ropica Górna las I	
1,19	Baczków	0,42	Krosno cm. I	0,26	Dąbrowa Tarnowska I	
1,08	Hunkowce I, II	0,42	Baligród II	0,26	Dąbrowa Tarnowska żyd. II	
1,07	Hunkowce wehr. II	0,42	Łąka S I	0,26	Grab 5 I	
1,00	Komarnik II	0,42	Kraków-Prandoty radz. II	0,25	Malastów I	
0,98	Osikówka las II	0,41	Nowy Sącz żyd. 1 II	0,24	Brzesko I	

0,79	Łysa Góra I	0,41	Nowy Sącz PKS II	0,24	Świdnik radz. II
0,77	Bór stok II	0,39	Nowy Sącz żyd. 2 II	0,24	Ropica Górna – Małastów I
0,76	Nowy Żmigród cm. I	0,39	Kraków-Rakowice cm. I	0,23	Grab 4 I
0,76	Bór płasko II	0,39	Przemysł wehr. II	0,23	Brzozów II
0,72	Lubcza droga I	0,36	Kraków-Plaszów obóz 1 II	0,23	Przemysł ros. I
0,68	Lubcza las I	0,35	Przemysł aust. I	0,22	Rajbrot las I
0,65	Rymanów cm. II	0,35	Kraków-Prandoty wehr. II	0,22	Ropica Grn. droga I
0,62	Krempna I	0,34	Mikuszowice cm. I	0,21	Harkłowa I
0,58	Rzeszów radz. II	0,34	Cerekiew cm.	0,21	Otwinów I
0,58	Niepołomice II	0,34	Pustków ros. II	0,17	Biecz LO I
0,57	Pustków prochy II	0,33	Lesko żyd.	0,16	Warzyce cm. I
0,55	Rzeszów cm. II	0,32	Przemysł cm. II	0,16	Brzesko I, II
0,53	Przemysł węg. I	0,32	Tarnów Chyszów I	0,15	Warzyce II
0,45	Nowy Sącz cm. I	0,31	Kraków-Plaszów żyd.	0,14	Skrzyszów II

Oznaczenia: I, II – z I i II wojny światowej; po II – grób osób z obozu zmarłych po zakończeniu II wojny; cm. – cmentarz; pol. – polski; ros. – rosyjski; radz. – radziecki; wehr. – wehrmachtu; aust. – austriacki; węg. – węgierski; żyd. – żydowski; żyd., m. – masowy pochówek żydowski; las, droga, stok, płasko – lokalizacja grobu; palenie – miejsce spalania ciał; krem. – miejsce wysypywania prochów po spaleniu w krematoriach; obóz 1 – miejsce, gdzie wysypywano prochy po spaleniu osób; prochy – miejsce wysypywania prochów po spaleniu; Grab 4 – miejscowość z numerem grobu; S, N – ekspozycja grobu; LO – w pobliżu Liceum Ogólnokształcącego; PKS – w pobliżu dworca PKS-u.

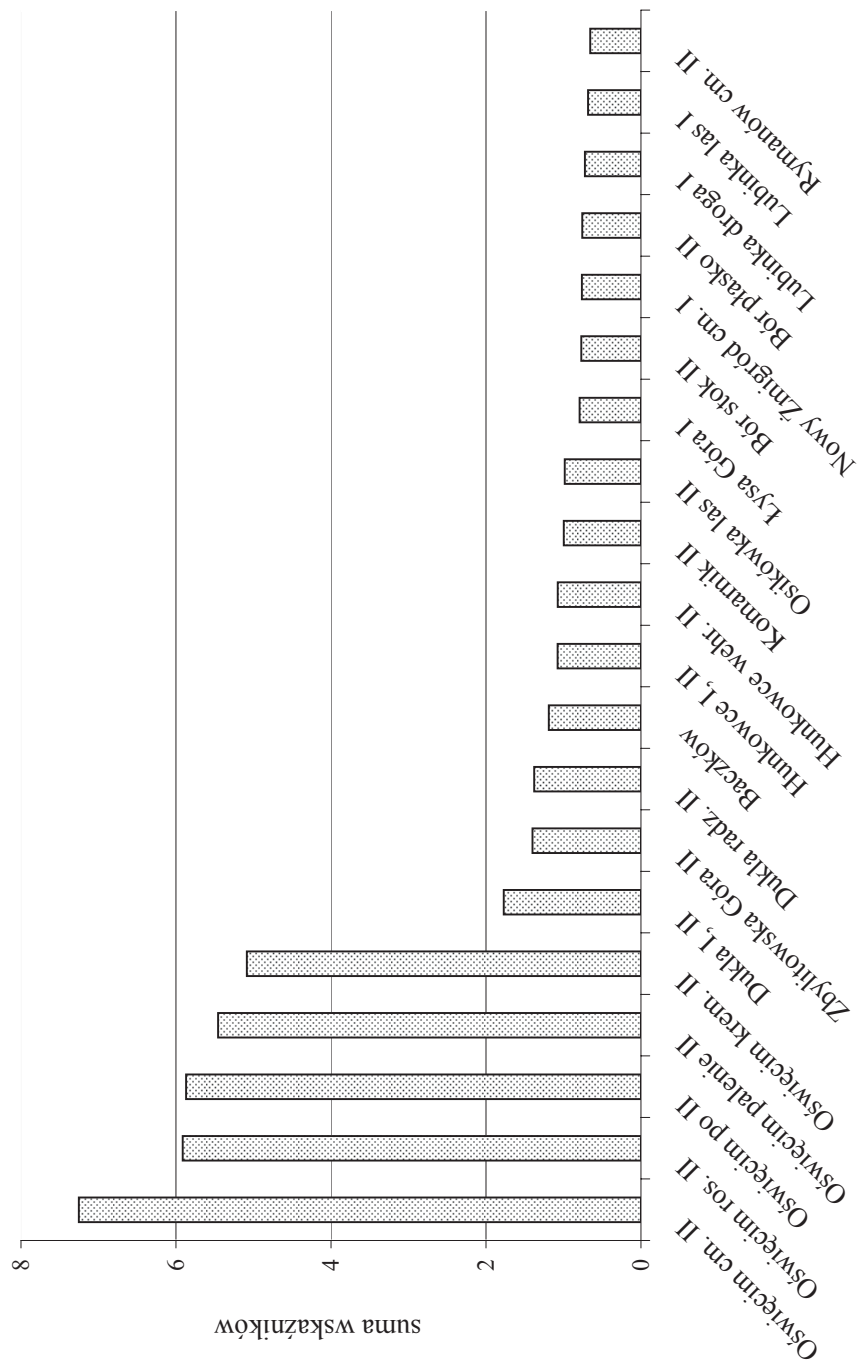
niec piątej dziesiątki tego rankingu (tab. 24). W jego czołówce znalazły się również czynne obecnie cmentarze, np. w Cerekwi i „Stary” w Tarnowie, oraz duże kirkuty, na których zaprzestano pochówku już w okresie II wojny, np. w Lesku, Krakowie-Płaszowie i Dąbrowie Tarnowskiej. Wysokie pozycje zajmują zatem głównie masowe groby z okresu II wojny, na których pochowano duże ilości osób. Prawidłowość tę zaburzają jednak warunki środowiska miejsca pochówku. W dużych masowych grobach zlokalizowanych na wierzchołkach, np. w Świdniku na Słowacji, Warzycach koło Jasła, Sękowej w Beskidzie Niskim itp., nie stwierdzono relatywnie wysokich zawartości pierwiastków pochodzących z dekompozycji. W miejscach tych poziom wód gruntowych nie zalewa pochówku i nie sięga górnego profilu podłoża. Zapewne pierwiastki te migrują w głębokie struktury podłoża. Jednak długi jest ich czas dotarcia do wód gruntowych, ze względu na utrudnienia i długość tej drogi (Żychowski i inni 2000; Knight, Dent 1998). Barięą jest między innymi niedostateczna ilość wody w sezonie letnim. Na drodze migracji pierwiastków nie mogą występować ujęcia wód gruntowych, np. studnie, źródła itp. Niekorzystne jest więc budowanie ujęć wody gruntowej poniżej tak zlokalizowanych pochówków. Istniejące tego rodzaju przypadki w terenie wymuszają bowiem kierunki krążenia wody w górotworze. Wybudowana w takich miejscach studnia zcerpuje wody podziemne i może doprowadzić do zmiany w krążeniu zanieczyszczonych wód gruntowych. Pochówki zlokalizowane na wierzchołkach, z głęboko zalegającą wodą gruntową, stanowią małe zagrożenie dla środowiska. Znacznie bardziej zagrażają środowisku nawet małe pochówki, ale zlokalizowane w dnach podmokłych dolin. Takim przykładem jest pochówek polskich żołnierzy poległych na Uroczysku Osikówka we wrześniu 1939 roku w Puszczy Niepołomickiej.

4.3. Różnice pomiędzy zawartością pierwiastków w 86 grobach i ich tłem geochemicznym

Zdecydowana większość grobów powtarza się również w czołówce rankingu z najwyższymi wskaźnikami, dotyczącymi badanych różnic pomiędzy zawartościami pierwiastków w 86 grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, dla tych samych ośmiu pierwiastków (tab. 25). W tym rankingu na najwyższych pozycjach, poza wyłączonymi w tych badaniach grobami z Oświęcimia, powtórzyły się także te same groby z Hunkowic, Dukli, Zbylitowskiej Góry, Boru, Osikówki, porównawcze miejsce z Baczkowa itd. (ryc. 3). Wysokie tego rodzaju wskaźniki różnic obliczono także dla:

- grobów z I wojny w Łysej Górze, Lubczy, Przemyślu, Łużnej, Łąckie, Krzczowie, Muchówce, Błoniach, Leszczynie itd.,
- grobów z tego okresu zlokalizowanych na cmentarzach w Nowym Żmigrodzie, Krośnie i Mikłuszowicach,
- cmentarzy w Krakowie-Płaszowie (kirkut), Cerekwi oraz w Lesku.

Natomiast zdecydowana różnica pomiędzy porównywanymi zestawieniami dotyczy grobów z I wojny, położonych w Sterkowcu koło Brzeska, Zoni w po-



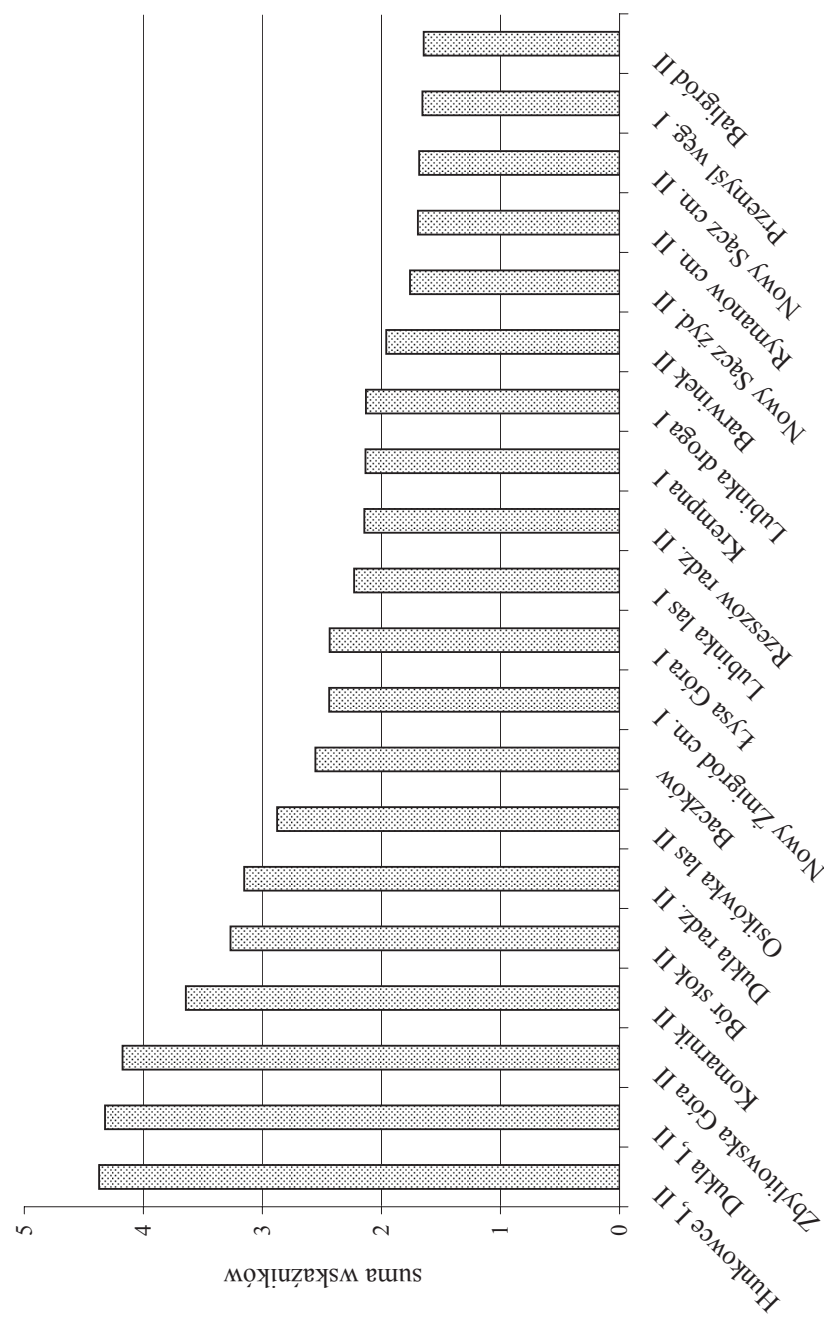
Ryc. 2. Miejscowości, w których zlokalizowane są pochówki o największych sumach wskaźników względnej zawartości ośmiu wyselekcjonowanych pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd

Tabela 25. Ranking 86 grobów ustalony na podstawie sumy wskaźników różnic pomiędzy zawartościami ośmiu pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na, Cd w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych

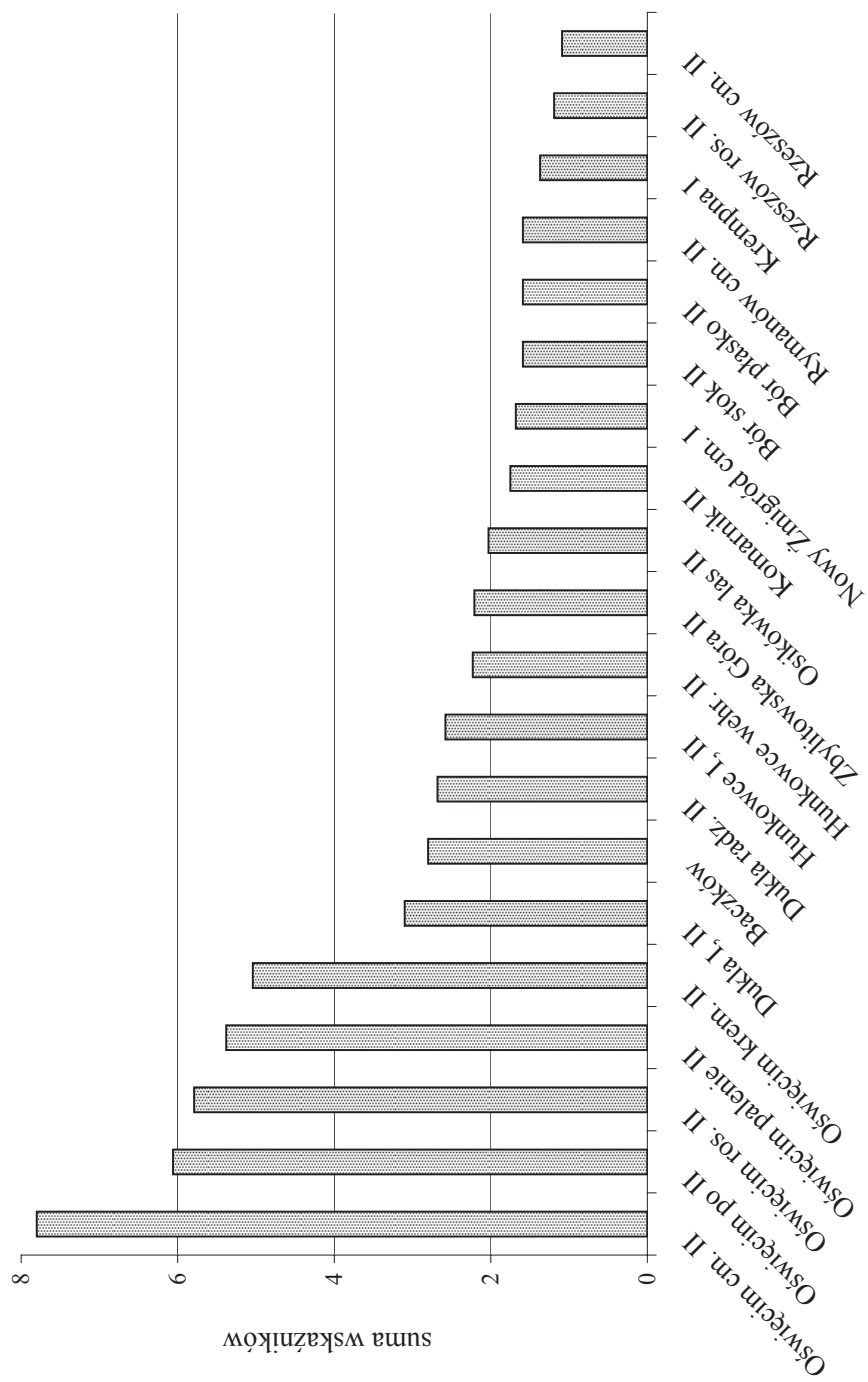
Suma wskaźników	Miejscowość/ rodzaj grobu/ okres pochówku	Suma wskaźników	Miejscowość/ rodzaj grobu / okres pochówku	Suma wskaźników	Miejscowość/ rodzaj grobu / okres pochówku
4,37	Hunkowce I, II	1,15	Kraków-Prandoty radz. II	0,60	Leksandrowa II
4,32	Dukla I	1,08	Łuźna wejście I	0,60	Ropica Górna droga I
4,18	Zbylitowska Góra II	1,05	Krzeczów I	0,57	Szczepanowice I
3,64	Komarnik II	1,05	Mikluszowice cm. I	0,56	Rajbrot las I
3,27	Bór stok II	1,04	Pustków ros. II	0,53	Męcina I
3,15	Dukla radz. II	0,97	Kraków-Prandoty wehr. II	0,52	Gawłów cm. I
2,88	Osikówka las II	0,94	Leszczyna I	0,51	Dębica żyd. II
2,56	Baczków	0,93	Łuźna dolny stok I	0,49	Łapanów 1 cm. I
2,44	Nowy Żmigród cm. I	0,92	Cerekiew cm.	0,49	Grabina I
2,44	Łysa Góra I	0,92	Przełęcz Małastowska I	0,48	Trzciana cm. I
2,23	Lubcza las I	0,90	Muchówka I	0,45	Łapanów 2 cm. I
2,14	Rzeszów radz. II	0,90	Kraków-Prandoty pol. II	0,44	Borzęcin cm. I
2,13	Krempna I	0,89	Blonie I	0,43	Biadoliny I
2,13	Lubcza droga I	0,86	Sterkowiec I	0,40	Brzesko I
1,96	Barwinek II	0,85	Ropica Górna – Małastów I	0,38	Nieprześnia I

1,76	Nowy Sącz żyd. II	0,85	Przemysł ros. I	0,34	Wola Nieszukowska I
1,69	Rymanów cm. II	0,83	Łąka wierzchovina I	0,31	Tarnowiec cm. I
1,68	Nowy Sącz cm. II	0,80	Zonia I	0,30	Skrzyszów II
1,66	Przemysł węg. I	0,78	Tarnów-Chyszów I	0,30	Rudy Rysie cm. I
1,65	Baligród II	0,75	Dąbrówka I	0,29	Szymbark cm. I
1,52	Nowy Sącz PKS II	0,74	Warys I	0,28	Potok I
1,45	Krosno cm. I	0,72	Przyborów I	0,26	Gorlice ul. Łokietka I
1,43	Łąka S I	0,71	Lesko żyd.	0,24	Bieleza cm. I
1,36	Kraków-Prandoty ang. II	0,70	Sobolów cm. I	0,18	Szymbark droga I
1,33	Łużna stok I	0,69	Brzesko I, II	0,17	Nowy Wiśnicz cm. I
1,33	Rymanów radz. II	0,65	Łąka N I	0,15	Podgórska Wola II
1,25	Łużna splaszczanie I	0,64	Dębica radz. II	0,08	Tarnów-Chyszów 2 I
1,20	Kraków-Płaszów żyd.	0,62	Jaszczew I	0,04	Żegocina cm. I
1,20	Kraków-Prandoty radz. ogródki	0,61	Szczepanów cm. I		

Oznaczenia: cm. – cmentarz; żyd. – żydowski; pol. – polski; ros. – rosyjski; radz. – radziecki; wehr. – wehrmachtu; aust. – austriacki; węg. – węgierski; I, II – grób z I i II wojny światowej; las, droga, stok, wejście itp. – lokalizacja grobu; Łapanów 2 – miejscowość z numerem grobu; S, N – ekspozycja grobu; PKS – w pobliżu dworca PKS-u.



Ryc. 3. Miejscowości z pochówkami, w których występują największe różnice pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, wyrażone w postaci sum wskaźników różnic zawartości dla ośmiu pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd



Ryc. 4. Miejscowości, w których zlokalizowane są groby o maksymalnej sumie wskaźników względnej zawartości dla jedenastu pierwiastków: Ca, Cu, N, F, K, S, Cl, Cr, Zn, P i Na

blizu Łapanowa oraz na Przełęczy Małastowskiej w Beskidzie Niskim (tab. 25). Te relatywnie duże różnice pomiędzy zawartościami pierwiastków w tych grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych wynikają z położenia tych grobów. Są one zlokalizowane na polanach śródleśnych, których środowisko zdecydowanie różni się od środowiska otaczającego lasu. W terenie wystąpiła zatem trudność z ustaleniem właściwego tła geochemicznego.

Trudno jest jednoznacznie określić, gdzie przebiega granica ilości pierwiastków, które mają związek z pochówkiem i dotyczą wszystkich grobów. Interesująca okazała się zmiana pozycji grobu w rankingu, jeśli uwzględniono w obliczeniach większą ilość pierwiastków. W tym celu obliczono sumy badanych wskaźników, włączając do obliczeń wskaźniki względnej zawartości kolejnych czterech pierwiastków: K, S, Zn, Cu. Ostatecznie w obliczeniach tych wykorzystano dane dla jedenastu pierwiastków: Ca, Cu, N, F, K, S, Cl, Cr, Zn, P i Na. Dołączone do poprzedniej grupy dodatkowo trzy pierwiastki: S, K i Cu, dominowały w podłożu grobów wysoko położonych w poprzednim rankingu, np. groby z Hunkowiec, Oświęcimia i porównawczy teren z Baczkowa. Pierwiastki te wyróżniają także inne podstawowe parametry statystyczne (tab. 26). Okazało się, że przeprowadzony ranking dla jedenastu pierwiastków nieznacznie zmienił pozycję badanych grobów (ryc. 4). Dodane pierwiastki przesuwają w górę rankingu, np. grób więźniów z obozu w Oświęcimiu, zlokalizowany przy ul. Więźniów Oświęcimia. W miejscu tym po wyzwoleniu pochowano zmarłych więźniów z obozu. Natomiast masowy grób jeńców radzieckich, położony w sąsiedztwie obozu, obniżył swoją pozycję. Trudno jednoznacznie ustalić co było powodem tego zjawiska. Pewne jest jedynie to, że grób więźniów zlokalizowany jest przy ulicy, wśród zabudowy miejskiej.

Do pierwszej dwudziestki rankingu dla jedenastu pierwiastków przesunął się grób z I wojny, z Krempnej, a wypadły groby z tego samego okresu z Lubczy i Łysej Góry. Wszystkie te groby doznały, w ostatnich latach, gruntownej przebudowy i są obecnie zadbane. Wspomniano już o tym wcześniej.

Najwyższe zawartości takich pierwiastków, jak: Cd, Ca, N, F, K, Na, Cl, Cr i P oraz w mniejszym stopniu Pb, Si, Al i Mg, występują przeważnie w grobach z Oświęcimia. W rankingach przeprowadzonych dla poszczególnych pierwiastków wyróżniają się również masowe groby z Dukli, Hunkowiec, Komarnika, Osikówki oraz porównawczy teren z Baczkowa. W Baczkowie stwierdzono najwyższe zawartości kilku pierwiastków: Cu, Pb, Fe, Ni oraz Mn. Miejsce to położone jest w terenie podmokłym i falistym, w południowo-wschodniej części Puszczy Niepołomickiej. Często po opadach, w jego zagłębieniach zalega woda. Jej nadmiar, ze względu na mały spadek, wolno odprowadzają lokalne rowy. Natomiast w podłożu masowego grobu położonego na stoku w Hunkowcach na Słowacji dominują takie pierwiastki, jak: S, I oraz Si. We wszystkich przeprowadzonych rankingach na wysokich pozycjach znalazły się groby z Hunkowiec oraz z Dukli. W porównaniach tych znacznie niższe pozycje zajmują groby z okresu I wojny z Brzeska i Krempnej. Grób w Brzesku wyróżnia najwyższa zawartość Al, a w Krempnej Mg. Wysokie pozycje tych dwóch oraz innych grobów z I wojny, zestawionych w piątej dziesiątce rankingu, są związane również z korozją metali. Na polach bitew, w tym również w miejscu pochówków, pozostało wiele fragmentów uzbrojenia i wyposażenia żołnierzy, np.: łuski, menażki, łyżki, bagnety, rzeczy

osobiste itp. Na tych grobach po zbudowaniu cmentarzy umieszczono nagrobne, żeliwne krzyże oraz żelazne tabliczki, które w wyniku korozji przełamywały się i pospadały na ziemię. Obecnie na ich powierzchni można również obserwować postępującą korozję (fot. 17). Podczas budowy 400 cmentarzy zużyto w okresie I wojny między innymi 10 000 ton żeliwa odlewniczego, 5555 ton żelaza kowalnego, 1200 ton gwoździ itp. (Broch, Hauptman 2000). Do tego należy jeszcze doliczyć materiał użyty podczas remontów.

Pozycję wyróżnionych grobów w rankingu dla jedenastu pierwiastków potwierdza także zestawienie opracowane dla różnic pomiędzy zawartościami tych pierwiastków w 86 badanych grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych (ryc. 5). W czołówce porównywanego zestawienia znalazły się prawie te same groby. Do pierwszych dwunastu grobów z poprzedniego rankingu dołączył tylko masowy grób z Barwinka. Na pozostałych pozycjach nastąpiły tylko niewielkie zmiany. Nie dotyczy to oczywiście pominiętych w tych porównawczych badaniach grobów z Oświęcimia. Groby te pominięto ze względu na trudności w wyborze miejsca porównawczego. Na okoliczne pola rozsypywano bowiem prochy palonych więźniów. Wybranie więc stosownego miejsca porównawczego jest wątpliwe i takiej próby nie podjęto. Tym bardziej, że i inne procesy, np. deflacji, doprowadziły do przemieszczenia się drobnego materiału. Ponadto w badanych grobach Oświęcimia stwierdzono wyjątkowo duże zawartości pierwiastków, które nie mieściły się w rozkładzie normalnym, typowym dla badanej populacji grobów. Z konieczności pominięto je również w badaniach, przeprowadzonych za pomocą metod numerycznych, przy wykorzystaniu programu Statistika. W tym rankingu dla różnic wyższą pozycję zajęły groby z Hunkowiec, Zbylitowskiej Góry, Boru, Komarnika i Rzeszowa (ryc. 5). Są to duże pochówki z okresu II wojny, z których uwolniły się i nadal uwalniają w procesach dekompozycji znaczne ilości pierwiastków. Środowiska tych grobów sprzyjają ich zatrzymywaniu, np. w Komarniku i Hunkowcach lub spowalniają migracje, np. w Rzeszowie i Borze, poprzez mniej lub bardziej trwałe połączenia produktów dekompozycji z minerałami ilastymi i pierwiastkami z naturalnego środowiska, np. żelazem. Połączenia te, pomimo przepuszczalnego podłoża, utrzymują się dłużej w związku z ograniczoną ilością wody w tych środowiskach. Natomiast zaburzone, pylasto-ilaste pokrywy osuwiskowe w Zbylitowskiej Górze są mało przepuszczalne i ograniczają wypłukiwanie produktów dekompozycji z zawodnionego, żwirkowego podłoża. Poniżej najniższej kwatery w dnie bezodpływowego zagłębienia zazwyczaj stoi woda. W okresie badań woda ta wyschła tylko w skrajnie suchych warunkach. Świadczy to o małej przepuszczalności górnej części tego profilu podłoża.

Natomiast pozostałe groby z czołówki rankingu obniżyły nieznacznie pozycję. Dotyczy to pochówków położonych w Dukli, Nowym Żmigrodzie, Krempnej, Rymanowie, na Osikówce w Puszczy Niepołomickiej oraz porównawczego miejsca w Baczkowie. W grupie tej znalazły się zarówno groby z I, jak i II wojny oraz te zlokalizowane w Karpatach i w Kotlinie Sandomierskiej. Podłoże w badanych miejscach w Puszczy Niepołomickiej generalnie jest piaszczyste, ale okresowo lokalnie podmokłe i zawiera substancję organiczną oraz frakcję ilastą. Takie warunki sprzyjają obecności w tym środowisku, poza podstawowymi pierwiastkami pochodzącymi z pochówku, także takich pierwiastków, jak: Cu, Zn, K i S. Pierwiastki te pochodzą także z naturalnego środowiska. Zestawienie to po-

twierdza także relatywnie wysokie zawartości pierwiastków, pochodzących z dekompozycji, w niektórych grobach z okresu I wojny. Dotyczy to zwłaszcza grobów z Łysej Góry koło Gorlic, Lubczy koło Zakliczyna, Przemyśla oraz z Krosna (ryc. 5). Groby z I wojny w Przemyślu i Krośnie położone są na miejscowych cmentarzach w otoczeniu innych pochówków. Ponadto ich podłoża są dobrze odwadniane, a panujące warunki sprzyjają zatrzymywaniu związków chemicznych in situ. Podobne warunki występują w Łysej Górze i na dwóch grobach w Lubczy. Te samodzielne groby z I wojny zlokalizowano na skraju i w głębi lasu. Położenie jednego z nich na terasach stoku, a drugiego na wierzcholinie, sprzyja głębokiemu zaleganiu wody gruntowej w tych miejscach (fot. 18). Zauważono natomiast ograniczony odpływ wód powierzchniowych, wymuszony morfologią terenu i właściwościami podłoża. Czynniki te powodują dłuższe utrzymywanie się wody w kałużach po większych opadach. To zróżnicowanie wilgotnościowe podłoża potwierdza stan roślinności na powierzchni tych grobów. Nie są to jednak na tyle duże ilości wody, które gwarantują istotne przemycie profili pionowych. Umożliwiają one jednak krążenie pierwiastków w podłożu poprzez wznios kapilarny i większe parowanie latem.

Większość badanych pierwiastków w podłożu 245 pochówków wykazuje duże różnice pomiędzy zawartościami maksymalnymi a pozostałymi miarami statystycznymi, czyli wartościami minimalnymi, średnimi i najczęstszymi (tab. 26). Największe różnice pomiędzy wartościami maksymalnymi a najczęstszymi dotyczą takich pierwiastków, dla których stwierdzono dziesiątki, a nawet setki razy wyższe tego rodzaju różnice, dla: Cu – 175 razy, Ca – 70 razy, P – 61 razy, K – 55 razy, N – 43 razy oraz Cl – 36 razy itd. Natomiast zdecydowanie mniejsze tego rodzaju różnice są wśród pierwiastków związanych z naturalnym środowiskiem. Kilka z nich wykazuje jednak istotne wielokrotnie większe różnice: Mn – 21 razy, Fe – 14 razy, Mg – 6,5 razy oraz Si – 7,5 razy. W takim porównaniu wyjątkową grupę stanowią ciężkie pierwiastki: Cr, Ni, Cd, Al oraz Pb. Najczęściej pierwiastki te nie występują w środowisku badanych masowych grobów. Dotyczy to przeważnie grobów z I wojny światowej. Jednak wartości maksymalne tych pierwiastków są kilkanaście razy wyższe od średnich. Szczególnie dotyczy to Cd i Cr, ale również F i I. Wśród badanych pierwiastków wyróżnia się szczególnie Ca i P, na co zwracają uwagę wszystkie miary statystyczne, w tym także duże wartości odchylenia standardowego (tab. 26).

Największe różnice pomiędzy zawartościami pierwiastków w podłożu 86 pochówków a ich koncentracją w miejscach porównawczych dotyczą: Cr, Cu, Cd, N, P i Cl. Pierwiastki te w badanych grobach wyróżniają się przeważnie wysokimi tego rodzaju różnicami i stosunkowo rzadkimi, bliskimi zeru, ujemnymi wartościami (tab. 27). Te wyższe zawartości pierwiastków w miejscach porównawczych zależą od zróżnicowania ich zawartości na niewielkiej przestrzeni i dotyczą przeważnie miejsc, gdzie obecnie nie obserwuje się wpływu pochówku na środowisko. W skrajnych przypadkach dodatnie różnice koncentracji pierwiastków w porównywanych miejscach są około 10 razy, a nawet dla Cr ponad 80 razy większe od wartości bezwzględnych różnic ujemnych, które obliczono dla niektórych grobów. W przypadku kilku pierwiastków: N, P i Cl liczba grobów, w których stwierdzono te ujemne badane różnice jest niewielka i wynosi odpowiednio 3, 6 i 9 przypadków. Są to pierwiastki pochodzące z pochówku i długo pozostające w grobach.

Tabela 26. Wybrane parametry statystyczne koncentracji pierwiastków w 245 pochówkach

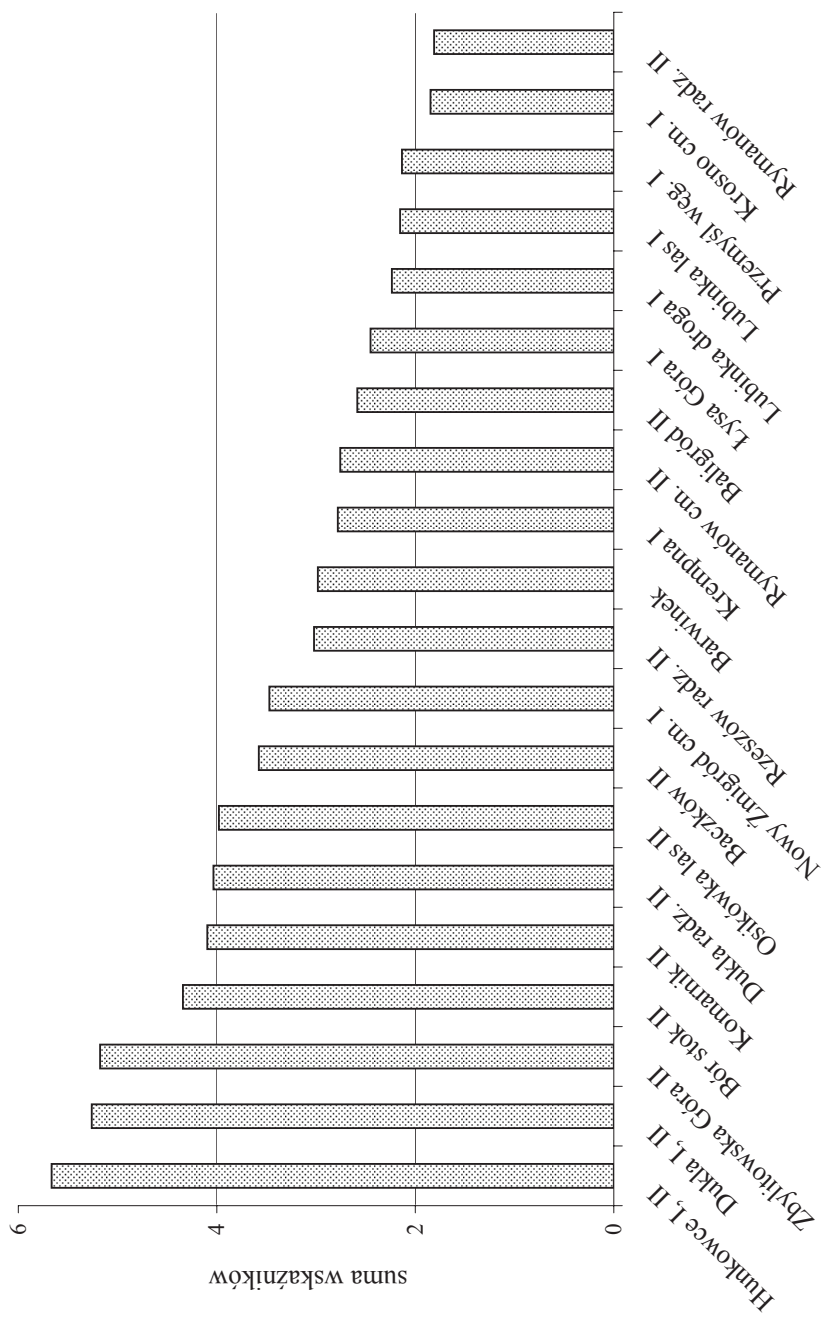
Badane pier- wiastki	Wybrane parametry statystyczne						Zawartości pierwiastków w ppm, w ran- kingu malejącym		
	Wartości maksy- malne w ppm	Wartości mini- malne w ppm	Wartości średnie w ppm	Wartości najczęstsze w ppm	Odczylenie standardowe	Na 10 pozycji	Na 50 pozycji	Na 100 pozycji	
Na	224,3	2,0	21,8	16,4	23,9	56,4	26,4	2,7	
K	894,1	1,0	15,0	16,4	59,2	45,8	16,2	9,3	
Mg	92,3	1,0	13,3	14,1	13,0	37,0	17,1	13,3	
Ca	1345,3	1,3	45,2	19,4	161,6	85,2	35,2	19,8	
Cr	3,2	0	0,14	0	0,38	1,0	0,15	0	
Mn	135,2	0,14	13,9	6,4	16,8	42,4	18,4	12,2	
Fe	75,2	1,0	13,1	5,4	11,8	42,1	17,7	12,0	
Ni	22,5	0	3,1	0	3,5	9,8	4,3	2,7	
Cu	245,4	0,6	8,9	1,4	18,4	25,4	12,0	6,2	
Zn	112,4	0,2	12,7	5,4	18,1	64,0	17,1	8,4	
Cd	10,3	0	0,2	0	1,0	0,8	0,16	0	
Al	3,7	0	0,3	0	0,6	2,0	0,3	0,1	
Si	123,3	1,2	19,7	16,4	18,3	72,3	26,1	16,4	
Pb	25,4	0	2,9	0	3,7	11,3	4,4	2,0	
N	701,2	1,0	26,4	16,4	79,5	82,4	20,0	12,4	
P	1000,2	1,4	55,5	16,4	132,7	241,0	44,3	25,8	
S	175,2	0,36	12,7	5,4	19,7	55,9	16,4	8,4	
F	36,7	0	1,5	0	4,1	6,4	1,74	0,96	
Cl	369,3	0,62	23,3	10,3	38,2	45,7	29,0	18,3	
I	1,4	0	0,13	0	0,24	0,8	0,2	0,06	

Tabela 27. Wybrane parametry statystyczne różnic w zawartościach, obliczonych pomiędzy zawartością pierwiastków w 86 pochówkach a ich koncentracją w miejscach porównawczych

Badane pierwiastki	Wybrane parametry statystyczne badanych różnic						Badane różnice zawartości pierwiastków w ppm, w rankingu malejącym pochówków		
	Wartości maksymalne w ppm	Wartości minimalne w ppm	Wartości średnie ¹ , w ppm	Odchylenie standardowe	Liczba grobów ²	Na 10 pozycji	Na 50 pozycji	Na 75 pozycji	
Na	80,9	-21,0	8,8 (10,1)	14,6	15	21,6	4,8	-2,2	
K	48,2	-18,0	3,6 (5,9)	12,3	36	16,1	0,05	-6,4	
Mg	71,7	-20,1	3,3 (7,4)	17,8	46	27,3	-2,7	-11,6	
Ca	99,8	-12,5	18,6 (19,8)	25,5	21	56,5	8,0	-3,7	
Cr	1,0	-0,05	0,15 (0,15)	0,3	34	0,5	0,001	-0,009	
Mn	120,8	-13,6	7,9 (10,2)	19,8	33	25,7	0,9	-8,4	
Fe	73,7	-7,6	10,4 (11,0)	15,1	18	26,7	3,7	-1,16	
Ni	20,3	-9,7	2,4 (3,1)	5,4	27	8,6	0,5	-2,2	
Cu	230,3	-14,1	5,8 (8,5)	27,8	37	14,7	-0,02	-8,3	
Zn	82,8	-18,6	11,3 (12,4)	21,2	30	32,9	1,9	-2,65	
Cd	0,8	-0,01	0,06 (0,09)	0,2	52	0,31	-0,04	-0,07	
Al	2,7	-1,83	-0,5 (0,19)	0,9	66	0,9	-0,9	-1,4	
Si	76,8	-10,0	12,5 (12,8)	18,5	18	26,6	6,3	-2,2	
Pb	12,2	-11,1	1,5 (2,1)	3,4	31	6,3	0,6	-1,7	
N	99,9	-6,9	19,3 (19,5)	19,4	3	41,7	12,9	6,9	
P	523,1	-38,1	58,8 (59,8)	84,2	6	152,8	25,8	7,7	
S	167,6	-17,2	9,4 (11,6)	24,6	28	26,0	2,6	-6,9	
F	7,9	-1,1	0,9 (1,1)	1,6	25	2,5	0,33	-0,43	
Cl	103,2	-9,7	13,1 (13,7)	15,3	9	29,2	8,0	1,7	
I	1,2	-0,8	0,14 (0,16)	0,3	37	0,45	-0,009	-0,06	

¹ W nawiasach podano wartości średnie, jeśli w obliczeniach zamiast badanych różnic przyjęto wartość „0”

² Liczba grobów, dla których obliczono ujemne różnice pomiędzy badanymi zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych.



Ryc. 5 Miejscowości z pochówkami, w których występują największe różnice zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, wyrażone w postaci sum wskaźników różnic zawartości dla jedenastu pierwiastków: Ca, Cu, N, F, K, S, Cl, Cr, Zn, P i Na

Kilka pierwiastków wykazywało relatywnie większą koncentrację w miejscach porównawczych dla większości badanych pochówków. Takie przypadki dotyczyły odpowiednio: 46 pochówków dla Mg, 66 dla Al i 52 dla Cd na 86 badanych różnic. Wyniki sugerują wyprowadzanie tych pierwiastków ze środowiska grobu przy udziale pierwiastków pochodzących z dekompozycji. Duża liczba tego rodzaju przypadków wyklucza nawet istotne znaczenie warunków środowiska dla tego procesu. Problem ten wymaga jednak specjalistycznych badań, w tym dotyczących związków chemicznych, które opuszczają pochówek.

Badana próba 86 pochówków wykazuje duży wpływ pochówku na środowisko. Nie dotyczy to jednak wszystkich badanych pierwiastków. Dla pierwiastków: Pb, Al, Ni, Mg, K i Na badane różnice są niewielkie. Przypadki te sugerują również inne źródło ich dostawy do niektórych masowych grobów. Dotyczy to głównie grobów zlokalizowanych przy ruchliwych drogach, w dużych miastach. Niektóre badane pierwiastki wykazują wysokie różnice zawartości w nielicznych grobach. Dotyczy to tych pierwiastków, dla których obliczono duży wskaźnik zmienności zawartości, czyli stosunek maksymalnej badanej różnicy do średniej zawartości dla każdego pierwiastka. Te najwyższe ilorazy wynoszą odpowiednio dla: Mg – 10 razy, Mn – 12 razy, Al – 14 razy, S – 14 razy oraz Cu – 23 razy. Pierwiastki te zostały zatem, w tych nielicznych miejscach, utrwalone na dłużej w związkach chemicznych. Niewykluczone, że skrajne koncentracje niektórych pierwiastków są również związane z innymi źródłami dostawy, np. Cu (tab. 27). Prawdopodobnie trafił on do podłoża w związku z mechaniczną wycinką drzew.

W miejscach pochówków występują również takie pierwiastki, jak: Fe, Si i Na. Ich zawartości są relatywnie wyższe w zdecydowanej większości masowych grobów (tab. 27). Żelazo sprzyja sorpcji innych pierwiastków i powoduje zatrzymanie w miejscu pochówku produktów dekompozycji. Z kolei środowiska z wyższą zawartością krzemu, czyli podłoża piaszczyste, ułatwiają przemieszczanie pierwiastków. Zawartości kilku pierwiastków: K, Ca, Cd, N, P, Cl, Cu, F, Na i Cr bardzo szybko maleją w kolejnych grobach, ustawionych w rankingu malejącym badanych zawartości. Jest to szczególnie widoczne, gdy porównujemy ich wartości maksymalne i te dla pochówków z pozycji 10, 50 i 100 wspomnianego wcześniej rankingu grobów (tab. 28). Taka zmienność zawartości w malejącym rankingu wyróżnia te pierwiastki, które pochodzą z dekompozycji. Potwierdza się również wcześniejszy wniosek, że najczęściej pierwiastkami typowymi dla naturalnych środowisk grobów są: Mg, Mn, Fe, Si, S i I. Nie ma jednak pewności, czy część ich zawartości nie pochodzi z dekompozycji, szczególnie, gdy rozpatrujemy ich zawartość w dużych grobach z pierwszych pozycji rankingów. Pozostałe badane pierwiastki określa się w literaturze jako ciężkie: Ni, Zn, Pb i Al. W niektórych grobach część ich zawartości pochodzi zapewne z innej działalności człowieka, a szczególnie w tych, które leżą w pobliżu ruchliwych dróg i w środowiskach wielkomiejskich.

Analizowane rankingi grobów dla każdego pierwiastka nie pozwalają jednak wyróżnić tych pierwiastków, które są najbardziej charakterystyczne dla podłoża pochówków. Na ich podstawie trudno obiektywnie wyrokować, ile i które z pierwiastków środowiska są najistotniejsze dla oceny wpływu pochówków na środowisko.

Tabela 28. Wskaźniki zmienności zawartości pierwiastków, obliczone jako stosunek maksymalnych zawartości danego pierwiastka do jego koncentracji w grobie, zajmującym w malejącym rankingu pozycję 10, 50 i 100

Badane pierwiastki	Wskaźniki zmienności zawartości pierwiastków dla grobów zajmujących w rankingach malejących koncentracji pierwiastków pozycję:		
	10	50	100
Na	4	8	83
K	20	60	96
Mg	2	4	7
Ca	16	30	68
Cr	3	20	o zawartości
Mn	3	7	11
Fe	2	4	6
Ni	2	5	8
Cu	10	20	40
Zn	2	7	13
Cd	13	64	o zawartości
Al	2	12	37
Si	2	5	8
Pb	2	6	13
N	8	35	57
P	4	23	39
S	3	11	21
F	6	21	38
Cl	8	13	20
I	2	7	23

Na podstawie zmienności różnic w zawartościach, które obliczono pomiędzy zawartościami pierwiastków w 86 grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, dla pochówków zajmujących pozycję 1, 10 i 50 w przeprowadzonych rankingach dla każdego pierwiastka wyróżniono 4 typy zmienności (tab. 29). W I typie zmienności występują takie pierwiastki, jak: Pb, Zn, Ni, Cr, Mg i K. Obliczone dla tych pierwiastków badane różnice zawartości maleją wolno w kolejnych grobach, zaczynając od czołówki rankingu do pozycji 10. Natomiast zmniejszanie się tych różnic jest już gwałtowniejsze w grobach zajmujących w tym rankingu pozycję od 10 do 50. Z kolei dla grobu zajmującego pozycję 50 stwierdzono już zawartości tych pierwiastków na poziomie miejsc porównawczych (tab. 27). Pierwiastki z tej grupy są więc typowe dla dużych grobów masowych, w których pochowano żołnierzy przeważnie z okresu II wojny światowej. W grupie tej znalazły się także nieliczne masowe groby z I wojny z Lubczy i Łużnej, zlokalizowane na cmentarzach, np. w Nowym Żmigrodzie oraz te pochówki z I wojny, które zlokalizowano w pobliżu masowych grobów z okresu II wojny, np. w Dukli.

W typie II i III zmienności również wolno maleją badane różnice, obliczone dla grobów zajmujących 1 i 10 pozycję. Natomiast inna jest zmienność tych różnic pomiędzy pozycją 10 i 50. W typie II, a szczególnie w III, relatywnie wolniej

ubywają różnice zawartości pierwiastków w grobach, zajmujących te uwzględnione pozycje. Dotyczy to zatem takich pierwiastków z grupy III, jak: Cl, N, Si, I, Al i Na. Część z nich to charakterystyczne pierwiastki dla naturalnych środowisk, np. Si i Fe. Kilka pierwiastków utrzymuje się długo w środowisku grobów ze względu na trwalsze połączenia z innymi pierwiastkami, np. Fe i P. Ponadto pierwiastki te są nadal uzupełniane w wyniku trwającej dekompozycji, która obecnie dotyczy głównie kości. Problem ten będzie w pracy jeszcze rozważany. Natomiast pierwiastki z grupy IV: Cu, S i Mn, występują w relatywnie większych ilościach tylko w kilku grobach. Miedź i mangan wyróżniają groby przeważnie duże z pochówkami żołnierzy po bitwach, np. w Dukli, Oświęcimiu – grób na cmentarzu, Rzeszowie, z Osikówki itp. Natomiast ekstremalnie wysoka zawartość Cu w Baczkanie nie jest związana z żadnym pochówkiem. W miejscach tych stwierdzono również wysoki poziom zwierciadła wody, który sprzyja wysokim zawartościom tych jonów w wodzie podziemnej (Trick i inni 2001; Tumagole 2004). Dużą zmienność koncentracji Cu zaobserwowano w profilach pionowych (Spongberg, Becks 2000a; Żychowski i inni 2006). Z kolei Mn należy do najbardziej rozpowszechnionych w naturalnym środowisku, po Fe, pierwiastków ciężkich. Jego naturalne występowanie, w połączeniu z zawartością w pochówkach i wysokim poziomem zwierciadła wody gruntowej, sprzyja wysokim koncentracjom Mn w grobach, np.: w Zbylitowskiej Górze, Mikluszowicach, Rudach Rysiach, Dukli, na Uroczysku Osikówka oraz w porównawczym miejscu w Baczkanie. Relatywnie wysokie koncentracje S dotyczą kilku grobów z bitwy o Przełęcz Dukielską, które wykopano w glinach, np. w: Hunkowcach, Komarniku, Świdniku, Barwinku oraz grobów wykopanych w zailonych piaskach w Rzeszowie i Borze. Podłoża tych pochówków są zazwyczaj wilgotne, a w Hunkowcach i Borze stwierdzono nawet okresowo wysoki poziom wody gruntowej. Warunki beztlenowe sprzyjają zachowaniu związków siarki w podłożu. Ta jej obecność wynika z relacji pomiędzy mineralizacją sulfolipidów organicznych i metabolizmem mikroorganizmów włączających związki siarki do materii organicznej (Strickland, Fitzgerald 1983; Strickland i inni 1984; Roy i inni 2000).

Tabela 29. Typy zmienności badanych różnic w zawartościach, które obliczono pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, ustalone na podstawie zmienności tych różnic dla grobów z pozycji 1, 10 i 50 malejących rankingów dla poszczególnych pierwiastków

Typ zmienności	Szybkość zmienności badanych różnic dla grobów zajmujących w rankingach pozycję:		Pierwiastki o określonych typach zmienności badanych różnic	Pierwiastki, dla których wykazano zerowe różnice dla grobu z pozycji 50 w rankingu
	1 i 10	10 i 50		
I	wolno ^{*1}	szybko ^{*2}	Pb, Zn, Ni, Cr, Mg, K	Pb, Ni, Cr, Mg, K
II	wolno	średnio	F, P, Cd, Fe, Ca	F, Cd
III	wolno	wolno	Cl, N, Si, Al, Na, I	Al, I
IV	szybko	szybko	S, Cu, Mn	Cu, Mn

^{*1} wolno – od 1 do 3 razy i szybko – > 5 razy, większa badana różnica, obliczona pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, dla grobów zajmujących w rankingach różnic pozycję 1 i 10.

^{*2} wolno – < 6 razy; średnio – 6 do 10 razy oraz szybko – > 10 razy większa badana różnica zawartości pierwiastków dla grobów zajmujących w rankingach tych różnic pozycję 10 i 50.

4.4. Grupy pierwiastków wykazujące wpływ pochówków na środowisko

Średnia arytmetyczna wszystkich pozycji grobu, które zajmował w każdym z rankingów, utworzonych dla wyróżnionych grup pierwiastków (ciężkich, środowiskowych, złożowych, eutorficznych i utleniaczy), pozwoliła rozdzielić groby Oświęcimią, zwykle dominujące w poprzednich badaniach (tab. 30). Generalnie jednak tylko niektóre groby nieznacznie zmieniły swoją pozycję w zestawieniu.

Tabela 30. Miejscowości z pochówkami zajmującymi najwyższą pozycję w rankingu, ustalonym dla 245 grobów, według średniej arytmetycznej pozycji grobu, obliczonej na podstawie pozycji grobów w rankingach dla wyróżnionych grup pierwiastków

Średnia pozycja grobu	Pochówki w miejscowościach	Pozycje grobów w rankingach ustalonych dla poszczególnych grup pierwiastków				
		Na, Cl, S, Mn	Mg, Ca, Si	Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Pb, Fe, Ni	N, P, K	F, I
5	Oświęcim cm. II	1	3	17	1	3
6,6	Oświęcim po II	4	4	21	3	1
8,2	Oświęcim radz. II	5	1	31	2	2
8,6	Hunkowce I, II	6	14	9	8	6
8,8	Hunkowce II	7	12	7	10	8
11,4	Dukla I	11	6	2	7	31
11,8	Komarnik II	10	15	14	9	11
11,8	Zbylitowska Góra II	15	13	8	6	17
13,4	Dukla radz. II	16	11	4	11	25
14	Bór 2 II	14	19	10	18	9
15	Bór 1 II	12	22	12	19	10
16,2	Oświęcim palenie II	2	2	68	5	4
19,8	Oświęcim krem. II	3	5	82	4	5
20,4	Osikówka II	8	9	3	22	60
20,6	Baczków	9	8	1	16	69
21,8	Barwinek II	17	21	22	12	37
23,8	Nowy Żmigród cm. I	27	10	5	28	49
28	Pustków prochy II	22	29	40	30	19
29	Rymanów cm. II	28	39	6	14	58
31,4	Baligród II	76	30	16	21	14
33,2	Krempna I	42	7	11	15	91
36,6	Rzeszów cm. II	19	57	65	26	16
37,4	Rzeszów radz. II	18	80	57	20	12
43	Lubcza las I	23	50	80	17	45

Oznaczenia: I, II – grób z I i II wojny światowej; cm. – cmentarz; cm. II – grób z II wojny położony na cmentarzu; radz. – radziecki; po II – grób osób z obozu zmarłych po zakończeniu II wojny; las – lokalizacja grobu; palenie – miejsce spalania ciał; krem. – miejsce składowania prochów po spaleniu w krematoriach; prochy – miejsce wysypywania prochów po spaleniu; Bór 2 – miejscowość z numerem grobu

Dotyczy to zwłaszcza grobów z Oświęcimia. Szczególnie dwa groby z ludzkimi prochami przesunęły się na dalszą pozycję, pomimo dużej liczby spalonych ciał. Jest to konsekwencją względnie odległej pozycji tych grobów w rankingu dla grupy ciężkich pierwiastków. Pierwiastki te pochodzą głównie z przedmiotów towarzyszących pochówkom oraz z odłamków i pocisków, które utkwily w ciałach zabitych lub zostały wraz z nimi zakopane. Czynniki te nie wystąpiły jednak w tych dwóch miejscach. Interesująca jest w ich przypadku wysoka pozycja w rankingu utworzonym dla „pierwiastków utleniających”, przy względnie niskiej pozycji tych grobów w rankingu dla „pierwiastków ciężkich”. Podobne relacje dotyczą grobów z Rzeszowa, Lubczy oraz Pustkowa, gdzie również zakopywano ludzkie prochy. Odmianą relację pomiędzy pozycjami grobów w rankingach utworzonych dla tych dwóch grup pierwiastków wykazują: kilka masowych grobów z II wojny, położonych w Dukli, Zbylitowskiej Górze i na Osikówce, grób z tego samego okresu położony na cmentarzu w Rymanowie, pochówek z I wojny w Nowym Żmigrodzie, samodzielny pochówek z I wojny zlokalizowany na wierzchołku lokalnego wzniesienia w Krempej oraz porównawcze miejsce w Baczkowie.

Prawidłowości te potwierdzają również rankingi dla próby 86 grobów, utworzone w podobny sposób dla różnic pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych (tab. 31).

W większości grobów z czołówki tych rankingów, poza grobem w Krempej, okresowo utrzymuje się wysoki poziom wody gruntowej. Natomiast pozostałe groby z czołówki obu rankingów z Hunkowic, Komarnika, Boru, Baligrodu i Barwinka zajmują podobną pozycję w obu grupach, tj. „pierwiastków ciężkich” i „utleniających”. Podłoże tych pochówków jest dobrze odwodnione. Woda szybko opuszcza groby, z wyjątkiem pochówków w Borze, ze względu na korzystną morfologię terenu. Nie można wykluczyć również innych przyczyn decydujących o zawartości pierwiastków w podłożu tych pochówków.

W odniesieniu do pozostałych trzech grup pierwiastków: „Na, Cl, S, Mn”; „Mg, Ca, Si” i „N, P, K”, pozycje grobów z czołówki rankingów dla 245 grobów, poza nielicznymi przypadkami, różnią się przeważnie nieznacznie. Do tych wyjątków należą miejsca o zdecydowanie wilgotnych środowiskach, np. grób z Osikówki i porównawcze miejsce z Baczkowa, w przeciwieństwie do suchych środowisk grobów z Krempej, Lubczy, Rzeszowa oraz Rymanowa. Znacznie większe tego rodzaju różnice w zajmowanych pozycjach pomiędzy zestawieniem dla różnych grup pierwiastków występują wtedy, gdy groby zajmują w nich niższą pozycję. Dotyczy to głównie grobów z I wojny światowej. Zdarzają się wśród nich również duże masowe groby z II wojny, np. ze Świdnika. Jest to wynikiem bardziej złożonego wpływu wielu cech środowiska na proces dekompozycji i obieg pierwiastków. Masowy grób żołnierzy w Świdniku położony jest na wierzchołku wzniesienia górującego nad miastem (fot. 19). Kwatery tego grobu rozmieszczone są na terasach antropogenicznych. Jego powierzchnia jest gruntownie zmieniona przez człowieka. W krajobrazie dominuje beton, z którego wykonany jest pomnik, pionowe ściany tarasów, posadzki i schody (fot. 19). Te antropogeniczne obiekty zakłócają obieg materii w środowisku. Wody podziemne pod tym pochówkiem zalegają głęboko, w związku z tym kierunek przemieszczania się produktów dekompozycji jest zbliżony do pionowego. W przypadku tego grobu produktów dekompozycji należy poszukiwać poniżej pochówku. Celowe jest w takich mor-

fologicznych warunkach przeprowadzenie stosownych wierceń lub wykopów. Sposób ten zastosowano badając inne groby. Wyniki tych badań prezentowane są w rozdziale 9.

Tabela 31. Miejscowości z pochówkami zajmującymi najwyższą pozycję w rankingu ustalonym dla 86 grobów, według średniej arytmetycznej pozycji grobów, obliczonej na podstawie pozycji grobów w rankingach dla badanych różnic, w wyróżnionych grupach pierwiastków

Średnia pozycja grobu	Pochówki w miejscowościach	Pozycje grobów w rankingach ustalonych dla poszczególnych grup pierwiastków				
		Na, Cl, S, Mn	Mg, Ca, Si	Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Pb, Fe, Ni	N, P, K	F, I
5,4	Dukla I	2	1	4	8	12
5,8	Hunkowce I, II	1	6	20	1	1
5,8	Zbylitowska Góra II	6	7	3	5	8
8,2	Komarnik II	5	11	21	2	2
9,6	Dukla radz. II	7	8	6	14	13
13	Barwinek II	8	12	35	3	7
13,2	Bór 1 II	9	15	5	4	33
13,8	Osikówka II	4	2	1	11	51
14,2	Krempna I	18	5	7	17	24
17,4	Baligród II	46	19	13	6	3
19,2	Rymanów cm. II	28	23	8	15	22
20	Nowy Żmigród cm. I	17	4	12	22	45
22,6	Pustków radz. II	26	32	37	9	9
22,8	Baczków	15	3	2	29	65
22,8	Lubcza las I	10	24	25	23	32
25,2	Rzeszów radz. II	12	47	46	7	14
27,6	Przemyśl węg. I	3	20	29	33	53
28,8	Lubcza droga I	11	65	22	25	21
30	Nowy Sącz żyd. II	32	34	10	43	31
31,4	Rymanów radz. II	14	26	18	60	39
31,6	Nowy Sącz cm. II	31	43	26	40	18
32	Łysa Góra I	20	18	19	36	67
32,4	Brzesko II, I	45	73	11	28	5
34,8	Krosno cm. I	19	45	69	26	15

Oznaczenia: I, II – groby z I i II wojny światowej; cm. – cmentarz; cm. II – grób z II wojny położony na cmentarzu; radz. – radziecki; żyd. – żydowski; węg. – węgierski; po II – grób osób z obozu zmarłych po wyzwoleniu obozu; las, droga – lokalizacja grobu; palenie – miejsce spalania ciał; krem. – miejsce składowania prochów po spaleniu w krematoriach; prochy – miejsce wysypywania prochów po spaleniu; Bór 1 – miejscowość z numerem grobu

Ingerencja człowieka w środowisko pochówku wpływa na wyniki analiz szczególnie wtedy, gdy oddziaływanie na środowisko pochówku jest już niewielkie. Problem ten dotyczy większości grobów z I wojny światowej. Oddzielenie znaczenia poszczególnych czynników, które wpływają na koncentrację badanych pierwiastków, wymaga precyzyjnych metod i rozległych specjalistycznych badań.

W rankingach dotyczących badanych różnic dla 86 pochówków większość grobów, np. z II wojny z Hunkowiec, Dukli, Komarnika, Zbylitowskiej Góry, Boru oraz grób z I wojny z Nowego Żmigrodu, zachowała lub nieznacznie zmieniła pozycję w wyróżnionych grupach pierwiastków. Kilka pochówków, w tym z Barwinka, Krempnej, Baligrodu, Lubczy, które występują w czołówce dla 245 grobów, znalazło się na wyższej pozycji w rankingu średniej pozycji grobu, ustalonego dla 86 pochówków (tab. 31). Jedynie porównawcze miejsce z Baczkowa obniżyło swoją pozycję. Środowisko tej leśnej szkółki jest zdecydowanie podmokłe. Często w tym miejscu występują wahania poziomu wody gruntowej. Ponadto w przypadku tego stanowiska wystąpiły trudności z wyborem miejsca porównawczego, bowiem miejsce poboru próbki położone jest na skraju lasu we wklęsłej formie terenu, która jest odwadniana rowami. Natomiast miejsce porównawcze leży wyżej i różni się warunkami środowiska. Podobne warunki środowiskowe stwierdzono na Uroczysku Osikówka w Puszczy Niepołomickiej (fot. 20).

Dodatkowo przeprowadzono grupowania 245 grobów w nowych grupach pierwiastków: N, P i K – „eutroficzna”; Na, Cl i Ca – „ograniczająca”; S, Fe, Mg, Si i Mn – „środowiskowa”; Cu, Zn, Al, Pb i Ni – „pierwiastków ciężkich”; F i I – „utleniaczy”; Cr i Cd – „pierwiastków śladowych” (tab. 32, 33, 36, 38, 40, 42, 44). W tym celu obliczono wskaźniki względnej zawartości, dzieląc sumy zawartości pierwiastków w wyróżnionych grupach przez maksymalną sumaryczną zawartość tych pierwiastków, czyli przez wartość najwyższą dla pierwszego grobu w rankingu dla danej grupy pierwiastków.

Największe badane wskaźniki względnej zawartości dotyczą, w większości grup pierwiastków, grobów z Oświęcimia. Jedynie w grupie pochówków zestawionych dla pierwiastków „środowiskowych”, a przede wszystkim ciężkich, największe wskaźniki dotyczą innych grobów, np. z: Hunkowiec na Słowacji, Dukli, Osikówki oraz porównawczego miejsca z Baczkowa (tab. 32, 33).

Jednak masowe groby o najwyższych wskaźnikach, np. te z Oświęcimia, obecne w grupie „pierwiastków środowiskowych” oraz te z Dukli, obecne w grupie „pierwiastków ciężkich”, znajdują się również wysoko w drugim rankingu. Mianowicie, odpowiednio groby z Oświęcimia są w grupie „pierwiastków ciężkich”, a groby z Dukli w grupie „pierwiastków środowiskowych” (tab. 32, 33). Uzyskane wyniki potwierdzają duże znaczenie wielkości pochówku dla procesu dekompozycji i obiegu pierwiastków, niezależnie od cech środowiska. Dotyczy to zwłaszcza masowych grobów zlokalizowanych w Hunkowcach, Komarniku, Oświęcimiu, Borze, Dukli, Zbylitowskiej Górze, Rzeszowie oraz porównawczego miejsca w Baczkowie. W czołówce badanych rankingów występują sporadycznie niewielkie pochówki, np. masowy grób z II wojny położony na Osikówce w Puszczy Niepołomickiej. W środowisku tego grobu występują znaczne koncentracje pierwiastków typowych dla procesu dekompozycji. Są one również charakterystyczne dla niektórych grobów z I wojny światowej, położonych w Krempnej i Wapiennym w Beskidzie Niskim, Łużnej na Pogórzu Ciężkowickim, Przemysłu oraz tych,

gdzie pochówek masowy miał miejsce na cmentarzach, np. w Nowym Żmigrodzie i Mikluszowicach (tab. 33).

Tabela 32. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al, Pb, Ni” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości, obliczonych dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al, Pb, Ni”
0,8 – 1	Baczków
0,6 – 0,8	Dukla II, I ^{*1}
0,4 – 0,6	Dukla radz. II; Osikówka pol. II
0,2 – 0,4	Nowy Żmigród cm. I; Rymanów cm. II; Zbylitowska Góra II; Krempna I; Bór 2 II; Hunkowce I, II; Oświęcim cm. II; Bór 1 II
0,0 – 0,2	Hunkowce II; Oświęcim po II; Rymanów II; Oświęcim radz. II; Tarnów cm. II; Gawłów cm. I; Tarnów I; Baligród II; Komarnik II; Cerekiew cm.; Tarnów cm. „Stary”; Przemysł cm., żyd. II; Tarnów-Chyszów 1 I; Tarnów cm., żyd.; Przemysł węg. I; Przemysł aust. I; Barwinek II; Łysa Góra I; Mikluszowice cm. I; Przemysł wehr. II; Przemysł pol. II; Oświęcim palenie II; Lubcza las I; Pustków prochy II; Dębica I; Oświęcim krem. II; Dębica radz. II; Lubcza droga I; Pustków radz. II; Lesko żyd.; Nowy Sącz PKS II; Nowy Sącz cm. I; Rzeszów radz. II; Łąka S I; Nowy Sącz 1 żyd. II; Nowy Sącz żyd., pol. II; Nowy Sącz cm. II; Błonie I; Sterkowiec I; Dąbrówka las I; Rzeszów cm. II; Łużna wejście I; Krzczów I; Łużna stok I; Łużna pol. I; Łużna węg. I; Sobolów cm. I; Niepołomice II; Waryś I; Świdnik radz. II; Wapienne I; Rajbrot I

^{*1} oznaczenia: I, II – groby z I i II wojny światowej; cm. – cmentarz; cm. II – grób z II wojny położony na cmentarzu; żyd. pol. II – grób polskich żołnierzy na kirkucie; żyd. – żydowski; pol. – polski; ros. – rosyjski; radz. – radziecki; wehr. – wehrmachtu; aust. – austriacki; węg. – węgierski; po II – grób osób z obozu zmarłych po zakończeniu II wojny; las, droga, stok, płasko, spłaszczenie, wejście – lokalizacja grobu; palenie – miejsce spalania ciał; prochy – miejsce wysypywania prochów po spalaniu; krem. – miejsce składowania prochów po spalaniu w krematoriach; obóz 1 – miejsce, gdzie wysypywano prochy po spalaniu osób z obozu; ogródki – miejsce porównawcze w ogródkach; Bór 1 – miejscowość z numerem grobu; S – ekspozycja grobu; PKS – w pobliżu dworca PKS-u.

Tabela 33. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości, obliczone dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości, obliczonych dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn”
0,8 – 1	Hunkowce I, II ^{*1} ; Hunkowce II; Oświęcim cm. II; Osikówka pol. II
0,6 – 0,8	Komarnik II; Baczków ; Oświęcim po II; Oświęcim radz. II
0,4 – 0,6	Bór 1 II; Barwinek II; Bór 2 II; Oświęcim palenie II; Dukla II, I; Oświęcim krem. II; Zbylitowska Góra II; Krempna I; Rzeszów cm. II; Rzeszów radz. II
0,2 – 0,4	Niepołomice II; Baligród II; Dukla radz. II; Nowy Żmigród cm. I; Pustków prochy II; Łużna pol. I; Łużna stok I; Mikluszowice cm. I; Rymanów cm. II; Wapienne I; Nowy Sącz żyd. II; Nowy Sącz żyd., pol. II; Przemysł węg. I; Łużna węg. I; Nowy Sącz PKS II; Nowy Sącz cm. II; Przemysł wehr. II; Przemysł pol. II; Nowy Sącz cm. I; Przemysł cm., żyd. II; Łużna wejście I; Lubcza las I; Świdnik radz. II; Rymanów radz. II; Przemysł aust. I; Dębica radz. II; Lesko żyd.; Sterkowiec I
0,0 – 0,2	Łąka S I; Łysa Góra I; Pustków radz. II; Lubcza droga I; Dąbrówka las I; Dębica I; Cerekiew cm.; Sobolów cm. I; Krzczów I; Gawłów cm. I; Tarnów cm. „Stary”; Tarnów I; Waryś I; Tarnów cm., żyd. II; Tarnów cm. II; Tarnów-Chyszów I; Rajbrot I; Błonie I

^{*1} oznaczenia jak wyżej

Relatywnie mniejsze zawartości pierwiastków ciężkich stwierdzono w podłożu grobów z prochami w Oświęcimiu i Pustkowie. Jest to potwierdzeniem już wcześniej wykazanej prawidłowości. Natomiast stosunkowo wysokie zawartości tych pierwiastków odnotowano w podłożu masowych grobów, w których pochowano rozstrzelaną w okresie II wojny ludność cywilną, np. w Zbylitowskiej Górze, Borze i Tarnowie. Ponadto wysokie wskaźniki obliczono również dla grobu z I wojny położonego w Krempej, masowych grobów leżących na cmentarzach w Rymanowie, Nowym Żmigrodzie i Gawłowie, dla cmentarzy „Starego” w Tarnowie i parafialnego w Cerekwi oraz porównawczego miejsca z Baczkowa (tab. 32).

Znaczna część tych koncentracji jest związana z wyposażeniem chowanych osób. Z wywiadów i opublikowanych wspomnień wynika, że były to wyroby jubilerskie, metalowe przedmioty, części ubrań, np. guziki, spinki oraz pociski, które uśmierciły tych ludzi. Stosunkowo nieduży pochówek z Krempej zlokalizowano na lekko opadającej w kierunku północnym wierzchołku lokalnego wzniesienia (fot. 21). Pochowano w nim 53 żołnierzy austriackich, 33 rosyjskich i 34 nieznanego pochodzenia. Grób ten został w ostatnich latach gruntownie przebudowany dzięki wsparciu finansowemu Austriackiego Czarnego Krzyża, lokalnych władz oraz przy pomocy żołnierzy polskich i austriackich z 54. Kadrowego Pułku Obrony Krajowej ze Styrii w Austrii, stacjonujących na wzgórzach Golan. To odnowione i ładnie położone miejsce odwiedza dużo ludzi. Przed murem w kształcie okręgu, z 3-stopniowym, kamiennym podestem, można usiąść i podziwiać krajobraz. Pod pochówkiem, ze względu na położenie, głęboko zalega woda podziemna. Jednak przy większych ulewach woda gromadzi się w niżej położonej północnej części grobu, ponieważ mur kamienny uniemożliwia szybki odpływ wody. Natomiast w okresach suszy górna część profilu jest bardzo przesuszona. Pomimo cienia, jaki rzucają rosnące na obrzeżach grobu brzozy i sosny, usychają nawet skromnych rozmiarów źdźbła trawy (fot. 21). Wspomniane wyżej trzy masowe groby położone są na cmentarzach leżących na zupełnie innych formach terenu, w zróżnicowanych podłożach, w których występują inne stosunki wodne. Kolejny, niewielki masowy grób z Gawłowa leży na płaskim terenie terasy Raby, w obrębie cmentarza ewangelickiego (fot. 22). W miejscu tym okresowo występuje wysoki poziom wody gruntowej. Utwory pylaste sprzyjają tu także podnoszeniu się wody kapilarnej. Z kolei na spłaszczeniu cmentarza w Nowym Żmigrodzie znajduje się duży masowy grób z I wojny, w którym pochowano 216 żołnierzy. Byli to żołnierze obu armii, którzy zginęli w walkach lub zmarli w wojskowym szpitalu w wyniku odniesionych ran. Ten grób o powierzchni 1649 m² znajduje się we wschodniej części. Natomiast znaczna część powierzchni tego parafialnego cmentarza opada łagodnie w kierunku zachodnim. Woda podziemna zalega tutaj na głębokości kilku metrów i nie ma warunków morfologicznych, by mogła znacznie się podnosić. Nie wyklucza się zalegania wody na powierzchni po większych ulewach deszczu. Cmentarz ten w ostatnich latach gruntownie odnowiono (fot. 23).

Natomiast trzeci, niewielki masowy grób z okresu II wojny, leży w dolnej części stoku, poniżej licznych pochówków, na cmentarzu parafialnym w Rymanowie (fot. 24). Nachylenie stoku powyżej tego grobu jest zmienne, ale miejscami dochodzi do 8 stopni. Woda gruntowa pod tym cmentarzem zalega w skałach fliszowych na głębokości 4,5 m. Natomiast poniżej badanego grobu teren jest

płaski i okresowo podmokły. Wody opadowe, penetrując cmentarne groby, mają możliwość podpowierzchniowego dopływu do podłoża badanego grobu.

Z kolei dwa wspomniane cmentarze z Tarnowa i Cerekwi położone są na terasach rzecznych. Szczególnie pochówki na cmentarzu „Starym” w Tarnowie narażone są na podtopienia związane z wahaniami wody w korycie potoku Wątok (fot. 25). Natomiast osady terasy Raby w Cerekwi są bardzo zróżnicowane. W podłożu tego parafialnego cmentarza dominują utwory pylaste. Ponieważ leży on na płaskiej terasie, w znacznej odległości od koryta rzeki, to poziom wód gruntowych zwykle zalega na głębokości 3 m. Podnosi się on jedynie w okresie dużych opadów deszczu. Te skrajne warunki sprzyjają zapadaniu się grobów.

Wysokie pozycje grobów w ustalonym rankingu, uwzględniającym 245 grobów, dla wskaźnika względnej zawartości pierwiastków ciężkich potwierdza także identyczny ranking, dotyczący badanych różnic względnej zawartości dla 86 pochówek (tab. 34). W czołówce tego sprawdzającego grupowania występują jedynie nieznaczne zmiany pozycji. Wyższe pozycje w tym rankingu zajęły przede wszystkim groby żołnierzy polskich z Osikówki, jeńców radzieckich z Rymanowa oraz obywateli polskich, pochowanych na cmentarzu w Rymanowie. Ponadto w rankingu dla próby 86 grobów na wysokiej pozycji znalazły się także groby położone: na cmentarzu wojskowym przy ulicy Prandoty w Krakowie oraz kirkut w Krakowie-Płaszowie.

Pochówki położone w niedalekiej odległości od ruchliwych ulic, co ma szczególnie miejsce w dużych miastach, wykazują wyższe badane różnice zawartości pierwiastków ciężkich. Te wyższe koncentracje wynikają z położenia miejsc porównawczych, które zazwyczaj są odległe od ruchliwych ulic, ze względu na trudności w znalezieniu stosownego miejsca dla określenia tła geochemicznego. Znacznie większe różnice pomiędzy rankingami dotyczą grobów znajdujących się na dalszych pozycjach. Są to groby, które w znikomym stopniu wpływają na środowisko. Dla tych pochówek wykazano małe lub nawet ujemne różnice pomiędzy zawartościami badanych pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych. Są one zgrupowane w przedziale wyznaczonym przez wskaźnik o wartości poniżej 0,2 (tab. 32). Na wysokich pozycjach, w tym przedziale, znajdują się groby wysoko położone w obu rankingach, np.: samodzielne groby z II wojny położone w Hunkowcach i Rymanowie, masowe groby z I wojny z Łysej Góry i Tarnowa-Chyszowa, groby z I wojny leżące na cmentarzach w Gawłowie, Przemysłu (żołnierzy rosyjskich) i Mikłuszowicach, cmentarz w Cerekwi itd.

Niewiele grobów z czołówki rankingu, dla 245 pochówek, wykazuje małe różnice pomiędzy zawartościami pierwiastków ciężkich w grobie a ich koncentracją w miejscach porównawczych. Przykładem takiego pochówku jest duży masowy grób z II wojny położony na Przełęczy Dukielskiej w Komarniku (tab. 32, 34). Dla tego grobu na Słowacji wystąpiły trudności z ustaleniem miejsca porównawczego. Pochówek ten leży na stoku o profilu schodowym przekształconym antropogenicznie. Z trzech stron jest on otoczony lasem (fot. 26). Natomiast poniżej tego grobu teren jest płaski i wykazuje cechy dużego zawiłocenia. Zapewne w latach wilgotnych jest on nawet podmokły. Ponadto okoliczny teren był polem dużej bitwy. A w miejscach tych, w całej Europie, znajduje się w podłożu duża ilość uzbrojenia, fragmentów pocisków, części wyposażenia żołnierzy, ich osobiste

przedmioty itp. (Stephen 1997). Na polach Verdun znaleziono w podłożu nawet 20 do 30 ton metali na hektar.

Trudności z ustaleniem tła geochemicznego dotyczą także masowych grobów z I wojny, położonych w lasach na polanach, w Muchówce, Sterkowcu, Nieprześni, Łużnej itd. Problem ten związany jest z dużym zróżnicowaniem pomiędzy środowiskiem grobu położonego na polanie leśnej a otaczającym lasem.

Tabela 34. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al, Pb, Ni” i dotyczące 86 grobów*²

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach różnic względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al., Pb, Ni”
0,6 – 1	Baczków ; Osikówka II* ¹
0,4 – 0,6	Dukla II, I; Dukla radz. II
0,2 – 0,4	Rymanów cm. II; Nowy Żmigród cm. I; Zbylitowska Góra II; Krempna I; Bór II
0,0 – 0,2	Płaszów żyd.; Rymanów radz. II; Kraków-Prandoty ang. II; Kraków-Prandoty radz., ogródki II; Hunkowce II, I; Kraków-Prandoty pol. II; Przemyśl ros. I; Cerekiew cm.; Kraków-Prandoty wehr. II; Przemyśl wehr. II; Gawłów cm. I; Baligród II; Tarnów-Chyszów 1 I; Mikluszowice cm. I; Przemyśl węgl. I; Lubcza las I; Dębica żyd. II; Nieprześnia I; Dębica radz. II; Łąka S I; Rzeszów radz. II; Barwinek II; Lubcza droga I; Sterkowiec I; Łysa Góra I; Szymbark droga I; Łużna stok I; Szczepanowice I; Pustków radz. II; Nowy Sącz PKS II; Leszczyna I; Łąka wierz. I; Grabina I; Potok I; Nowy Sącz żyd. II; Szymbark cm. I; Ropica Górna las I; Ropica Górna droga I; Łąka N I; Nowy Sącz cm. II; Trzciana cm. I; Dąbrówka I; Przełęcz Małastowska I; Brzesko II, I; Lesko żyd.; Łużna wejście I; Błonie I; Wola Nieszowska I; Gorlice Łokietka I; Muchówka I; Łapanów 1 cm. I; Brzesko I; Łużna węgl. I; Łużna pol. I; Łapanów 2 cm. I; Borzęcin cm. I; Przyborów I; Białoliny I; Zonia I; Jaszczew I; Żegocina cm. I; Leksandrowa II; Krzczów I; Rudy Rysie cm. I; Tarnowiec cm. I; Męcina cm. I; Komarnik II; Szczepanów cm. I; Waryś I; Bielcza cm. I; Skrzyszów II; Nowy Wiśnicz cm. I; Sobolów cm. I; Tarnów Chyszów 2 I; Rajbrot I; Krosno cm. I; Podgórska Wola II

*¹ oznaczenia jak wyżej; *² w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”

Na wysokich pozycjach w obu rankingach ustalonych dla wskaźników względnej zawartości pierwiastków środowiskowych: S, Fe, Mg, Si i Mn, znalazły się groby z Hunkowiec, Komarnika, Barwinka, Boru, Dukli, Osikówki oraz porównawcze miejsce z Baczkowa (tab. 33, 35). Są to w większości przypadków duże groby, z wyjątkiem grobu na Osikówce. Poza rozmiarem pochówki, kolejnym powodem tak wysokiej pozycji tych grobów jest ingerencja człowieka w naturalne środowisko. Polegała ona na spulchnieniu podłoża, pozostawieniu na polu walki fragmentów uzbrojenia, zmianie profilu stoków, betonowaniu powierzchni, budowaniu opasek betonowych, pomników itp. W czołówce obu rankingów znalazły się groby położone:

- w dolnych częściach stoków, np. groby z Hunkowiec, Komarnika, Zbylitowskiej Góry,
- na lokalnych spłaszczeniach, np. z Nowego Żmigrodu, Krempnej, Barwinka,
- w obniżeniach, np. z Osikówki i Baczkowa.

Groby te są również zróżnicowane pod względem wykształcenia podłoża. Pochówki z Puszczy Niepołomickiej leżą na stożku napływowym Raby w Kotlinie Sandomierskiej. Natomiast groby z II wojny położone w Hunkowcach, Komarniku, Barwinku i Dukli zostały wykopane w glinach, przeważnie ciężkich, leżących na utworach fliszowych. Największe podobieństwo pomiędzy tymi grobami dotyczy większego zawilgocenia podłoża, poza grobami w Rzeszowie i częściowo w Krempnej. Wyniki te sugerują istnienie wielu czynników wpływających na wysokie wskaźniki względnej zawartości pierwiastków. Nieliczne groby z czołówki rankingu, opracowanego dla próby 86 grobów, leżących w Rudach Rysiach i dwóch w Szymbarku oraz znacznie więcej pochówek, zajmujących dalszą pozycję w obu rankingach z Krosna, Sterkowca, Ropicy Górnej, Krakowa-Płaszowa, Brzeska, Szczepanowa itp., wykazuje niższą pozycję w porównywanym grupowaniu dla 245 grobów (tab. 35). Dla tych grobów także wystąpiły trudności w ustaleniu reprezentatywnego miejsca porównawczego. Uwidacznia się to szczególnie przy pochówkach zajmujących w rankingach odległe pozycje. Groby te obecnie nie wykazują wpływu na środowisko.

Tabela 35. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn” i dotyczące 86 grobów²

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach różnic względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn”
0,6 – 1	Hunkowce II, I ^{*1} ; Osikówka II, Komarnik II
0,4 – 0,6	Baczków ; Rudy Rysie cm. I; Barwinek II; Bór II
0,2 – 0,4	Zbylitowska Góra II; Krempna I; Dukla II, I; Szymbark cm. I; Rzeszów radz. II; Baligród II; Nowy Żmigród cm. I; Szymbark droga I; Łużna pol. I; Łużna węg. I;
0,0 – 0,2	Dukla II; Przemyśl węg. I; Mikluszowice cm. I; Ropica Górna droga I; Kraków-Płaszów żyd.; Krosno cm. I; Sterkowiec I; Brzesko II; Brzesko II, I; Nowy Sącz żyd. II; Rymanów cm. II; Szczepanów cm. I; Łużna wejście I; Ropica Górna las I; Nowy Sącz PKS II; Przemyśl wehr. II; Łużna stok I; Męcina I; Łapanów 2 cm. I; Lubcza las I; Rymanów radz. II; Dąbrówka I; Nowy Sącz cm. II; Przemyśl ros. I; Pustków radz. II; Łąka S I; Łąka N I; Dębica żyd. II; Podgórska Wola II; Łapanów 1 cm. I; Łąka wierz. I; Łysa Góra I; Tarnowiec cm. I; Lubcza droga I; Kraków-Prandoty ang. II; Trzciana cm. I; Gawłów cm. I; Potok I; Lesko żyd.; Dębica radz. II; Skrzyszów II; Kraków-Prandoty radz. ogródki II; Bielcza cm. I; Przełęcz Małastowska I; Kraków-Prandoty radz. II; Przyborów I; Biadoliny I; Kraków-Prandoty wehr. II; Jaszczew I; Krzczów I; Cerekiew cm.; Grabina I; Borzęcin cm. I; Gorlice Łokietka I; Szczepanowice I; Wola Nieszowska I; Nowy Wiśnicz cm. I; Żegocina cm. I; Waryś I; Leksandrowa II; Sobolów cm. I; Leszczyna I; Tarnów-Chyszów I; Muchówka I; Rajbrot I; Tarnów-Chyszów 2 I; Błonie I; Nieprześnia I; Zonia I

^{*1}oznaczenia jak wyżej; ^{*2} w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”.

Wydzielenie z pierwiastków ciężkich osobnej grupy „pierwiastków śladowych” – Cd i Cr, pozwoliło dostrzec inną pozycję grobów z Oświęcimia, które zdecydowanie dominują w grupowaniu przeprowadzonym dla tego zestawienia (tab. 36). Obu tych pierwiastków brakuje w większości grobów z okresu I wojny. Natomiast relatywnie wysoka ich zawartość występuje w nielicznych dużych masowych grobach z okresu II wojny. Poza grobami z Oświęcimia są to groby położone w Niepołomicach i Dukli oraz porównawcze miejsce w Baczkowie (tab. 36).

Tabela 36. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cr, Cd” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „Cr, Cd”
0,6 – 1,0	Oświęcim cm. II* ¹ ; Oświęcim radz. II
0,2 – 0,6	Oświęcim po II; Oświęcim palenie II; Oświęcim krem. II
0,1 – 0,2	Niepołomice II; Dukla II, I; Baczków ; Dukla radz. II
0,05 – 0,1	Hunkowce II; Zbylitowska Góra II; Osikówka II; Łysa Góra I; Hunkowce I, II; Komarnik II; Bór 1 II; Lubcza droga I; Bór 2 II; Nowy Sącz PKS II; Nowy Sącz cm. I
0 – 0,05	Lubcza las I; Nowy Sącz żyd. pol. II; Tarnów cm. „Stary”; Nowy Sącz żyd., 1 II; Nowy Sącz cm. II; Nowy Żmigród cm. I; Krempana I; Tarnów cm. II; Rymanów cm. II; Łąka S I; Błonie I; Tarnów-Chyszów I; Pustków prochy II; Krzeczów I; Rymanów radz. II; Łuzna stok I; Tarnów I; Tarnów cm., żyd.; Mikluszwice cm. I; Dębica radz. II; Rajbrot I; Przemyśl wehr. II; Dąbrówka las I; Łuzna węg. I; Łuzna pol. I; Cerekiew cm.; Sterkowice I; Łuzna wejście I; Baligród II; Barwinek II; Rzeszów radz. II; Rzeszów cm. II; Gawłów cm. I; Przemyśl węg. I; Pustków radz. II; Lesko żyd.; Wapienne I; Świdnik radz. II; Sobolów cm. I; Przemyśl cm., żyd. II; Dębica I; Warys I; Przemyśl aust. I; Przemyśl pol. II

*¹ oznaczenia jak wyżej

W obu grupowaniach, w grupie z najwyższymi badanymi wskaźnikami dla „Cr, Cd”, znalazła się większość tych samych pochówków (tab. 36, 37). Pomijając groby z Oświęcimia i Niepołomic, których nie włączono do próby 86 pochówków, to groby z Dukli, Zbylitowskiej Góry, Hunkowiec, Łysej Góry, Boru, Lubczy, Osikówki oraz porównawcze miejsce z Baczkowa. Na czołowych pozycjach w obu tych grupowaniach znalazły się także groby z dużych miast, tj. z Krakowa i Nowego Sącza. W przypadku tych grobów wystąpiły trudności w znalezieniu reprezentatywnego miejsca porównawczego. Kilka grobów zlokalizowanych na małych formach terenu, dla których wystąpiły trudności z wyborem miejsca porównawczego, wykazuje wysoką pozycję w grupowaniu wskaźnika różnic. Są to pochówki z Krempanej, Komarnika, Nowego Żmigrodu oraz masowy grób leżący na Przełęczy Małastowskiej.

Tabela 37. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cr, Cd” i dotyczące 86 grobów^{*2}

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach różnic względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „Cr, Cd”
0,6 – 1,0	Osikówka II*; Zbylitowska Góra II; Dukla II, I; Łysa Góra I; Hunkowce II, I; Komarnik II; Lubcza droga I; Kraków-Prandoty ang. I; Baczków ; Kraków-Prandoty pol. II; Kraków-Prandoty radz. II; Nowy Sącz cm. II; Bór 1 II;
0,2 – 0,6	Nowy Sącz PKS II; Kraków-Płaszów żyd.; Lubcza las I; Nowy Żmigród cm. I; Nowy Sącz cm. II; Kraków-Prandoty wehr. II; Przełęcz Małastowska I; Łąka S I; Krempana I; Rymanów cm. II; Dukla radz. II; Błonie I
0,1 – 0,2	Tarnów-Chyszów 2 I; Łąka wierz. I; Rymanów radz. II; Łuzna węg. I; Dębica radz. II; Muchówka I; Przemyśl wehr. II; Dąbrówka I; Łuzna stok I; Brzesko II, I; Zonia I; Rajbrot I; Łuzna pol. I
0,05 – 0,1	Cerekiew cm.; Sterkowiec I; Krzczów I; Mikłuszowice cm. I; Łąka N I; Łuzna wejście I
0 – 0,05	Baligród II; Rudy Rysie cm. I; Tarnów-Chyszów 2 I; Biadoliny I; Brzesko II; Gawłów cm. I; Gorlice Łokietka I; Jaszczew I; Leksandrowa II; Lesko żyd; Łapanów 1 cm. I; Łapanów 2 cm. I; Sobolów cm. I; Szczepanowice I; Trzciana cm. I; Wola Nieszkowska I; Barwinek II; Bielcza cm. I; Borzęcin cm. I; Dębica żyd. II; Grabina I; Krosno cm. I; Leszczyna I; Męcina cm. I; Nieprześnia I; Nowy Wiśnicz cm. I; Podgórska Wola II; Potok I; Przemyśl ros. I; Przemyśl węg. I; Przyborów I; Pustków radz. II; Ropica Górna droga I; Ropica Górna las I; Rzeszów radz. II; Skrzyszów II; Szczepanów cm. I; Szymbark cm. I; Szymbark droga I; Tarnowiec cm. I; Waryś I; Żegocina cm. I

*1oznaczenia jak wyżej; *2 w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”.

W grupie „pierwiastków eutroficznych” zdecydowanie wyróżniają się groby z Oświęcimia (tab. 38). Są to przede wszystkim groby z tradycyjnym pochówkiem. Natomiast w miejscach spalania ciał, prawdopodobnie pod wpływem temperatury, część pierwiastków z tej grupy tworzy związki chemiczne z innymi pierwiastkami i ulatnia się w postaci gazu. Natomiast na najniższej położonej kwaterze grobu w Zbylitowskiej Górze zaobserwowano wyjątkowo wyrosnięte rośliny zielne. Z kolei duży masowy grób w Dukli wysypano drobnym żwirem. W jego podłożu stwierdzono relatywnie duże koncentracje N, P i K. Poza grobami z II wojny, na wysokich pozycjach przeprowadzonego grupowania znalazły się również groby z I wojny położone w Krempanej, Lubczy i Łysej Górze oraz groby z tego samego okresu zlokalizowane na cmentarzach w Nowym Żmigrodzie i Gawłowie, a także cmentarze w Cerekwi i Tarnowie.

Wysokie pozycje wielu grobów z rankingu dla 245 pochówków, leżących w Zbylitowskiej Górze, Hunkowcach, Dukli, Komarniku, Barwinku, Krempanej itd., potwierdza grupowanie dla próby 86 pochówków (tab. 38, 39). Kilka grobów z okresu I wojny zajmuje nawet w tym grupowaniu wyższe pozycje. Są to najczęściej groby położone na skraju lasu lub na polanach w Rajbrocie, Jaszczwi, Zoni, Błoniach oraz na cmentarzach w Nowym Żmigrodzie, Mikłuszowicach, Gawłowie, Sobolowie itp. Natomiast znacznie mniejsza liczba cmentarzy, np. z Tarnowa i Rymanowa, wykazuje niższą pozycję w rankingu wskaźnika różnic. Wyniki te potwierdzają już wcześniej wykazane trudności z wyznaczeniem miejsca porównawczego. Nie można wykluczyć i innych przyczyn tego zjawiska, ale wymaga to dodatkowych specjalistycznych badań.

Tabela 38. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „N, P, K” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „N, P, K”
0,6 – 1,0	Oświęcim cm. II* ¹ ; Oświęcim radz. II; Oświęcim po II; Oświęcim krem. II; Oświęcim palenie II
0,2 – 0,6	Zbylitowska Góra II
0,1 – 0,2	Dukla II, I; Hunkowce II, I; Komarnik II; Hunkowce II; Dukla radz. II; Barwinek II; Tarnów I; Rymanów cm. II
0,05 – 0,1	Krempna I; Baczków ; Bór 2 II; Lubcza las I; Bór 1 II; Rzeszów radz. II; Baligród II; Osikówka II; Cerekiew cm.; Lubcza droga I; Tarnów cm., żyd.; Rzeszów cm. II; Nowy Żmigród cm. I; Tarnów cm. II; Gawłów cm. I; Pustków prochy II; Łysa Góra I
0 – 0,05	Błonie I; Mikuszowice cm. I; Tarnów cm. „Stary”; Rajbrot I; Krzczów I; Tarnów-Chyszów I; Niepołomice II; Pustków radz. II; Dąbrówka las I; Dębica radz. II; Sterkowiec I; Świdnik radz. II; Sobolów cm. I; Dębica I; Waryś I; Wapienne I; Lesko żyd.; Łąka S I; Rymanów II; Przemyśl cm. żyd., II; Nowy Sącz żyd. 1 II; Przemyśl wehr. II; Nowy Sącz PKS II; Nowy Sącz żyd., pol. II; Nowy Sącz cm. II; Przemyśl aust. I; Przemyśl pol. II; Nowy Sącz cm. I; Przemyśl węg. I; Łuzna pol. I; Łuzna stok I; Łuzna węg. I; Łuzna wejście I

*¹oznaczenia jak wyżej.

Tabela 39. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „N, P, K i dotyczące 86 grobów”²

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „N, P, K”
0,6 – 1,0	Zbylitowska Góra II* ¹ , Hunkowce II, Dukla II, I, Komarnik II
0,2 – 0,6	Dukla radz. II; Barwinek II; Krempna I; Lubcza las I; Rzeszów II; Osikówka II; Rymanów cm. II; Lubcza droga I; Cerekiew cm.; Bór 1 II; Baczków ; Gawłów cm. I; Nowy Żmigród cm. I; Łysa Góra I
0,1 – 0,2	Baligród II; Błonie I; Tarnów-Chyszów I; Mikuszowice cm. I; Rajbrot I; Krzczów I; Dąbrówka I; Sterkowiec I; Pustków radz. II; Dębica radz. II; Lesko żyd.; Waryś I; Sobolów cm. I; Jaszcze I; Zonia I; Nowy Sącz żyd. II; Męcina I; Ropica Górna las I; Szczepanowice I; Nowy Sącz cm. II; Tarnowiec cm. I; Rymanów radz. II; Dębica żyd. II; Łąka S I
0,05 – 0,1	Przemyśl wehr. II; Łąka wierz. I; Nowy Sącz PKS II; Przemyśl ros. I; Brzesko II, I; Leszczyna I; Borzęcin cm. I; Szczepanów cm. I; Łąka N I; Przełęcz Małastowska I; Przemyśl węg. I; Ropica Górna droga I; Grabina I; Łuzna węg. I; Łuzna pol. I; Trzciana cm. I; Brzesko II; Potok I; Łuzna wejście I; Przyborów I; Biadoliny I; Nieprześnia I; Krosno cm. I; Rudy Rysie cm. I
0 – 0,05	Łuzna stok I; Wola Nieszkowska I; Skrzyszów II; Bielcza cm. I; Kraków-Płaszów żyd.; Łapanów 1 cm. I; Kraków-Prandoty radz. II; Podgórska Wola II; Nowy Wiśnicz cm. I; Leksandrowa II; Kraków-Prandoty radz. II; Kraków-Prandoty ang. II; Kraków-Prandoty wehr. II; Łapanów 2 cm. I; Szymbark cm. I; Muchówka I; Szymbark droga I; Gorlice ul. Łokietka I; Tarnów-Chyszów 2 I; Żegocina cm. I

*¹oznaczenia jak wyżej; *² w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”

Wartości badanych wskaźników, obliczone dla grupy pierwiastków Na, Cl i Ca, zawartych w grobach Oświęcimia, są zdecydowanie wyższe od tych ustalonych dla pozostałych badanych grobów (tab. 40). W przeprowadzonych rankingach dla poszczególnych grup pierwiastków na pierwszej pozycji jest najczęściej masowy grób położony na cmentarzu w Oświęcimiu. Tuż za nim sytuują się groby, na których wysypywano prochy setek tysięcy ludzi. Dotyczy to również miejsca, w którym palono ciała na stosie. Proceder ten zastosowano w Oświęcimiu po wybuchu buntu więźniów i zburzeniu krematoriów. Spalanie ciał na stosie przebiegało w stosunkowo niskiej temperaturze, nie było to zatem całkowite spalanie. Dlatego w tym miejscu pozostało dużo małych fragmentów kości. Ich postępująca dekompozycja prowadzi do dużej zawartości wapnia w osadach aluwialnych. Problem ten dotyczy również koncentracji Cl. W grupie o klasę niżej na wysokich pozycjach znajdują się również groby, które powtarzają się w pozostałych rankingach. Są to pochówki z II wojny zlokalizowane w Dukli, Zbylitowskiej Górze, na Uroczysku Osikówka oraz porównawcze miejsce w Baczkowie. W większości grobów z I wojny światowej występuje mała koncentracja pierwiastków z tej grupy. Nie wyklucza się również innego pochodzenia części zawartości tych pierwiastków. Kilka grobów, w celu dezynfekcji, posypano związkami Cl. W Niepołomicach miało to miejsce już po II wojnie światowej. Obecnie występują trudności z ustaleniem, na których grobach miało to miejsce. Wyniki te wskazują na duży ubytek tych pierwiastków z badanych grobów. Jedynie w dużych grobach z II wojny utrzymują się relatywnie wysokie ich koncentracje. Są one jednak zdecydowanie niższe niż w Oświęcimiu.

Tabela 40. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Na, Cl, Ca” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówkami w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków "Na, Cl, Ca"
0,2 – 1,0 (0,8 – 1,0)	Oświęcim cm. II* ¹ ; Oświęcim palenie II; Oświęcim radz. II; Oświęcim krem. II; Oświęcim po II
0,1 – 0,2	Dukla II, I; Dukla radz. II; Zbylitowska Góra II; Baczków ; Nowy Żmigród cm. I; Osikówka pol. II; Przemyśl węg. I
0,05 – 0,1	Krempna I; Bór 1 żyd. II; Bór 2 żyd. II; Łuźna stok I; Łuźna węg. I; Łysa Góra I; Łuźna pol. I; Pustków prochy II; Barwinek żyd. II; Hunkowce II; Rymanów radz. II; Łuźna wejście I; Lubcza las I; Rymanów cm. II; Hunkowce II, I; Komarnik II; Rzeszów cm. II; Lubcza droga I; Lesko żyd.; Rzeszów radz. II; Nowy Sącz cm., radz. II; Mikłuszowice cm. I; Niepołomice II; Przemyśl wehr. II; Nowy Sącz cm. I; Nowy Sącz żyd., pol. II; Przemyśl aust. I
0 – 0,05	Łąka S I; Krzczów I; Przemyśl pol. II; Nowy Sącz 1 żyd. II; Nowy Sącz PKS II; Pustków radz. II; Baligród II; Przemyśl cm., żyd. II; Tarnów cm. „Stary”; Dąbrówka las I; Cerekiew cm.; Wapienne I; Tarnów I; Tarnów żyd. II; Gawłów cm. I; Dębica radz. II; Świdnik radz. II; Sterkowiec I; Sobolów cm. I; Tarnów cm. II; Tarnów-Chyszów I; Dębica I; Waryś I; Błonie I; Rajbrot I

*¹oznaczenia jak wyżej

W porównawczym grupowaniu pochówków, według wskaźnika różnic, najwyższe pozycje, bez uwzględnienia tych z Oświęcimia, zajmują te same groby (tab. 40, 41). Są to pochówki z Dukli, Zbylitowskiej Góry, Nowego Żmigrodu, Krempanej, Przemyśla, Lubczy oraz porównawcze miejsce z Baczkowa. W rankingach dla innych grup pierwiastków jedynie dwa groby, w Lubczy i grób żołnierzy węgierskich z Przemyśla, znajdowały się na dalszych pozycjach. Natomiast w niższym przedziale tego wskaźnika różnic znalazło się na znacznie wyższych pozycjach kilka grobów z Krosna, Łątki, Lubczy, Krzczowa, Leszczyny, Baligrodu, Krakowa-Płaszowa, Muchówki, Ropicy Górnej, Leksandrowej i Sobolowa. Są to głównie groby z okresu I wojny położone najczęściej w lesie, np. w Leszczynie (fot. 27). Na obecnym etapie badań można stwierdzić, że dla kilku tych grobów, np. położonych wśród zabudowy gospodarczej w Krzczowie oraz wśród pól, w górnej części stoku o ekspozycji południowej w Łącku, wystąpiły trudności z wyznaczeniem miejsca porównawczego. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku tych grobów, które wykazują mniejszy wpływ pochówku na środowisko. Podobne trudności dotyczą również tych grobów z I wojny, które położone są na cmentarzach, np. w Krośnie, Sobolowie i Łapanowie. Ponadto część badanych pierwiastków pochodzi z dekompozycji współczesnych pochówków. Ustalenie ich pochodzenia jest prawie niemożliwe, ponieważ na znacznej części pierwotnych kwater od lat dokonywane są nowe pochówki. Obecny zasięg masowych grobów na licznych cmentarzach jest już w zasadzie symboliczny, np. w Jaśle, Łapanowie, Krośnie itp. (fot. 16).

Tabela 41. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Na, Cl, Ca” i dotyczące 86 grobów*

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach badanych różnic względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „Na, Cl, Ca”
0,5 – 1,0	Dukla II,I ^{*1} ; Dukla radz. II; Przemyśl węg. I; Zbylitowska Góra II; Nowy Żmigród cm. I; Baczków ; Krempana I; Lubcza las I
0,2 – 0,5	Łysa Góra I; Osikówka II; Łuźna węg. I; Łuźna pol. I; Bór II; Barwinek II; Rymanów radz. II; Łuźna wejście I; Krosno cm. I; Łąka S I; Hunkowce II, I; Lubcza droga I; Krzczów I; Mikłuszowice cm. I; Rzeszów radz. II; Komarnik II; Rymanów cm. II; Leszczyna I; Nowy Sącz cm. II; Łuźna stok I; Baligród II; Pustków radz. II.; Przyborów I; Kraków-Płaszów żyd.; Lesko żyd.; Ropica Górna las I; Muchówka I; Leksandrowa II
0,1 – 0,2	Cerekiew cm.; Szczepanów cm. I; Łąka N I; Nowy Sącz żyd. II; Nowy Sącz PKS II; Łąka wierz. I; Kraków-Prandoty ang. II; Przemyśl wehr. II; Sobolów cm. I; Ropica Górna droga I; Łapanów 1 cm. I; Borzęcin cm. I; Przemyśl ros. I; Dąbrówka I; Łapanów 2 cm I; Waryś I; Szczepanowice I; Grabina I; Kraków-Prandoty wehr. II; Tarnów-Chyszów 1 I; Biadoliny I
0,05 – 0,1	Trzciana cm. I; Zonia I; Wola Nieszkowska I; Dębica ros. I; Gawłów cm. I; Kraków-Prandoty radz., ogródki II; Błonie I; Gorlice ul. Łokietka I; Sterkowiec I; Szymbark cm. I; Kraków-Prandoty radz. II; Jaszczew I; Brzesko II, I; Tarnowiec cm. I; Bielcza cm. I; Męcina cm. I
0 – 0,05	Nieprzeźnia I; Rudy Rysie cm. I; Dębica żyd. II; Nowy Wiśnicz cm. I; Skrzyszów II; Brzesko II; Przełęcz Małastowska I; Rajbrot I; Żegocina cm. I; Szymbark droga I; Podgórska Wola II; Tarnów-Chyszów 2 I; Potok I

*¹oznaczenia jak wyżej; *² w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”

Interesującą grupę stanowią „utleniacze” F i J. Te mikroelementy organizmu człowieka łatwo reagują z innymi pierwiastkami uwalnianymi w procesie dekompozycji. Są to bardzo aktywne chemicznie pierwiastki. Mogą one długo występować w środowisku pochówku w postaci różnych związków chemicznych, które są łatwo rozpuszczalne i często występują w postaci jonowej. Obliczone dla tej grupy wskaźniki wyróżniają te same groby, co rankingi dla pozostałych grup pierwiastków, oprócz „pierwiastków ciężkich” (tab. 32, 42). Pierwszą pozycję w rankingu dotyczącym wskaźników dla „pierwiastków ciężkich” zajmuje porównawcze miejsce z Baczkowa. Jest ono z kolei w najniższym przedziale badanych wskaźników w grupie „utleniaczy”. Podobna prawidłowość dotyczy grobów z Dukli, Nowego Żmigrodu, Rymanowa i Krempnej. Z kolei w tych pochówkach, w których były relatywnie mniejsze ilości pierwiastków ciężkich, zanotowano względnie większe koncentracje F i J. Pierwiastki przeważające w środowisku danego pochówku, te z grupy pierwiastków „ciężkich” lub „utleniaczy” połączyły się z innymi produktami dekompozycji. W tej nowej postaci są zdolne przetrwać kilkadziesiąt lat. Problem ten wymaga jednak dalszych badań.

Tabela 42. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „F, I” i dotyczące 245 grobów

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach względnej zawartości obliczonych dla grupy pierwiastków „F, I”
0,4 – 1,0	Oświęcim po II* ¹ ; Oświęcim radz. II; Oświęcim cm. II; Oświęcim palenie II; Oświęcim krem. II
0,2 – 0,4	Hunkowce I, II; Hunkowce II; Bór żyd. 2 II
0,1 – 0,2	Bór 1 II; Komarnik II; Rzeszów radz. II; Baligród II; Zbylitowska Góra II; Rzeszów cm. II; Przemyśl cm., żyd. II
0,05 – 0,1	Pustków prochy II; Przemyśl aust. I; Pustków radz. II; Nowy Sącz cm. II; Dukla II; Przemyśl pol. II; Nowy Sącz cm. I; Przemyśl wehr. II; Nowy Sącz PKS II; Dukla II, I; Nowy Sącz żyd., pol. II; Łąka S I; Barwinek II; Nowy Sącz żyd. 1 II; Przemyśl węg. I; Lubcza las I; Wapienne I; Nowy Żmigród cm. I; Sobolów cm. I
0 – 0,05	Lubcza droga I; Rymanów cm. II; Osikówka pol. II; Dąbrówka las I; Baczków ; Lesko żyd.; Błonie I; Rajbrot I; Tarnów cm. II; Łuźna węg. I; Krempna I; Tarnów cm., żyd.; Rymanów radz. II; Tarnów-Chyszów I; Łuźna pol. I; Łuźna wejście I; Tarnów I; Łysa Góra I; Dębica radz. II; Dębica I; Tarnów cm. „Stary”; Łuźna stok I; Sterkowice I; Krzeczów I; Świdnik radz. II; Cerekiew cm.; Gawłów cm. I; Mikłuszowice cm. I; Warys I; Niepołomice żyd. II

*¹oznaczenia jak wyżej

W obu przeprowadzonych grupowaniach, dla populacji 245 i próby 86 grobów, powtarzają się na najwyższych pozycjach te same groby z Hunkowic, Boru, Komarnika, Zbylitowskiej Góry, Rzeszowa i Baligrodu (tab. 42, 43). Tylko tych dwóch ostatnich grobów nie wykazano na czołowych pozycjach w rankingach dla innych grup pierwiastków. O pozycji tych dwóch pochówków z okresu II wojny nie mogły zdecydować warunki środowiskowe. Masowy grób żołnierzy radzieckich położony jest na wyższej terasie, w utworach piaszczystych, przy ruchliwej drodze w Rzeszowie (fot. 28). Poziom wód gruntowych zalega tu znacznie poniżej pochówków i nie podnosi się nawet w okresach wilgotnych. W miejscu tym pochowano żołnierzy radzieckich po trzydniowych, ciężkich walkach o wyzwolenie

Rzeszowa. Natomiast grób w Baligrodzie leży na zróżnicowanej jakościowo wyższej terasie Hoczewki (fot. 9). Kwatery pochówków, wyznaczone przez betonowe opaski, zostały wypełnione w górnej części profilu nawierzchniowym materiałem. Duża część ich powierzchni pokryta jest betonem. Jednak od strony stoku występuje możliwość okresowego podtopienia pochówków. Wyżej, w tej części grobu, położony jest także poziom zwierciadła wody gruntowej. Na tym dużym cmentarzu wojennym chowano przez dłuższy czas, nawet kilka lat, żołnierzy polskich i radzieckich poległych w walkach z oddziałami Ukraińskiej Powstańczej Armii. W tym celu ciągle rozkopywano podłoże i mieszano osady. Z analizy tych uwarunkowań wynika, że zauważono więcej cech odmiennych. Jednak problem ten wymaga szczegółowych badań.

Kilka grobów z czołówki obu rankingów, dla grupy „utleniaczy”, nieznacznie różni się zajmowanymi pozycjami. Są to groby z Dukli (2), Nowego Sącza (3), Pustkowa, żołnierzy Wehrmachtu z Przemyśla itd. (fot. 29). Natomiast na wyższych pozycjach w rankingu wskaźników różnic usytuowanych jest kilkanaście grobów. Są to groby z I i II wojny światowej położone głównie na polanach śródleśnych w Jaszczwi koło Krosna, Dębicy, Rajbrocie koło Żegociny, Łuźnej, w dnie zalesionej doliny w Skrzyszowie koło Tarnowa oraz na Przełęczy Małastowskiej i na Osikówce w Puszczy Niepołomickiej. Ponadto kilka z nich leży przy drodze, np. w Szymbarku, a nawet przy drodze i w mieście, np. cmentarz w Krośnie i grób żołnierzy rosyjskich w Przemyślu (fot. 30). W grupie tej znalazły się także groby z I wojny położone wśród gruntów ornych, np. w Grabinie i Szczepanowicach oraz w towarzystwie innych pochówków, np. w Brzesku.

Tabela 43. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „F, I” i dotyczące 86 grobów*2

Przedziały wskaźników	Pochówki w miejscowościach o największych wskaźnikach różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „F, I”
0,4 – 1,0	Hunkowce I, II ¹ ; Bór 2 II; Komarnik II; Krosno cm. I; Rzeszów radz. II; Baligród II; Zbylitowska Góra II;
0,2 – 0,4	Pustków radz. II; Przemyśl ros. I; Brzesko II, I; Brzesko II; Dukla radz. II; Przemyśl wehr. II; Nowy Sącz cm II; Nowy Sącz PKS II; Jaszczew I; Dukla II, I; Nowy Sącz żyd. II
0,1 – 0,2	Przełęcz Małastowska I; Grabina I; Łąka S I; Lubcza las I; Nowy Żmigród cm. I; Szymbark droga I; Szczepanowice I; Osikówka II; Przemyśl węg. I; Barwinek II; Lubcza droga I; Łuźna wejście I; Rymanów cm. II; Łuźna pol. I; Skrzyszów II; Dębica żyd. II; Rajbrot I; Nieprześnia I; Łąka wierzchowina I; Krempna I
0,05 – 0,1	Muchówka I; Tarnów-Chyszów 1 I; Sobolów cm. I; Baczków ; Lesko żyd.; Błonie I; Łuźna węg. I; Biadoliny I; Tarnowiec cm. I; Łąka N I; Rymanów radz. II; Leszczyna I
0 – 0,05	Łapanów 2 cm. I; Zonia I; Dębica radz. II; Gorlice ul. Łokietka I; Dąbrówka I; Łapanów 1 cm. I; Sterkowice I; Tarnów-Chyszów 2 I; Ropica Górna las I; Mikluszowice cm. I; Lysa Góra I; Kraków-Prandoty: pol. II, ang. II, wehr. II, radz. II; Łuźna stok I; Podgórska Wola II; Cerekiew cm.; Gawłów cm. I; Krzczów I; Kraków-Płaszów żyd.; Leksandrowa II; Rudy Rysie cm. I; Bielcza cm. I; Borzęcin cm. I; Męcina cm I; Nowy Wiśnicz cm. I; Potok I; Przyborów I; Ropica Górna droga I; Szczepanów cm. I; Szymbark cm. I; Trzciana cm. I; Waryś I; Wola Nieszkowska I; Żegocina cm. I

*1 oznaczenia jak wyżej; *2 w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”

Dla grobów tych, jak wykazano przy innych grupach pierwiastków, wystąpiły trudności z wyznaczeniem reprezentatywnego miejsca porównawczego. Nie wyklucza to oczywiście istnienia innych czynników, które również mogą wpływać na badane różnice. Ponieważ ranking wskaźnika różnic przeprowadzono dla próby liczącej tylko 86 z populacji 245 badanych grobów, to kilka grobów z tego grupowania znalazło się w czołówce rankingu dla 245 pochówków (tab. 42, 43).

W rankingu dotyczącym sumy wszystkich wskaźników względnej zawartości badanych grup pierwiastków, dla każdego z 245 grobów najwyższe pozycje zajęły groby powtarzające się w rankingach grobów dla poszczególnych grup pierwiastków. W najwyższych przedziałach sumarycznego wskaźnika znalazły się groby z Oświęcimia oraz, w grupie niżej, porównawcze miejsce z Baczkowa. Wysokie pozycje w tym grupowaniu zajmują również groby z Hunkowiec, Dukli, Komarnika, Zbylitowskiej Góry, Boru oraz Osikówki (tab. 44). Wyniki te wskazują, że duże pochówki masowe, niezależnie od warunków przyrodniczych, wzbogacają podłoże w liczne pierwiastki.

Tabela 44. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach sumy wskaźników względnej zawartości obliczone dla badanych grup pierwiastków i dotyczące 245 grobów

Przedziały sumarycznego wskaźnika	Pochówki w miejscowościach, ułożone w kolejności malejącej na podstawie sumy wskaźników względnej zawartości które obliczono dla badanych grup pierwiastków
Powyżej 3,0 (3,053 – 4,792)	Oświęcim cm. II* ¹ ; Oświęcim po II; Oświęcim radz. II; Oświęcim palenie II; Oświęcim krem. II
2,0 – 3,0	Baczków
1,0 – 2,0	Hunkowce I, II; Hunkowce II; Osikówka II; Dukla II, I; Dukla radz. II; Komarnik II; Zbylitowska Góra II; Bór żyd. 2 II; Bór żyd. 1 II
0,5 – 1,0	Krempna I; Nowy Żmigród cm. I; Barwinek II; Rymanów cm. II; Rzeszów radz. II; Baligród II; Rzeszów cm. II; Niepołomice II; Pustków prochy II; Lubcza las I; Łysa Góra I; Rymanów radz. II; Przemysł węgl. I; Nowy Sącz PKS II; Przemysł cm., żyd. II; Nowy Sącz żyd., pol. II; Nowy Sącz cm. I; Lubcza droga I; Nowy Sącz cm. II; Przemysł wehr. II; Mikłuszowice cm. I; Nowy Sącz żyd. 1 II
0 – 0,5	Przemysł aust. I; Przemysł pol. II; Łuzna pol. I; Łuzna stok I; Łąka S I; Pustków radz. II; Łuzna stok I; Tarnów I; Wapienne I; Lesko żyd.; Dębica radz. II; Łuzna wejście I; Tarnów cm. II; Cerekiew cm.; Tarnów cm. „Stary”; Tarnów cm., żyd.; Dębica I; Dąbrówka las I; Sterkowiec I; Gawłów cm. I; Tarnów-Chyszów I; Świdnik radz. II; Sobolów cm. I; Krzczów I; Błonie I; Rajbrot I; Waryś I

*¹oznaczenia jak wyżej

Oba rankingi grobów, przeprowadzone dla próby 86 i populacji 245 pochówków na podstawie sumy wskaźników względnej zawartości wszystkich grup pierwiastków, potwierdzają wysokie pozycje dla tych samych grobów (tab. 44, 45). W obu tych grupowaniach najwyższe pozycje, oprócz nie uwzględnionych w rankingu dla wskaźnika różnic grobów z Oświęcimia, zajmują groby z II wojny. Są to groby z Hunkowiec, Komarnika, Zbylitowskiej Góry, dwa z Dukli i Boru oraz

z Osikówki, które wielokrotnie powtarzały się w prezentowanych grupowaniach. Większość tych pochówków położona jest w Beskidzie Niskim i w jego sąsiedztwie na Pogórzach. Masowe groby z walk o Przełęcz Dukielską zlokalizowano głównie w dolnych częściach stoków w glinach ciężkich. Największe zawartości pierwiastków stwierdzono w grobie żołnierzy radzieckich położonym na cmentarzu w Oświęcimiu. Kolejną pozycję zajmuje masowy grób więźniów z obozu w Oświęcimiu. Więźniowie ci zmarli na wskutek przebytych chorób i wycieńczenia tuż po wyzwoleniu obozu. Pochówek ten położony jest przy ulicy Więźniów z Oświęcimia w środowisku miejskim. Na dalszych pozycjach usytuowały się groby także z Oświęcimia: grób jeńców radzieckich, miejsce spalania ciał na stosie oraz teren w pobliżu krematoriów, na który wysypywano prochy. Te trzy miejsca pamięci zlokalizowane są obok siebie w środowisku utworów aluwialnych. Kolejność tych grobów w rankingu wskazuje, że spalanie ciał w wysokiej temperaturze pozostawia w podłożu relatywnie mniejsze ilości pierwiastków.

Wysokie zawartości badanych pierwiastków wykazują również podłoża grobów zlokalizowanych w piaskach Kotliny Sandomierskiej na północ od Rzeszowa. Pochówki te znajdują się w rezerwacie leśnym „Bór”, jeden u podnóża, a drugi na stoku wydmy (fot. 31). W miejscach tych pochowano w roku 1944 około 5000 Żydów z getta w Rzeszowie. Położenie jednego z nich sprzyja zawilgoceniu, a nawet podtopieniu jego podłoża w okresach wilgotnych. Natomiast masowy grób 56 żołnierzy polskich pochowanych w roku 1939 w Puszczy Niepołomickiej leży na uroczysku zwanym Osikówka, przy asfaltowej drodze leśnej Stanisławice–Poszyna. W okolicach tego pochówku obserwuje się częste wahania zwierciadła wody gruntowej, które zalega najczęściej płytko. Pomimo że jest to niewielki grób wojenny, to jednak wspomniane warunki decydują o jego pozycji w grupowaniach. Wśród tych wyróżnionych grobów znajduje się również duży grób Żydów z Tarnowa, których pochowano w Zbylitowskiej Górze. Kwatery tego grobu, zawierające około 6000 ciał, umieszczono w lesie Buczyna, na lokalnych spłaszczeniach i w obniżeniach osuwiska modelującego wysoką terasę Dunajca. Próby do analiz pobierano z dna wklęsłej formy osuwiska, położonej poniżej dolnej kwatery. Górna część pionowego profilu tego podłoża wskazuje na depozycję w tym miejscu pylastych frakcji pochodzących ze zmywów. Pod tym zawilgoconym osadem natrafiono na zawodnione żwirki terasy rzecznej. Poziom wody gruntowej znajduje się tu w pobliżu powierzchni terenu, nawet w okresie długotrwałej suszy (fot. 32). Natomiast poniżej tej kwatery w okresach wilgotnych w dnie formy wklęsłej gromadzi się woda.

Na dalszych pozycjach w obu tych rankingach znalazły się także groby z I wojny, np. z Krempnej, Nowego Żmigrodu, Łysej Góry, Lubczy oraz pochówek żołnierzy węgierskich z Przemyśla. Część tych grobów usytuowano na stokach. Grób w Krempnej, o którym już wcześniej pisano, leży na wierzcholinie wzgórza Łokieć, opadającej w kierunku północnym (fot. 21). Natomiast mały grób wojenny w Łysej Górze, gdzie pochowano 34 żołnierzy obu walczących armii, zlokalizowano w dolnej, łagodnej części stoku, który jest rozcięty rowem od strony południowo-zachodniej grobu (fot. 33). Przykładem większego grobu z okresu I wojny, w którym pochowano 216 żołnierzy, jest pochówek wojenny na cmentarzu parafialnym w Nowym Żmigrodzie (fot. 23). Jest to zbiorczy grób wtórnego pochówku żołnierzy dla okolicy Żmigrodu oraz miejsce grzebania ludzi zmarłych w polowym szpi-

talu podczas każdorazowego pobytu tu Rosjan i Austriaków. Wydzielono dla nich na cmentarzu dużą kwaterę, położoną na lokalnym spłaszczeniu, które opada pod małym kątem ku zachodowi. W tym kierunku rozciąga się na stoku czynny miejscowy cmentarz. Jedynie od strony wschodniej grobu, gdzie również kończy się cmentarz, rozpościerają się użytki rolne. Teren w tym kierunku wznosi się pod małym kątem. Oba groby z Lubczy Szczepanowskiej zlokalizowane są na terenie lasów państwowych. Większy z nich, o powierzchni 0,344 ha, określany w pracy jako grób z Lubczy o numerze ewidencyjnym 192, usytuowany jest w głębi lasu, na rozległej wierzchołkowej założonej na piaskowcach i łupkach (fot. 18). W okresie większych opadów zaobserwowano na jego powierzchni utrzymywanie się kałuż wody, które decydują o lokalnym zawilgoceniu terenu. Spoczywa na nim 675 żołnierzy obu walczących armii. Obiekty na tym cmentarzu są odnowione i utrzymane w dobrym stanie. Na jego terenie wznosi się okazała, wysoka na 17,5 m, kamienna neogotycka kaplica. Cmentarz ten pełni obecnie funkcję reprezentacyjnego cmentarza ziemi tarnowskiej. Jest on miejscem uroczystości poświęconych pamięci poległych. Często odwiedzają go również turyści. Pochówek ten podlega wpływowi antropogenicznej działalności człowieka. Z kolei drugi, o połowę mniejszy grób z Lubczy, oznaczony jest numerem 191. Leży on na skraju lasu przy lokalnej drodze do Dąbrówki Szczepanowskiej. Jego powierzchnia miejscami jest nachylona pod kątem kilku stopni i kończy się progiem tuż przy drodze.

Tabela 45. Zestawione w grupy pochówki według wielkości sumy wskaźników różnic względnej zawartości obliczone dla wszystkich badanych grup pierwiastków i dotyczące 86 grobów*²

Przedziały sumarycznego wskaźnika	Pochówki w miejscowościach ułożone w kolejności malejącej sumy wskaźników różnic względnej zawartości, które obliczono dla badanych grup pierwiastków
Powyżej 3,0	Hunkowce I, II* ¹ ; Zbylitowska Góra II; Dukla II, I; Osikówka II; Baczków ; Komarnik II
2,0 – 3,0	Bór II; Dukla radz. II; Nowy Żmigród cm. I
1,0 – 2,0	Krempna I; Łysa Góra I; Lubcza droga I; Lubcza las I; Barwinek II; Rymanów cm. II; Rzeszów radz. II; Baligród II; Nowy Sącz żyd. II; Przemysł węg. I; Nowy Sącz cm. II; Nowy Sącz PKS II; Kraków-Prandoty: ang. II, pol. II; Kraków-Płaszów żyd.; Łąka S I; Krosno cm. I; Rymanów radz. II
0 – 1,0	Łuzna pol. I; Łuzna węg. I; Kraków-Prandoty radz. II; Przemysł wehr. II; Pustków radz. II; Mikuszowice cm. I; Łuzna stok I; Przemysł ros. I; Brzesko II, I; Cerekiew cm.; Kraków-Prandoty wehr. II; Przełęcz Małastowska I; Tarnów-Chyszów 1 I; Łąka wierz. I; Rudy Rysie cm. I; Błonie I; Krzczów I; Łuzna wejście I; Dąbrówka I; Sterkowice I; Dębica radz. II; Lesko żyd.; Ropica Górna las I; Brzesko II; Muchówka I; Gawłów cm. I; Łąka N I; Leszczyna I; Jaszczew I; Szymbark droga I; Szczepanowice I; Grabina I; Dębica żyd.; Rajbrot I; Ropica Górna droga I; Szymbark cm. I; Szczepanów cm. I; Sobolów cm. I; Zonia I; Przyborów I; Łapanów 2 cm. I; Łapanów 1 cm. I; Tarnowiec cm. I; Nieprześnia I; Leksandrowa II; Biadoliny I; Waryś I; Męcina cm. I; Trzciana cm. I; Skrzyszów II; Borzęcin cm. I; Wola Nieszkowska I; Potok I; Gorlice Łokietka I; Bielcza cm. I; Podgórska Wola II; Nowy Wiśnicz cm. I; Tarnów-Chyszów 2 I; Żegocina cm. I

*¹oznaczenia jak wyżej; *² w przypadku ujemnej różnicy w obliczeniach przyjęto „0”

Cmentarze wojenne z okresu I wojny w Przemyślu zlokalizowano na osuwiskowym stoku, powyżej komunalnego cmentarza. Ten wyróżniony pochówek żołnierzy węgierskich leży bezpośrednio nad cmentarzem, na stromej sterasowanej części stoku. Duże nachylenie terenu w tym miejscu wymusiło wybudowanie wysokich kamiennych murów oporowych. Powyżej tego pochówku, w części osuwiskowej stoku, za drogą wijącą się pomiędzy pozostałymi grobami z okresu I wojny zlokalizowano pochówek żołnierzy rosyjskich i, nieco z boku, niemieckich.

W celu oceny znaczenia wyróżnionych grup pierwiastków dla przebiegu procesów dekompozycji, obliczono korelację pomiędzy tymi grupami dla wybranych liczebności pochówków (tab. 46). Dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników względnej zawartości, uzyskano wysoką korelację pomiędzy grupą pierwiastków „N, P, K” a grupami: „Na, Cl, Ca” (0,96), „F, I” (0,93) oraz „Cr, Cd” (0,96). Podobne wyniki uzyskano, gdy do obliczeń użyto tylko 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników. Okazuje się jednak, że na tak wysoką korelację wpływają głównie pochówki z Oświęcimia (tab. 46). Natomiast dla 20 grobów z drugiej dziesiątki rankingu o największych sumach wskaźników obliczono stosunkowo wysoką, ale ujemną korelację (-0,81) pomiędzy grupą „N, P, K” a „S, Fe, Mg, Si, Mn” (tab. 46, poz. 5). Ta wysoka ujemna korelacja wynika z małej ilości pierwiastków „eutroficznych” w środowiskach piaszczystym, zasolonym, okresowo podmokłym oraz z dużą ilością Fe i Mn. Obliczone współczynniki korelacji sugerują małą zależność koncentracji produktów dekompozycji od pierwiastków z „grupy środowiskowej”: S, Fe, Mg, Si, Mn (tab. 46, poz. 11–15). Prawidłowość ta dotyczy grobów z dużymi pochówkami, o wysokich sumach badanych wskaźników. W przypadku uwzględnienia w obliczeniach pochówków z Oświęcimia, stwierdzono mniejszą korelację pomiędzy grupą „eutroficzną” a grupą pierwiastków „ciężkich”. Nie wykazano również zależności, dla grobów uwzględniających także pochówki z Oświęcimia, pomiędzy grupą pierwiastków „ograniczających” a grupą pierwiastków „ciężkich” (tab. 46, poz. 6, 8, 10). Natomiast relatywnie wysoki jest współczynnik korelacji, w grupie grobów bez Oświęcimia, pomiędzy grupą pierwiastków „ciężkich” oraz „ograniczających” niezależnie od ilości uwzględnionych grobów z czołówki rankingu i wynosi (0,7) dla 59 grobów oraz (0,76) dla 20 pochówków (tab. 46, poz. 7, 9). Z kolei, gdy w obliczeniach uwzględniono pochówki z Oświęcimia, to ustalono wysoką korelację pomiędzy grupą pierwiastków „ograniczających” a grupą pierwiastków „śladowych” i „utleniaczy” (tab. 46, poz. 6, 8). Jednak zależność pierwiastków „ograniczających” jest zdecydowanie mała dla grobów bez Oświęcimia, od grupy pierwiastków określanych jako „utleniacze” (tab. 46, poz. 7, 9). Uzyskane wyniki potwierdzają dużą współzależność występowania grup „Na, Cl, Ca” oraz „Cr, Cd” w środowisku masowych grobów o największych sumach badanych wskaźników, szczególnie wtedy, gdy uwzględnia się groby z Oświęcimia (tab. 46, poz. 6, 8). Natomiast pierwiastki z grupy „środowiskowej” wykazują zdecydowanie mniejsze korelacje z pozostałymi badanymi grupami (tab. 46, poz. 11–15). Relatywnie wyższe współczynniki korelacji, wynoszące około (0,7) dla grobów o najwyższych sumach badanych wskaźników, poza grobami z Oświęcimia, obliczono pomiędzy grupą pierwiastków „środowiskowych” i „utleniaczy” (tab. 46, poz. 12, 14). Podobną korelację uzyskano dla 30 grobów z drugiej dziesiątki rankingu, pomiędzy badaną grupą pierwiastków „środowiskowych” a „utleniaczy” (tab. 46, poz. 15).

Wpływ środowiska na zawartość produktów dekompozycji w otoczeniu pochówków bardziej uwidacznia się w przypadku grobów z mniejszą liczbą pochowanych osób. Dotyczy to zwłaszcza grobów z I wojny światowej. Natomiast masowe groby, w których pochowano duże ilości osób, wykazują generalnie największe ilości produktów dekompozycji, bez względu na właściwości środowiska. Pomimo dużego zróżnicowania środowisk tych grobów znalazły się one w czołówkach przeprowadzonych rankingów. Większość pochówków z Oświęcimia leży w aluwiach rzecznych. Masowe groby w Dukli położone są obok siebie w dolnej części łagodnego stoku (fot. 3). Wykopano je w glinach ciężkich. Z kolei pochówek żołnierzy Wehrmachtu w Hunkowcach na Słowacji leży w dolnej części wklęsłego, bardziej stromego stoku, założonego na glinach średnich (fot. 15). Natomiast liczny pochówek Żydów w Zbylitowskiej Górze zajmuje spłaszczenia i obniżenia osuwiska modelującego próg wysokiej terasy Dunajca. Jedynie groby w Borze koło Rzeszowa zlokalizowano w piaskach, w przeważającej części na płaskim terenie (fot. 31). Dwa z tych dużych grobów, w Borze i Zbylitowskiej Górze, są okresowo zalewane przez wody gruntowe. Płytko zalega również poziom wody gruntowej w aluwiach terasy w Oświęcimiu. Podnosi się on znacznie w okresie dłuższych opadów deszczu. Jedynie pochówki w Hunkowcach i Dukli mogą być okresowo zalewane, w dolnej części stoku, przez spływającą powierzchniowo wodę.

Dla grobów z największymi sumami wskaźników względnej zawartości nie wykazano istotnej korelacji grupy pierwiastków „środowiskowych” z żadną z wyróżnionych grup (tab. 46, poz. 11, 12, 13). Uzyskane współczynniki korelacji nie wykluczają wpływu środowiska na procesy dekompozycji. Duże liczby pochowanych, jako dominujący czynnik, pomniejszają znaczenie właściwości środowiska.

Natomiast dla grobów o najwyższych wskaźnikach, bez pochówków z Oświęcimia, ustalono największą korelację (0,69) pomiędzy pierwiastkami „środowiskowymi” a grupą „utleniaczy” (tab. 46, poz. 12, 14). Środowisko pochówku, piaszczyste i okresowo podmokłe, a nie spalanie, sprzyja występowaniu w podłożu grobów I i F (tab. 46, poz. 13, 14). Towarzyszą im również inne pierwiastki z grup „Na, Cl, Ca”, „Cr, Cd” oraz „Cu, Zn, Al, Pb, Ni” (tab. 46, poz. 12). Są to zatem pierwiastki charakterystyczne dla tych pochówków. Natomiast nie wykazano istotnej zależności pomiędzy grupą pierwiastków „środowiskowych” a „śladowych” oraz „ciężkich”. Zdecydowanie większą zależność zauważono pomiędzy tą grupą pierwiastków a grupami: „ograniczającą” (0,7) i „eutroficzną” (-0,81) (tab. 46, poz. 15, 5). Ta prawidłowość dotyczy grobów z drugiej trzydziestki badanych rankingów.

Uzyskane współczynniki wykazują więc znaczną zależność zawartości pierwiastków pochodzących z dekompozycji: N, P i K oraz Ca, Cl i Ca, z koncentracją pierwiastków określanych jako „środowiskowe”. Wśród badanych zależności wyróżnia się także stosunkowo wysoka korelacja pomiędzy grupą pierwiastków „F, I” a „Cr, Cd”. Jest to szczególnie widoczne, gdy uwzględną się pochówki z Oświęcimia (tab. 46, poz. 16, 18). Wówczas współczynniki korelacji wynoszą odpowiednio, dla 64 grobów (0,87) i dla 25 pochówków (0,86). Relatywnie wysokie są również współczynniki korelacji, obliczone dla grobów bez Oświęcimia, pomiędzy grupami pierwiastków „ciężkich” i „śladowych”, odpowiednio dla 59 grobów (0,64) oraz dla 20 pochówków (0,76) (tab. 46, poz. 22, 24).

W krematoriach Oświęcimia spalano ludzi otrutych cyklonem B. Cyklon ten to nasycona cyjanowodorem ziemia krzemkowa z dodatkiem stabilizatorów. Wrzucano go przez otwór w suficie do pomieszczenia, gdzie zgromadzono rozebranych ludzi. Zapewne nieliczni, zazwyczaj schorowani i wycieńczeni starcy oraz dzieci, posiadali metalowe lub złote korony, wypełnienia zębów, złote pierścionki itp. Ogołocone z człowieczeństwa ludzkie ciała zawierały zatem małe ilości ciężkich pierwiastków. Dlatego też jest ich relatywnie mniej w środowisku tych grobów, podobnie zresztą, jak i pierwiastków F i J. Jest to związane z procesem ich spalania oraz z nasączeniem ciał cyklonem B.

Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy grupą pierwiastków „śladowych” a pozostałymi grupami pierwiastków, gdy w obliczeniach uwzględniono groby o mniejszej sumie wskaźników względnej zawartości (tab. 46, poz. 5, 25). Pierwiastki z tej grupy – Cr i Cd, należy więc łączyć z dużymi pochówkami żołnierzy poległych na polach bitew.

Tabela 46. Współczynniki korelacji pomiędzy wyróżnionymi grupami pierwiastków, dla różnej liczby grobów o najwyższych sumach wskaźników względnej zawartości

Wyróżnione grupy pierwiastków, pomiędzy którymi obliczono współczynniki korelacji, dla różnej ilości grobów		Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi grupami pierwiastków				
		Na, Cl, Ca	S, Fe, Mg, Si, Mn	F, I	Cr, Cd	Cu, Zn, Al, Pb, Ni
1	2	3	4	5	6	7
1	N, P, K dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,96	0,57	0,93	0,96	0,13
2	N, P, K dla 59 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,51	0,64	0,52	0,54	0,52
3	N, P, K dla 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,96	0,37	0,92	0,97	-0,2
4	N, P, K dla 20 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,36	0,36	0,33	0,49	0,14
5	N, P, K dla 30 grobów z drugiej trzydziestki o najwyższych sumach wskaźników	-0,79	-0,81	-0,38	-0,14	0,02
6	Na, Cl, Ca dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników	x	0,47	0,93	0,94	0,07
7	Na, Cl, Ca dla 59 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	x	0,54	0,24	0,59	0,70
8	Na, Cl, Ca dla 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników	x	0,28	0,92	0,93	-0,27
9	Na, Cl, Ca dla 20 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	x	0,17	-0,22	0,74	0,76
10	Na, Cl, Ca dla 30 grobów z drugiej trzydziestki o najwyższych sumach wskaźników	x	0,7	0,12	0,12	0,1
11	S, Fe, Mg, Si, Mn dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,47	x	0,58	0,55	0,48
12	S, Fe, Mg, Si, Mn dla 59 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,54	x	0,69	0,56	0,53

1	2	3	4	5	6	7
13	S, Fe, Mg, Si, Mn dla 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,28	x	0,4	0,4	0,21
14	S, Fe, Mg, Si, Mn dla 20 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,17	x	0,6	0,45	0,28
15	S, Fe, Mg, Si, Mn dla 30 grobów z drugiej trzydziestki o najwyższych sumach wskaźników	0,7	x	0,1	0,1	0
16	F, I dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,93	0,58	x	0,87	0,03
17	F, I dla 59 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,24	0,69	x	0,23	0,12
18	F, I dla 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,92	0,4	x	0,86	-0,3
19	F, I dla 20 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	-0,22	0,6	x	0,06	-0,33
20	F, I dla 30 grobów z drugiej trzydziestki o najwyższych sumach wskaźników	0,12	0,1	x	0,21	0,37
21	Cr,Cd dla 64 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,94	0,55	0,87	x	0,16
22	Cr,Cd dla 59 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,59	0,56	0,23	x	0,64
23	Cr,Cd dla 25 grobów o najwyższych sumach wskaźników	0,93	0,4	0,86	x	-0,08
24	Cr,Cd dla 20 grobów o najwyższych sumach wskaźników, bez Oświęcimia	0,74	0,45	0,06	x	0,76
25	Cr, Cd dla 30 grobów z drugiej trzydziestki o najwyższych sumach wskaźników	0,12	0,1	0,21	x	0,16

Zdecydowanie mniejsze współczynniki korelacji uzyskano dla próby 86 grobów pomiędzy wskaźnikami różnic względnej zawartości, obliczonymi dla poszczególnych pierwiastków (tab. 47). Głównym powodem tego są zapewne trudności w wyborze odpowiedniego, reprezentatywnego miejsca porównawczego. Problem ten dotyczy głównie grobów położonych w miastach, lasach, wśród gruntów ornyczych oraz zabudowy. Jest to szczególnie istotne w przypadku grobów wykazujących mały wpływ na środowisko. Trudności te wynikają ze zróżnicowania podłoża, które nigdy nie jest jednorodne chemicznie. Jest to szczególnie widoczne wtedy, gdy badania oparte są na małej próbce pobranej w terenie. Lepsze rezultaty osiąga się stosując metody statystyczne dla dużych populacji. Ponadto środowisko podłoża cechuje mniejsza mobilność obiegu pierwiastków niż ma to miejsce w środowisku wody. Niemniej jednak największe współczynniki korelacji uzyskano pomiędzy grupami pierwiastków: „N, P, K” a „Na, Cl, Ca” – (0,64), „Fe, S, Mn, Si, Mg” – (0,62) oraz „Cr, Cd” – (0,6) (tab. 47, poz. 1, 3, 4). Korelacje pierwiastków „eutroficznych” z pozostałymi grupami pierwiastków są jednak niewiele mniejsze. Taka zależność wynika zapewne z udziału poszczególnych pierwiastków w tworzeniu dominujących związków chemicznych w podłożu. Tworzą one zapewne mniej lub rzadko bardziej trwałe związki chemiczne. W środowisku pochówku należy zatem oczekiwać różnych ich postaci. Problem ten zostanie przedstawiony w osobnym rozdziale. Natomiast najniższe współczynniki korela-

cji obliczono pomiędzy grupą „F, I” a grupami pierwiastków: „Cu, Ni, Al, Zn, Pb” – (0,15), „Na, Ca, Cl” – (0,31) oraz „Cr, Cd” – (0,37). Relacje te zwracają uwagę na brak zależności koncentracji pierwiastków z grupy „utleniaczy” z grupą „pierwiastków ciężkich”. Obecność w środowisku grobu jednej z tych grup, która wiąże pierwiastki dekompozycji i środowiska, jednocześnie ogranicza długie trwanie w tym środowisku pierwiastków z drugiej grupy. Takie pierwiastki, jak Fe nie występują w trwałych związkach z innymi i łatwo migrują poza to środowisko. Z kolei P tworzy większość związków trudno rozpuszczalnych i może trwać wieki in situ w środowisku pochówku.

Tabela 47. Współczynniki korelacji pomiędzy wskaźnikami różnic względnej zawartości obliczonymi dla poszczególnych grup pierwiastków

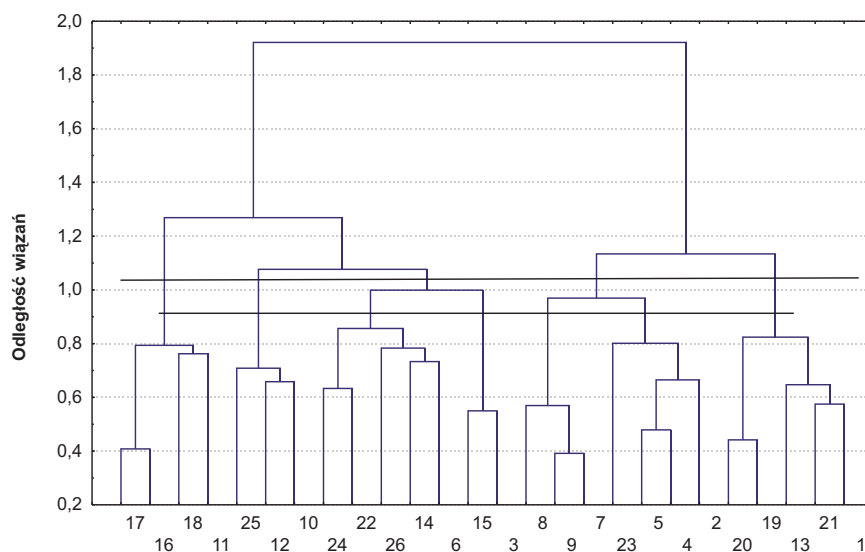
Numer grupy	Grupy pierwiastków	Korelacje pomiędzy wyróżnionymi grupami pierwiastków				
		K, N, P	S, Fe, Mg, Si, Mn	Cr, Cd	F, I	Cu, Ni, Al, Zn, Pb
1	Na, Ca, Cl	0,64	0,43	0,49	0,31	0,63
2	K, N, P	1	0,62	0,6	0,55	0,49
3	S, Fe, Mg, Si, Mn	0,62	1	0,52	0,59	0,47
4	Cr, Cd	0,6	0,52	1	0,37	0,57
5	F, I	0,55	0,59	0,37	1	0,15

Obliczone współczynniki zwracają jedynie uwagę na zależności, zbliżone do liniowych, pomiędzy wskaźnikami obliczonymi dla poszczególnych grup pierwiastków. Pomimo braku uniwersalności tej metody statystycznej, pozwoliła ona na ustalenie składu związków chemicznych, które powinny występować w badanych środowiskach. Zwrócono szczególną uwagę na związki powstałe z połączenia pierwiastków, występujących w wyróżnionych grupach. Są to pierwiastki z grup, dla których obliczono:

- wysoki współczynnik korelacji, np. dla grup, w których znajduje się: N i P; Ca i P oraz P i I,
- średni współczynnik korelacji, np. pomiędzy grupami, w których występują: Na i S, Cu i S oraz Pb i S,
- mały współczynnik korelacji, np. dla grup zawierających Cu i P.

5. Charakterystyczne właściwości środowiska badanych pochówków

Środowisko 240 badanych grobów (przypadki) scharakteryzowano za pomocą 5 cech (wartości zmiennych) każdej z 26 właściwości środowiska i grobów (zmiennych) (tab. 3). W celu określenia, które właściwości są najbardziej charakterystyczne dla środowiska badanych pochówków i mają najistotniejszy wpływ na zawartość pierwiastków pochodzących z dekompozycji w środowisku pochówku, zastosowano ich grupowanie metodami dostępnymi w programie Statistica (np. ryc. 6). Istotnym założeniem przyjętej procedury była obiektywność metod. Najpierw



Badane właściwości środowiska i grobów: 1 – okres pochówku, 2 – liczba pochowanych, 3 – powierzchnia grobu, 4 – powód śmierci, 5 – rodzaj pochówku, 6 – zagospodarowanie grobu, 7 – nachylenie powierzchni grobu, 8 – nachylenie terenu położonego niżej, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 10 – typ rzeźby, 11 – forma terenu, 12 – ekspozycja powierzchni grobu, 13 – wyrównanie powierzchni, 14 – miejsce poboru próby z grobu, 15 – odległość od górnej krawędzi, 16 – jednostka geologiczna, 17 – utwory podłoża, 18 – skład gleby, 19 – wilgotność podłoża w czasie i przestrzeni, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi, 22 – przeważający rodzaj pokrycia, 23 – przeważające gatunki drzew, 24 – stopień pokrycia grobu drzewami, 25 – użytkowanie otoczenia grobu, 26 – zanieczyszczenie środowiska

Ryc. 6. Grupowanie metodą Warda z miarą odległości wiązań – niezgodnością procentową – przeprowadzone dla 5 cech 26 właściwości środowiska i grobu 240 badanych pochówków

zgrupowano te właściwości, które są najbardziej podobne. Grupowania te przeprowadzono wszystkimi możliwymi w tym programie komputerowym metodami wiązań: pojedynczego wiązania, pełnego wiązania, średnich połączeń, średnich połączeń ważonych, środków ciężkości, ważonych środków ciężkości (mediany) i Warda. Jedynie w metodzie Warda było możliwe sensowne i jednoznaczne wyznaczenie grup przyjmując jako kryterium konkretną wartość odległości wiązań (ryc. 6).

W przyjętej metodzie można stosować różne miary odległości. Grupowania metodą Warda przeprowadzono więc wykorzystując siedem dostępnych w programie Statistica miar odległości euklidesową, euklidesową kwadratową, miejską (Manhattan), Czebyszewa, potęgową, 1-r Pearsona i niezgodność procentową. Nie każda zastosowana tego typu miara odległości wiązań pozwalała na jednoznaczne przyjęcie konkretnej wartości odległości wiązań, w celu ustalenia liczby grup. W przeprowadzonych grupowaniach uzyskano od 6 do 7 grup właściwości, w zależności od miary odległości. Ich wyznaczenie nie budziło wątpliwości w przypadku kilku miar odległości: 1-r Pearsona, Czebyszewa i niezgodności procentowej. Ostatecznie za miarę odległości przyjęto niezgodność procentową (tab. 48).

Miara niezgodności procentowej jest zalecana w przypadku zmiennych dyskretnych. A takimi zmiennymi losowymi są badane właściwości środowiska i grobu. Przyjętą w grupowaniu metodą Warda miarą odległości jest niezgodność procentowa, która pozwoliła wyróżnić siedem grup (ryc. 6).

W każdej grupie wyróżniono tę właściwość, która charakteryzuje się największą zmiennością. Wskaźnik ten uzyskano dzieląc odchylenie standardowe obliczone dla badanych właściwości przez stosowaną średnią wartość i mnożąc przez 100 (tab. 49).

Tylko pięć wyselekcjonowanych właściwości powtarzało się w 4 z 7 grupowań przy zastosowaniu różnych miar odległości (tab. 48). Z kolei aż osiem właściwości powtarzało się w 3 z 7 przeprowadzonych grupowaniach metodą Warda dla tych miar (tab. 48). Były to: 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi, 25 – użytkowanie otoczenia grobu, 18 – skład gleby, 23 – przeważające gatunki drzew oraz 26 – zanieczyszczenie środowiska.

Najwyższy wskaźnik zmienności pozwolił w każdej z grup, uzyskanych dzięki zastosowaniu niezgodności procentowej, wyróżnić siedem następujących właściwości środowiska i grobu: 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 25 – użytkowanie otoczenia grobu, 23 – przeważające gatunki drzew, 24 – stopień pokrycia grobu drzewami oraz 3 – powierzchnię grobu. Pięć z tych dominujących właściwości w utworzonych grupach powtarzało się w siedmiu grupowaniach przy zastosowaniu różnych miar odległości. Ponadto właściwości te są wysoko skorelowane z innymi badanymi właściwościami w tych poszczególnych zgrupowaniach. Wyróżniona w jednej z grup „powierzchnia grobu” wykazuje dużą korelację z innymi właściwościami z tej grupy, np. najwyższą korelację (0,64) z „liczbą pochowanych” oraz (0,75) z „odległością od krawędzi górnej grobu”. W kolejnej grupie „wilgotność miejsca poboru próby” jest wysoko skorelowana (0,74) z „wilgotnością podłoża w czasie i przestrzeni” oraz (-0,43) ze „składem gleby”. Z kolei w innej grupie „utwory podłoża” wykazują wysoką korelację (0,72) z „jednostką geologiczną” oraz nieco

Tabela 48. Wyróżnione właściwości środowiska za pomocą największego wskaźnika zmienności w każdej z grup, uzyskanych w przeprowadzonych grupowaniach metodą Warda dla siedmiu różnych miar odległości

Wyróżnione właściwości i ich numeracja	Miary odległości stosowane w przeprowadzonych grupowaniach metodą Warda						
	niezgodność procentowa	1-r Pearson	odległość euklidesowa	kwadrat odległości euklidesowej	odległość miejska	potęgowa	Czebyszewa
17 – utwory podłoża	x	x	x	x	x	x	x
20 – wilgotność miejsca poboru próby	x	x	x	x	x	x	x
25 – użytkowanie otoczenia grobu	x	-	x	x	x	x	-
21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi	-	x	x	-	-	x	x
23 – przeważające gatunki drzew	x	-	x	x	-	x	-
9 – nachylenie terenu położonego wyżej	x	x	-	-	-	-	x
18 – skład mechaniczny gleby	-	-	x	x	-	x	-
26 – zanieczyszczenie środowiska	-	-	x	x	-	x	-
24 – stopień pokrycia grobu drzewami	x	x	-	-	x	-	-
1 – okres pochówku	-	-	-	-	x	-	x
3 – powierzchnia grobu	x	-	-	-	x	-	-
6 – zagospodarowanie grobu	-	-	-	-	-	-	x
5 – rodzaj pochówku	-	x	-	-	-	-	-

mniejszą (0,41) z „typem rzeźby” oraz (-0,42) z „zanieczyszczeniem środowiska”. Ponadto średnie korelacje w kolejnej grupie oceniają relacje pomiędzy właściwościami: „stopniem pokrycia grobu drzewami” a „przeważającym rodzajem pokrycia powierzchni grobu”, współczynnik korelacji 0,43 i z „przeważającym gatunkiem drzew”, współczynnik korelacji (-0,54). Przedstawione wyżej zależności pomiędzy 26 badanymi właściwościami 240 środowisk i grobów wyróżniają się w zestawieniu obliczonych współczynników korelacji.

Tabela 49. Podstawowe parametry statystyczne 26 właściwości środowiska i grobów dla 240 badanych pochówków

Numer właściwości środowiska i grobu	Średnia wartość właściwości	Odchylenie standardowe	Wskaźnik zmienności
1 – okres pochówku	1,92	1,05	54,5
2 – liczba pochowanych	2,28	1,19	52,0
3 – powierzchnia grobu	3,06	1,29	42,2
4 – powód śmierci	2,23	0,85	38,1
5 – rodzaj pochówku	1,95	0,86	44,0
6 – zagospodarowanie grobu	3,58	1,08	30,1
7 – nachylenie powierzchni grobu	1,73	0,85	49,0
8 – nachylenie terenu położonego niżej	2,25	1,16	51,5
9 – nachylenie terenu położonego wyżej	1,70	0,97	56,6
10 – typ rzeźby	3,30	1,32	40,0
11 – forma terenu	3,48	1,44	41,4
12 – ekspozycja grobu	3,42	1,59	46,6
13 – wyrównanie powierzchni	2,19	1,20	54,7
14 – miejsce poboru próby z grobu	2,97	0,80	26,8
15 – odległość od górnej krawędzi grobu	3,53	1,15	32,6
16 – jednostka geologiczna	2,63	1,44	54,8
17 – utwory podłoża	2,05	1,33	64,7
18 – skład gleby	3,08	1,36	44,0
19 – wilgotność podłoża w czasie i przestrzeni	2,18	1,17	53,5
20 – wilgotność miejsca poboru próby	1,67	1,01	60,6
21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi	1,67	0,94	56,3
22 – przeważający rodzaj pokrycia powierzchni	2,87	0,73	25,4
23 – przeważające gatunki drzew	2,63	1,47	56,1
24 – stopień pokrycia grobu drzewami	3,30	1,34	40,5
25 – użytkowanie otoczenia grobu	3,22	1,51	46,8
26 – zanieczyszczenie środowiska	3,65	1,19	32,5

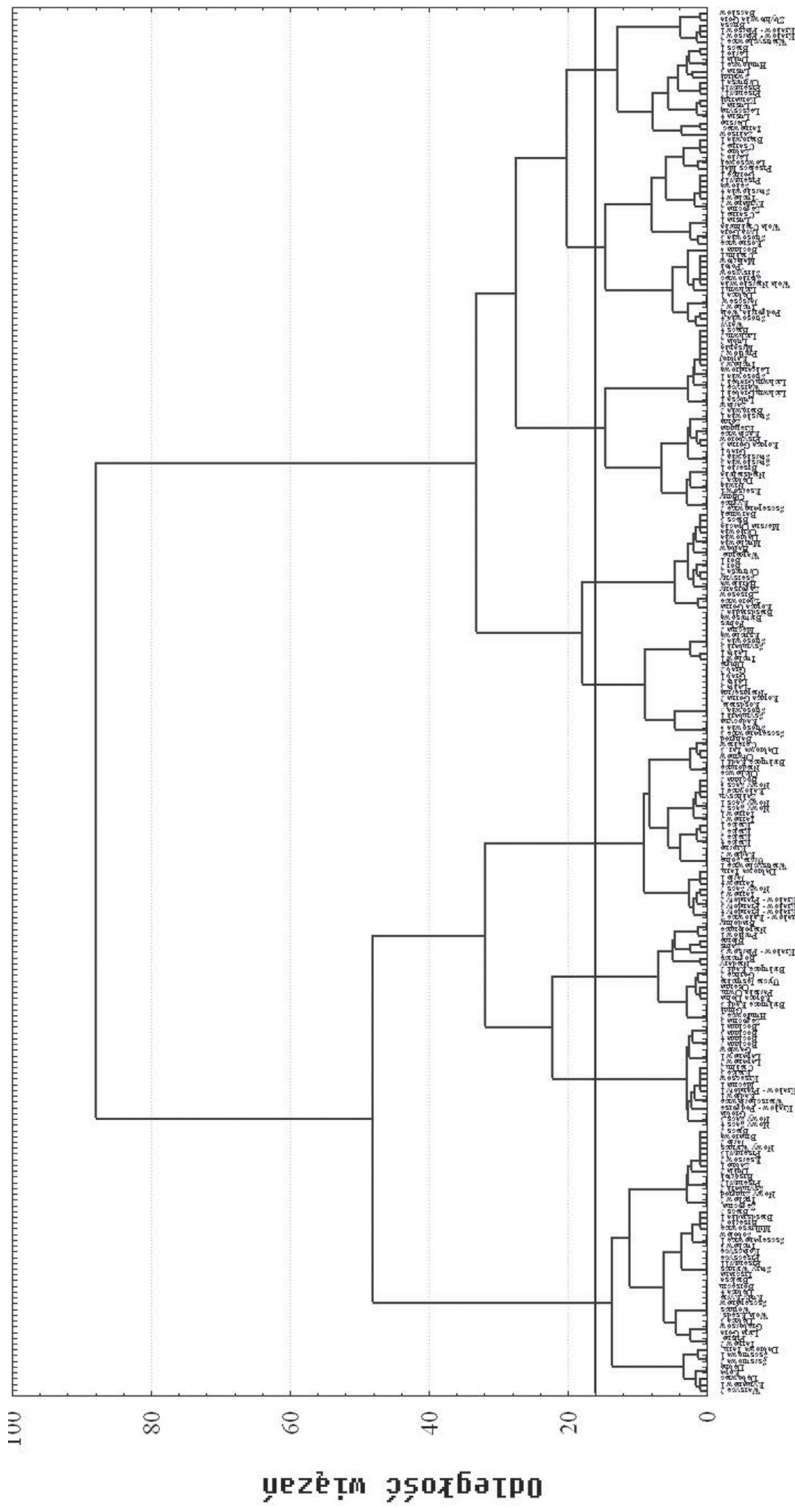
Przyjęcie, zgodnie z uzyskanym diagramem – 7 grup prowadzi do zgody na grupę składającą się tylko z dwóch właściwości. Na uwagę zasługuje również stosunkowo wysoka korelacja pomiędzy dwoma spośród siedmiu wyróżnionych właściwości; „stopniem pokrycia grobu drzewami” a „przeważającym gatunkiem drzew”. W tej sytuacji uznano, że należy wykluczyć jedną z tych właściwości. Przeprowadzono zatem stosowną procedurę nawiązującą do drzewka hierarchicznego, uzyskanego za pomocą metody Warda z miarą odległości, niezgodnością procentową. Na diagramie (ryc. 6) zwiększono nieznacznie odległość wiązań o około 0,1 do wartości nieznacznie powyżej – 1,05. Na tej wysokości, na diagramie, przeprowadzono linię poziomą, która odcina pięć grup. W każdej z tych grup, za pomocą wskaźnika zmienności, wyróżniono pięć podstawowych właściwości środowiska i grobu. Decydują one zasadniczo o zawartości w podłożu pierwiastków pochodzących z dekompozycji. Są to: **utwory podłoża, użytkowanie otoczenia grobu, powierzchnia grobu, nachylenie terenu położonego wyżej oraz wilgotność miejsca poboru próby.**

Dwie z tych właściwości, a mianowicie: „powierzchnia grobu” oraz „użytkowanie otoczenia grobu” nie zmieniły grupy w żadnej z przeprowadzonych siedmiu grupowań.

Z kolei dwie następne wyróżnione właściwości: „utwory podłoża” oraz „nachylenie terenu położonego wyżej grobu” zmieniły grupę tylko w jednym przypadku na siedem przeprowadzonych tego rodzaju grupowań. Tylko jedna badana właściwość – „wilgotność miejsca poboru próby”, zmieniała grupy w trzech z siedmiu dokonanych grupowań metodą Warda z różnymi odległościami wiązań.

Weryfikację powyższej procedury przeprowadzono za pomocą analizy czynnikowej, która polega na wyodrębnieniu „składowych głównych”. Wyróżnione pięć właściwości tworzy pierwsze czynniki, z których trzy wyjaśniają zmienność cech do 40%. W metodzie składowych głównych właściwości te charakteryzują się również skrajnymi wielkościami ładunków czynników. Przykładowo dla „powierzchni grobu” uzyskano (-0,81), a dla utworów podłoża (0,73). Wyznaczone na drodze przyjętej procedury właściwości elementów środowiska i grobów najlepiej charakteryzują badane środowisko masowych grobów.

Jednym z podstawowych celów prowadzonych badań, za pomocą metod statystycznych, było pogrupowanie grobów o podobnych, wyselekcjonowanych wcześniej również przy pomocy grupowania, pięciu właściwości środowiska. Za zasadniczą metodę grupowania uznano metodę k-średnich. Wymaga ona jednak ustalenia wartości, wokół których nastąpi grupowanie. Ponadto metoda ta wymaga deklaracji co do liczby grup. Warunek ten był do zaakceptowania, ponieważ musiała to być identyczna liczba grup, jak w przypadku grupowania grobów według zawartości wyselekcjonowanych pierwiastków. Wartości typowych cech właściwości w wyróżnionych grupach, wokół których dokonano grupowań ustalono inną metodą. Wpierw pogrupowano groby metodą Warda z miarą odległości Czebyszewa (ryc. 7). Przyjęcie takiego rodzaju odległości było niezbędne w związku z koniecznością uzyskania dziewięciu grup. W przyjętej metodzie grupowania, przy odległości wiązań od 17 do 19, zdecydowanie wyróżnia się dziewięć grup. Ta miara odległości wyraźnie definiuje obiekty jako „inne”, gdy różnią się w jednym dowolnym wymiarze.



Ryc. 7. Grupowanie 240 grobów przy uwzględnieniu 5 wyróżnionych właściwości środowiska metodą Warda z miarą odległości Czebyszewa, w celu ustalenia liczby grup i właściwości typowych cech w wyróżnionych grupach

W każdej z dziewięciu wyróżnionych grup grobów, o podobnych właściwościach środowiska, ustalono powtarzające się najczęściej cechy właściwości zestawionych grobów. Cechy te wykorzystano następnie do przeprowadzenia zasadniczego grupowania metodą k-średnich (tab. 50). Metoda ta minimalizuje zmienności wewnątrz skupień i maksymalizuje je między skupieniami.

Tabela 50. Badane 240 pochówków pogrupowane w dziewięć grup za pomocą metody k-średnich dla pięciu wyróżnionych właściwości środowiska (3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu)

Numer grupy	Liczba grobów	Miejscowości, w których występują badane groby ^{*1}
I	47	Biecz (2,5), Bielcza, Bieździadka (1), Binarowa, Borzęcin, Brzesko (2), Brzostek, Dębica (2,3,4), Dębno, Dębowiec, Dukla (2), Gręboszów, Jasło (2), Kołaczyce, Łysa Góra, Mikuszowice, Niwka, Nowy Wiśnicz, Nowy Żmigród, Przeczyca, Przemyśl (1,2,3), Ropa, Rudy Rysie, Rymanów (1), Rzeszów (1,2), Sobolów, Stary Wiśnicz, Szczepanowice (1), Szczepanów, Szczurowa (1,2), Szymbark (2), Tarnowiec, Trzciana, Tuchów (5,6), Warzyce (2), Wojnicz, Wola Rzędzińska, Żabno (1), Żegocina (1)
II	27	Bochnia (1,3,4,5), Cieklin (2), Dąbrowa Tarnowska (2), Gawłów, Grobla, Jasło (1), Kielce (3), Krosno, Krzczów, Łapanów (1,2), Męcina (1), Nowy Sącz (3,4), Pilzno, Kraków-Podgórze (par.), Kraków-Prandoty (1), Radłów (1,2), Tarnów (2), Uście Solne, Wierzchosławice, Wietrzychowice (1), Zakrzów
III	13	Biskupice Radłowskie (2,3), Bogucice, Glinik, Gorlice (2), Hunkowce (2), Niedary, Ożenna, Pasięka Otwinowska, Ropica Dolna, Ujście Jezuickie, Załuż, Żegocina (3)
IV	30	Baligród, Biskupice Radłowskie (1), Bochnia (2), Cerekiew, Dąbrowa Tarnowska (1,3), Kielce (1,2,4,5), Niedomice, Nowy Sącz (1,2,5,6), Olchowce, Otwinów, Kraków-Płaszów (1,2,3), Kraków-Prandoty (2,3,4), Kraków-Rakowice (1,2), Tarnów (1,3,4,5), Zakliczyn
V	36	Biecz (3), Bierówka (2), Bieździadka (2), Bistuszowa, Czarne (1), Deszno, Długie, Folusz, Grab (2), Grabina, Krempana, Łąka (1,2,3), Łuzna (1), Lisia Góra, Męcina (2), Nieprzeźnia, Przyborów, Raclawice, Radocyna, Ropica Górna (2), Rozdziele, Rożnowice, Rzuchowa, Staszkówka (1), Stróżówka (2,3,5,6), Szczepanowice (3), Szymbark (1,3), Tuchów (1), Wola Cieklińska, Zonia
VI	18	Barwinek, Biadoliny, Bór (1,2), Brzozów, Dąbrówka, Hałbów, Harkłowa, Mieszna Opacka, Muchówka, Niepołomice, Osikówka, Ostrusza (2), Pustków (1), Szerzyny, Wapienne, Zagórzany, Zborowice
VII	32	Biecz (4), Błonie, Brzesko (1), Gorlice (1), Grab (1), Leksandrowa, Lesko (2), Lichwin Grabek (1,2), Lichwin Wał (2), Lubcza (1,2), Łowczówek, Mszanka, Niedzieliska, Ołpiny, Przełęcz Małastowska, Przemyśl (6), Pustków (2), Rajbrot, Ropica Górna (3), Rygllice, Staszkówka (2,3,4), Stróżówka (1), Szczepanowice (2), Tuchów (3,4), Warzyce (1), Zasław, Żabno (2)
VIII	15	Bochnia (6), Cieklin (1), Dębica (1), Jaszczew, Lichwin Wał (1), Małastów, Podgórska Wola, Potok, Ropica Górna (1), Skrzyszów, Sterkowiec, Stróżówka (4), Tuchów (2), Waryś, Wola Nieszkowska
IX	22	Baczków , Biecz (1), Bierówka (1), Bircza, Czarne (2), Dukla (1), Hunkowce (1), Komarnik, Lesko (1), Leszczyna, Łuzna (2,3,4), Ostrusza (1), Przemyśl (4,5), Rymanów (2), Sękowa, Świdnik, Wietrzychowice (2), Zbylitowska Góra, Żegocina (2)

*1 numery grobów położonych w wymienionych miejscowościach, w których badano kilka pochówków

Grupowanie przeprowadzone metodą k-średnich zestawilo z sobą w jednej grupie IX kilka grobów, które wcześniej uznano za wykazujące duży wpływ na środowisko. Są to pochówki z okresu II wojny położone w Dukli, Hunkowcach, Komarniku, Rymanowie, Świdniku i Zbylitowskiej Górze oraz porównawcze miejsce w Baczkwie (tab. 51). Ich środowisko i cechy grobów wyróżnia: duża powierzchnia i liczba pochowanych, nachylenie terenu najczęściej od 5 do 10 stopni, lite podłoże piaskowcowo-łupkowe, sporadycznie piaski i ily miocenu, średnio lub wyraźnie wilgotne podłoże oraz położenie na skraju lasu lub rzadziej wśród gruntów orných i łąk. Miejsca na groby wybierano tam, gdzie istniał już wcześniej inny pochówek lub daleko od centrów codziennego życia ludzi, np. w Borze (fot. 31). Nowa lokalizacja tych miejsc zwykle wyzwala u ludzi wiele emocji. Na te cechy wyróżnionych właściwości środowiska zwraca uwagę szereg grupowań, uwzględniających takie miary odległości, jak: niezgodność procentowa, 1-r Persona oraz odległości miejscie.

Tabela 51. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy IX, o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej

Masowe groby z okresu I i II wojny światowej	Właściwości i cechy środowiska ^{*1}				
	3 (w m ²)	9 (w stopniach)	17	20	25
Baczków	powyżej 3000	5–10	ily, piaski	podmokle	las
Dukla II	powyżej 3000	5–10	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	pola, łąki
Hunkowce II	powyżej 3000	5–10	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	pola, łąki
Komarnik II	1001 – 3000	5–10	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	las
Rymanów II	powyżej 3000	do 5	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	pola, łąki
Zbylitowska Góra II	powyżej 3000	10–15	ily	wyraźnie wilgotne	las
Przemysł węg. I ^{*2}	powyżej 3000	progi i terasy	piaskowce i łupki	suche	pola, łąki

^{*1}3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu; ^{*2}węg. – pochówek żołnierzy węgierskich z okresu I wojny

Masowe groby o dużej zawartości pierwiastków pochodzących z dekompozycji znalazły się także w mało licznej grupie VI (tab. 50). Są to groby w Barwinku, Muchówce, Niepołomicach, na Osikówce w Puszczy Niepołomickiej oraz dwa w Borze (tab. 52). Pochówki te przeważnie pochodzą z okresu II wojny światowej i dotyczą stosunkowo dużej liczby pochowanych, bo około 700 osób, poza grobem na Osikówce w Puszczy Niepołomickiej, o relatywnie niewielkiej powierzchni – od 101 m² do 500 m² (fot. 20). Teren, na którym je zlokalizowano posiada małe

nachylenie, natomiast ich podłoże jest przeważnie piaszczyste. W czasie prowadzonych badań było ono przesuszone. Lata, w których pobierano próbki podłoża do analizy, zalicza się do suchych. Takie warunki gwarantowały porównywalność wyników. Badania szczegółowe wskazują jednak na okresowe wahania poziomu wody w latach wilgotnych. Woda w tych miejscach okresowo sięga poziomu pochówku. Wszystkie groby z tej grupy położone są w lesie na polanach. O dużej koncentracji pierwiastków w poziomie przypowierzchniowym decyduje, przede wszystkim, duża liczba pochowanych ciał na niewielkiej powierzchni oraz okresowo zalewany pochówek w wyniku podnoszenia się poziomu wody gruntowej.

Tabela 52. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy VI o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej

Masowe groby z okresu I i II wojny światowej	Właściwości i cechy środowiska ^{*1}				
	3 (w m ²)	9	17	20	25
Bór 1 ^{*2} II	101–500	małe nachylenie	piaski	suche	las
Bór 2 II	101–500	poziomo	piaski	suche	las
Muchówka I	101–500	poziomo	piaskowce i łupki	suche	las
Osikówka II	do 100	poziomo	piaski	suche	las
Barwinek II	do 100	poziomo	piaskowce i łupki	suche	las
Niepołomice II	101–500	poziomo	piaski	suche	las
Pustków, prochy II	do 100	poziomo	piaski	suche	las

^{*1}3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu; ^{*2}cyfry arabskie przy nazwach miejscowości wskazują na kilka grobów

W grupie I, liczącej aż 48 grobów, znalazły się także pochówki z: I wojny w Łysej Górze, z I i II wojny w Dukli, z II wojny na cmentarzu w Rymanowie, z II wojny radziecki w Rzeszowie oraz dwa z I wojny położone na cmentarzach w Nowym Żmigrodzie i Mikłuszowicach (tab. 53). Są to przeważnie duże groby położone na cmentarzach i występujące w czołówce rankingu z najwyższymi koncentracjami pierwiastków w podłożu (tab. 24, 25). Pochówki z tego samego okresu rozmieszczone są w kwaterach różnej wielkości. Ich powierzchnia jest pozioma, zwłaszcza gdy w podłożu są piaski. W okresie badań były one suche. Natomiast nachylone powierzchnie grobów występują najczęściej na stokach założonych na piaskowcach i łupkach, np. w Rymanowie (fot. 24). W miejscach tych nie wyklucza się jednak okresowego podnoszenia się poziomu wody gruntowej. Minerale ilaste sprzyjają takim warunkom. Zapewne ułatwiają one występowanie wody kapilarnej, która w zróżnicowanych antropogenicznie glinach na podłożu piaskowcowo-łupkowym powoduje zawilgocenie terenu.

Tabela 53. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy I o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej

Masowe groby z okresu I i II wojny światowej	Właściwości i cechy środowiska ^{*1}				
	3 (w m ²)	9 (w stopniach)	17	20	25
Dukla II, I	1001–3000	5–10	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	cmentarz
Rymanów cm. ^{*2} II	do 100	5–10	piaskowce i łupki	lekko wilgotne	cmentarz
Rzeszów cm. II	1001–3000	poziomo	piaski	suche	cmentarz
Rzeszów II	1001–3000	poziomo	piaski	suche	zabudowa miasta
Nowy Żmigród cm. I	1001–3000	poziomo	piaskowce i łupki	suche	cmentarz
Mikluszowice cm. I	101–500	do 5	piaski	suche	cmentarz

^{*1}3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu; cm.^{*2} – cmentarz

Największe groby badane znalazły się w grupie IV, w której występują pochówki ze średnią koncentracją pierwiastków w poziomie przypowierzchniowym (tab. 54). Najczęściej są to groby z okresu I i II wojny światowej położone na cmentarzach oraz cmentarze w Cerekwi, Nowym Sączu – kirkut, „Stary” i kirkut w Tarnowie. Zdecydowana większość z nich zlokalizowana jest w Kotlinie Sandomierskiej, w dużych miastach, w dnach dolin lub na terasach rzecznych. Pochówki te złożono w utworach przepuszczalnych, najczęściej w aluwjach i piaskach podścielonych łąkami trzeciorzędowymi lub aluwialnymi glinami. Większość z nich podlega wpływowi wahań zwierciadła wody w korycie rzek, np. w Nowym Sączu oraz potoków, np. w Tarnowie (fot. 25). W suchym okresie badań pojawiły się tam lokalnie, w cieniu drzew na małych powierzchniach pochówku, zawilgocenia gliniastego podłoża. Ze względu na zróżnicowanie osadów, w podłożu tych pochówków występują różnej wysokości wzniosy kapilarne. Podtopienie tych pochówków zdarzało się sporadycznie w okresie funkcjonowania cmentarzy. Podczas większych opadów, ze względu na małe nachylenie terenu, okresowo gromadzi się woda na ich powierzchni. W tej grupie cmentarzy znalazły się także groby z I wojny światowej. Jedynie nieliczne pochówki z tej grupy, z okresu I wojny, położone są osobno, np. w Dąbrowie Tarnowskiej oraz dwa w Tarnowie.

Tabela 54. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych pochówków z grupy IV o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej

Masowe groby z okresu I i II wojny światowej	Właściwości i cechy środowiska ^{*1}				
	3 (w m ²)	9 (w stopniach)	17	20	25
Baligród II	powyżej 3000	poziomo	aluwia, ily	suche	pola, łąki
Cerekiew cm. ^{*2}	powyżej 3000	poziomo	aluwia, ily	suche	pola, łąki
Dąbrowa Tarnowska żyd. II	1001–3000	poziomo	piaski, ily	lekko wilgotne	cmentarz
Dąbrowa Tarnowska I	1001–3000	do 5	piaski, ily	suche	pola, łąki
Nowy Sącz cm. I	1001–3000	poziomo	aluwia, ily	suche	cmentarz
Nowy Sącz cm. II	1001–3000	poziomo	aluwia, ily	suche	cmentarz
Nowy Sącz żyd.	powyżej 3000	poziomo	mady, aluwia	lekko wilgotne	zabudowa miasta
Nowy Sącz radz. II	powyżej 3000	poziomo	aluwia, ily	suche	zabudowa miasta
Kraków-Prandoty wehr. II	powyżej 3000	poziomo	aluwia	średnio suche	cmentarz
Kraków-Prandoty radz. II	powyżej 3000	poziomo	aluwia	średnio suche	cmentarz
Kraków-Prandoty ang. II	powyżej 3000	poziomo	aluwia	lekko wilgotne	cmentarz
Kraków-Rakowice cm. I	powyżej 3000	poziomo	aluwia	suche	cmentarz
Kraków-Rakowice cm. II	powyżej 3000	poziomo	aluwia	lekko wilgotne	cmentarz
Tarnów-Chyszów I	powyżej 3000	poziomo	aluwia	suche	zabudowa miasta
Tarnów żyd.	powyżej 3000	poziomo	piaski, ily	lekko wilgotne	zabudowa miasta
Tarnów I	1001 – 3000	do 5	piaski, ily	lekko wilgotne	zabudowa miasta
Tarnów cm. „Stary”	powyżej 3000	poziomo	aluwia	suche	zabudowa miasta

^{*1}3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża (wraz z nadkładem), 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu; ^{*2} cm. – cmentarz; cm. I lub II – pochówek z okresu I lub II wojny na cmentarzu, żyd., radz., wehr., ang. – pochówki Żydów, żołnierzy radzieckich, niemieckich i angielskich

Nieliczne groby, w których stwierdzono także relatywnie wysokie zawartości pierwiastków w poziomie przypowierzchniowym, rozrzucone są po innych grupach. Masowe groby z okresu I wojny w Lubczy znalazły się w grupie VII wraz z innymi grobami z tego samego okresu (tab. 50). Oba te groby mają dużą powierzchnię. Jeden z nich, o numerze 192, o którym pisano w rozdziale 5, znajduje się w głębi lasu (fot. 18). Drugi z grobów w Lubczy, o numerze 191, położony jest na skraju lasu, przy asfaltowej drodze Lubcza–Dąbrówka, od strony wschodniej. Zachodnie wiatry kierują w jego stronę spaliny z samochodów, które opadają na grób w związku z barierą, jaką jest ściana lasu. Ponadto powierzchnia tego pochówku jest generalnie lekko nachylona w kierunku drogi. Jednak przy samej drodze na zaprożu antropogenicznego progu, opadającego w jej stronę, stwier-

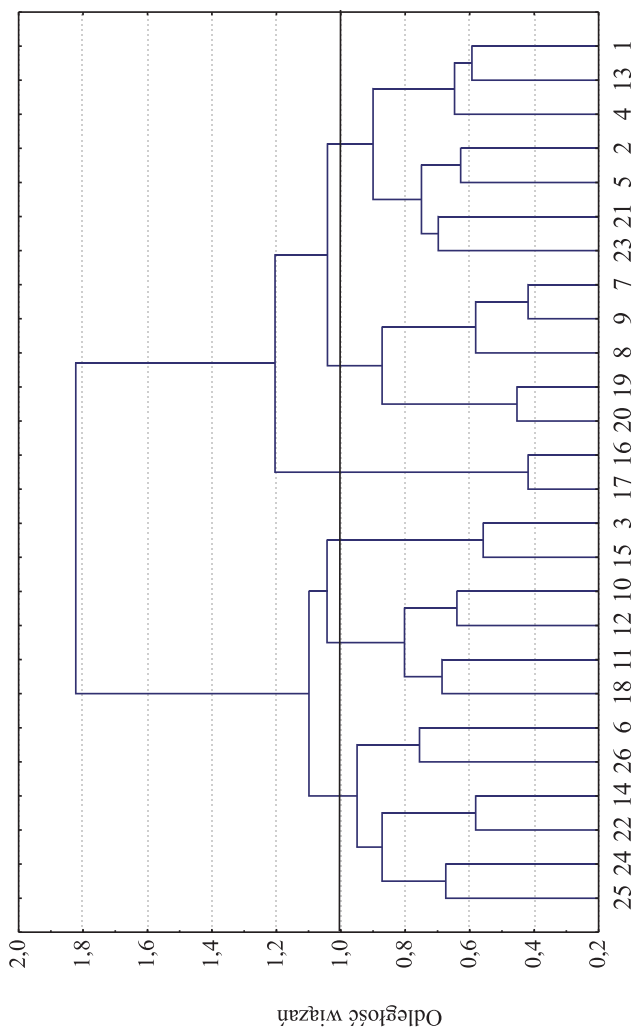
dzono lokalne zawilgocenie, co potwierdza rosnąca tam roślinność wskaźnikowa. Na terenie tego grobu rzadko rosną drzewa.

Kolejne groby z relatywnie wysokimi zawartościami pierwiastków znalazły się w grupie V. Są to groby pochodzące z I wojny w Krempej i w Łącku. Oba te pochówki położone są na wierzchołku opadającej w kierunku południowym w Łącku i północnym w Krempej (fot. 21). Powierzchnia tych niedużych obiektów została gruntownie przebudowana, szczególnie w Krempej, o czym pisano wcześniej. Ze względu na atrakcyjne położenie jest on często odwiedzany. Na ich niewielkiej powierzchni rzadko rosną drzewa. Stan wegetacji obu pokryw trawiastych wskazywał na znaczne przesuszenie ich górnych części pionowych profili podłoża. Nie stwierdzono w tych miejscach możliwości okresowego wzrostu poziomu wody gruntowej. Groby te mogą być okresowo zalewane, w ich dolnej części, przez burzowe wody opadowe. Przyczyną relatywnie dużej zawartości pierwiastków w tych grobach jest prawdopodobnie także działalność człowieka. Problem ten jest zapewne bardziej złożony i wymaga dalszych badań.

Również w kilku masowych grobach z grupy II w Krośnie, Gawłowie i Dąbrowie Tarnowskiej wykazano relatywnie wysokie zawartości pierwiastków (tab. 24, 25). Te masowe groby położone są na miejscowych cmentarzach, jednak tylko cmentarz w Krośnie jest do dziś czynny. Obecna powierzchnia tych masowych grobów jest niezgodna z rzeczywistymi pochówkami. Z czasem w Krośnie stopniowo ograniczano powierzchnię tej kwatery na rzecz późniejszych pochówków (fot. 16). Ponadto cmentarze, na których leżą te masowe groby, zlokalizowane są na płaskich terasach, które buduje niejednorodny osad. Na niewielkiej odległości osady luźne sąsiadują z nieprzepuszczalnymi osadami. Taka sytuacja utrudnia wnioskowanie i sprawia, że problem ten wymaga rozszerzenia badań.

Łączenie grobów o podobnych wyselekcjonowanych właściwościach pochówków i ich środowisk zastosowano także względem próby 86 grobów. Najpierw przeprowadzono grupowanie metodą Warda według zmiennych, którymi są właściwości 86 grobów i ich środowisk, z miarą odległości wiązań – niezgodnością procentową (ryc. 8). W celu wyboru liczby grup przyjęto taką samą, jak w przypadku 240 grobów, wartość odległości wiązań – 1,0 właściwości. Uzyskano w ten sposób sześć grup badanych właściwości, czyli o jedną grupę więcej niż w przypadku porównywanej populacji.

Następnie za pomocą wskaźnika zmienności wyróżniono w poszczególnych grupach następujące właściwości: 3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 12 – ekspozycja powierzchni grobu, 17 – utwory podłoża, 23 – przeważające gatunki drzew, 25 – użytkowanie otoczenia grobu (tab. 55). Wśród tych wyróżnionych właściwości, w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla 240 grobów, zabrakło tylko właściwości o numerze 20 określanej jako „wilgotność miejsca poboru próby”. Natomiast w tym samym zestawieniu charakterystycznych właściwości dla próby 86 pochówków znalazły się także dwie inne: 12 – ekspozycja powierzchni grobu oraz 23 – przeważające gatunki drzew. Ta ostatnia właściwość, o numerze 23, wyróżniała się także w porównywanym grupowaniu dla 240 pochówków, kiedy to wyselekcjonowano siedem właściwości (tab. 49). Uzyskane w przeprowadzonym grupowaniu drzewko hierarchiczne pozwala w tych sześciu grupach zestawić od 2 do 7 elementów. Teoretycznie można było również wydzielić pięć grup. Podział taki umożliwia wartości miary odległości w bardzo wąskim



- 1 – okres pochówku, 2 – liczba pochowanych, 3 – powierzchnia grobu, 4 – powód śmierci, 5 – rodzaj pochówku,
- 6 – zagospodarowanie grobu, 7 – nachylenie powierzchni grobu, 8 – nachylenie terenu położonego niżej,
- 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 10 – typ rzeźby, 11 – forma terenu, 12 – ekspozycja powierzchni grobu,
- 13 – wyrównanie powierzchni, 14 – miejsce poboru próby z grobu, 15 – odległość od górnej krawędzi,
- 16 – jednostka geologiczna, 17 – utwory podłoża, 18 – skład gleby, 19 – wilgotność podłoża w czasie i przestrzeni,
- 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi, 22 – przeważający rodzaj pokrycia,
- 23 – przeważające gatunki drzew, 24 – stopień pokrycia grobu drzewami, 25 – użytkowanie otoczenia grobu,
- 26 – zamieszczenie środowiska

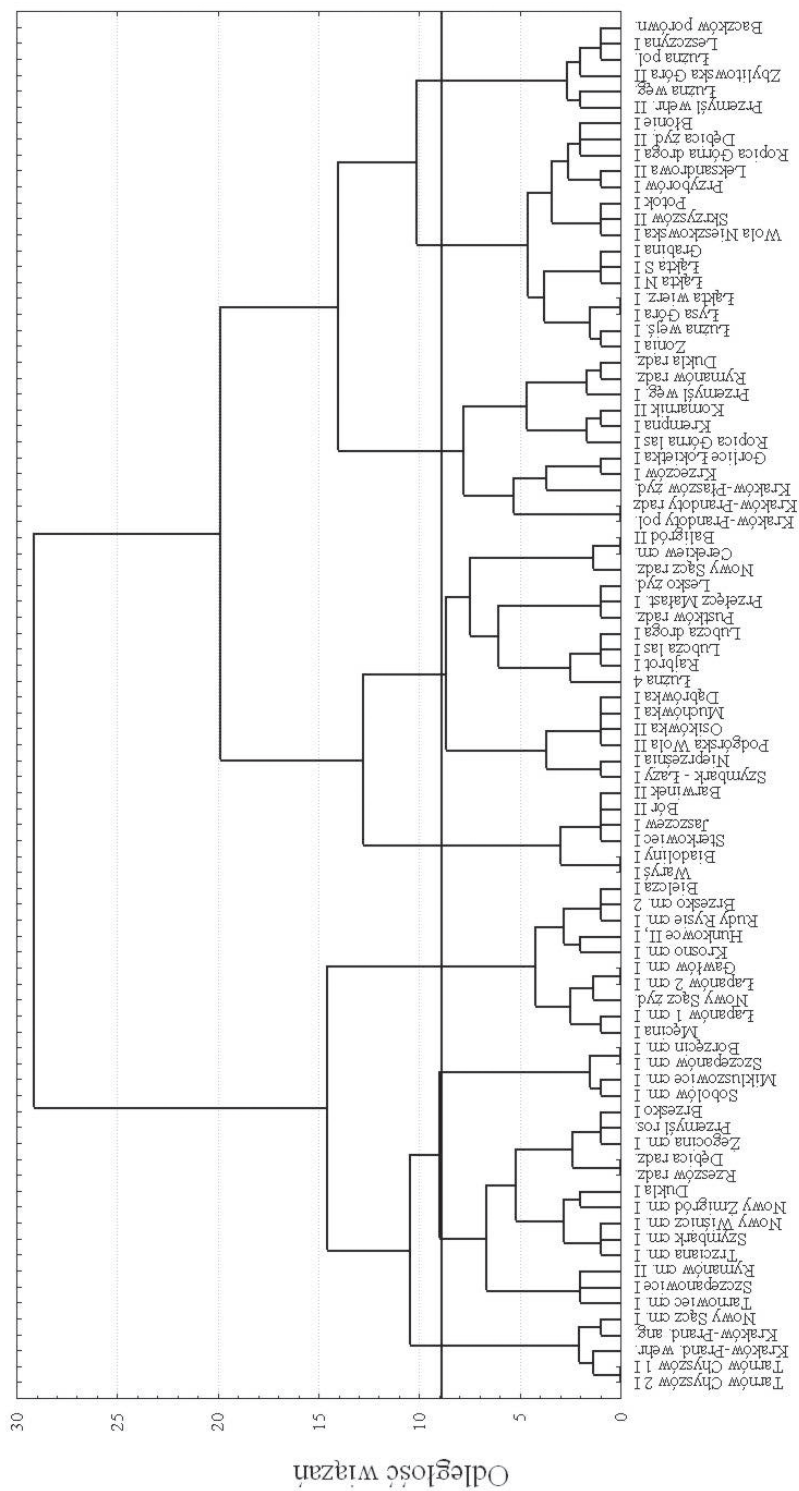
Ryc. 8. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda według zmiennych, czyli 26 właściwości 86 grobów i ich środowisk, z miarą odległości – niezgodnością procentową

zakresie, nieco powyżej wartości 1,0 (ryc. 8). Powstałe w ten sposób grupy liczą jednak od 2 do 12 elementów.

Do dalszych analiz próby 86 grobów przyjęto sześć właściwości grobów i ich środowisk (tab. 55). Pozwoliły one pogrupować 86 grobów metodą Warda z miarą odległości Czebyszewa, w celu ustalenia liczby grup i wartości, wokół których dokonano ostatecznego grupowania (ryc. 9).

Tabela 55. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla 26 właściwości 86 grobów i ich środowisk

Właściwości grobów i ich środowisk wraz z przyjętą numeracją	Średnia arytmetyczna cech	Odchylenie standardowe	Wskaźnik zmienności
1 – okres pochówku	1,97	1,02	0,52
2 – liczba pochowanych	2,42	1,21	0,50
3 – powierzchnia grobu	3,17	1,41	0,44
4 – powód śmierci	2,30	0,80	0,35
5 – rodzaj pochówku	1,76	0,84	0,48
6 – zagospodarowanie grobu	3,55	1,08	0,30
7 – nachylenie powierzchni grobu	1,78	0,85	0,48
8 – nachylenie terenu położonego niżej	2,24	1,14	0,51
9 – nachylenie terenu położonego wyżej	1,72	1,02	0,6
10 – typ rzeźby	3,37	1,34	0,40
11 – forma terenu	3,55	1,40	0,40
12 – ekspozycja powierzchni grobu	3,48	1,57	0,45
13 – wyrównanie powierzchni	2,42	1,23	0,51
14 – miejsce poboru próby z grobu	2,97	0,74	0,25
15 – odległość od górnej krawędzi	3,67	1,11	0,30
16 – jednostka geologiczna	2,60	1,42	0,55
17 – utwory podłoża	1,97	1,23	0,63
18 – skład gleby	3,20	1,42	0,44
19 – wilgotność podłoża w czasie i przestrzeni	2,29	1,19	0,52
20 – wilgotność miejsca poboru próby	1,71	0,99	0,58
21 – pokrycie gleby roślinami zielnymi	1,73	0,90	0,52
22 – przeważający rodzaj pokrycia	2,78	0,74	0,27
23 – przeważające gatunki drzew	2,64	1,53	0,58
24 – stopień pokrycia grobu drzewami	3,40	1,32	0,39
25 – użytkowanie otoczenia grobu	2,97	1,63	0,55
26 – zanieczyszczenie środowiska	3,73	1,19	0,32



Ryc. 9. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według przypadków, czyli 86 pochówków scharakteryzowanych przez sześć właściwości grobów i ich środowisk wraz z miarą odległości Czebyszewa

Na podstawie uzyskanego w ten sposób diagramu wydzielono za pomocą wartości wiązań 8,8 założoną już wcześniej liczbę dziewięciu grup. W każdej z nich ustalono najbardziej typowy grób, którego cechy badanych właściwości najczęściej powtarzają się w charakterystyce pozostałych grobów z danej grupy. Wokół wyróżnionych cech badanych właściwości grobów z każdej z dziewięciu grup przeprowadzono ostateczne grupowanie metodą k-średnich (tab. 56). Znacznie mniejsza liczba badanych pochówków z próby wpłynęła na rozrzucenie grobów po różnych grupach, leżących nawet w niewielkiej fizycznej odległości od siebie. Leżące obok siebie groby w Dukli, z I i II wojny, znalazły się w grupie II i III. Różnią się one nachyleniem powierzchni, a przede wszystkim grób z I wojny, w znacznej części, leży nieco poniżej tego z II wojny. Natomiast pochówki położone na tej samej formie terenu, pochodzące z tego samego okresu, znalazły się w tej samej grupie. Są to pochówki leżące na stoku w Łużnej, na wierzchowinie w Łącku oraz Lubczy i na spłaszczeniu parafialnego cmentarza w Łapanowie. Ocena zestawień pochówków w tych grupach jest trudniejsza. Wynika to głównie z dwóch powodów: dużej liczby grup – (9) oraz stosunkowo małej, z punktu widzenia statystyki, liczby grobów – (86).

Tabela 56. Badaną próbą składającą się z 86 pochówków pogrupowano w dziewięć grup, za pomocą metody k-średnich dla sześciu wyróżnionych właściwości grobów i ich środowisk (3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 12 – ekspozycja grobu, 17 – utwory podłoża, 23 – przeważające gatunki drzew, 25 – użytkowanie otoczenia grobu)

Numer grupy	Liczba grobów	Miejscowości, w których występują badane groby ^{*1}
I	11	Baczków , Leszczyna I ¹ , Łużna stok dolny I, Łużna pol. ^{*2} I, Łużna węg. I, Płaszów żyd., Potok I, Przemyśl wehr. II, Ropica Górna droga I, Wola Nieszkowska I, Zbylitowska Góra II
II	11	Dębica żyd. II, Dukla II, I, Grabina I, Łąka S I, Łąka wierzchowina I, Łąka N I, Łużna wejście I, Łysa Góra I, Tarnowiec cm. I, Trzciana cm. I, Zonia I
III	13	Błonie I, Dukla radz. II, Gorlice ul. Łokietka I, Komarnik II, Kremna I, Krzczów I, Leksandrowa II, Kraków-Prandoty radz. II, Kraków-Prandoty pol. II, Przemyśl węg. I, Przyborów I, Ropica Górna las I, Rymanów radz. II.
IV	10	Baligród II, Cerekiew cm., Dąbrówka I, Lesko żyd., Muchówka I, Nowy Sącz radz. II, Osikówka II, Podgórska Wola II, Przełęcz Małastowska I, Pustków radz. II.
V	11	Barwinek II, Biadoliny I, Bór II, Jaszczew I, Lubcza droga I, Lubcza las I, Rajbrot I, Skrzyszów II, Sterkowiec I, Szczepanowice I, Waryś I
VI	10	Bielcza I, Brzesko I, Gawłów cm. I, Hunkowce II, I, Łapanów 1 cm. I, Łapanów 2 cm. I, Męcina I, Nowy Sącz żyd., Rudy Rysie I, Rymanów cm. II
VII	6	Borzęcin cm. I, Mikluszowice cm. I, Nieprzeźnia I, Sobolów cm. I, Szczepanów cm. I, Szymbark – Łazy I
VIII	8	Brzesko cm. II, Dębica radz. II, Nowy Wiśnicz cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Przemyśl ros. I, Rzeszów radz. II, Szymbark cm. I, Żegocina cm. I
IX	6	Krosno cm I, Nowy Sącz cm. I, Kraków-Prandoty wehr. II, Kraków-Prandoty ang. II, Tarnów-Chyszów 1 I, Tarnów-Chyszów 2 I

^{*1}cyfra rzymska oznacza I lub II wojnę światową, cyfra arabska oznacza numer grobu w danej miejscowości; ^{*2} skróty: pol., węg., ros., radz., ang., wehr., żyd. – masowe pochówki żołnierzy: polskich, węgierskich, rosyjskich, radzieckich, angielskich, Wehrmachtu oraz ludności żydowskiej; las – masowy grób w lesie; cm. – cmentarz; cm. I – masowy grób z I wojny leży na cmentarzu; droga – masowy grób leży przy drodze

Przeprowadzone grupowania metodą k-średnich dla próby 86 pochówków, przy uwzględnieniu sześciu właściwości (3, 9, 12, 17, 23, 25) oraz dla populacji 240 pochówków, przy uwzględnieniu pięciu właściwości (3, 9, 17, 20, 25) różnią się zasadniczo między sobą (tab. 57). Zgodność występowania grobów w tych samych grupach, w obu grupowaniach, dotyczy 37 grobów. Jest to tylko prawie połowa przypadków badanej próby. Liczba tego typu pochówków ulegnie zwiększeniu w przypadku łączenia kolejnych grup, np.: grupy VI z VII czy VIII z VII. Wykazano nawet grupę VII lub VIII, w zestawieniu 86 grobów, dla której nie znaleziono podobnej grupy wśród 240 grobów.

Tabela 57. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych dla próby 86 grobów metodą k-średnich dla sześciu właściwości (3, 9, 12, 17, 23, 25) oraz dla populacji 240 grobów przy uwzględnieniu pięciu właściwości

Numer grupy	Pochówki w grupach z grupowań dla	
	86 pochówków przy uwzględnieniu sześciu właściwości: 3, 9, 12, 17, 23, 25 ¹	240 grobów przy uwzględnieniu pięciu właściwości: 3, 9, 17, 20, 25
1	2	3
I	Baczków , Leszczyna I ² , Łużna stok dolny I , Łużna pol ³ . I, Łużna węg. I , Kraków-Płaszów żyd., Potok I, Przemysł wehr. II , Ropica Górna droga I, Wola Nieszowska I, Zbylitowska Góra II	Baczków , Dukla radz. II, Hunkowce II, Komarnik II, Leszczyna I, Łużna stok dol. I , Łużna pol. I , Łużna węg. I , Przemysł wehr. II , Przemysł ros. I, Rymanów radz. II, Zbylitowska Góra II
II	Dębica żyd. II, Dukla II, I, Grabina I , Łąka S I , Łąka wierch. I , Łąka N I , Łużna wej. I , Łysa Góra I, Tarnowiec cm. I, Trzciana cm. I, Zonia I	Grabina I , Krempana I, Łąka S I , Łąka wierch. I , Łąka N I , Łużna wej. I , Nieprześnia I, Przyborów I, Szczepanowice I, Szymbark Łazy I, Zonia I
III	Błonie I , Dukla radz. II, Gorlice ul. Łokietka I, Komarnik II, Krempana I, Krzczów I, Leksandrowa II , Kraków-Prandoty radz. II, Prandoty pol. II, Przemysł węg. I , Przyborów I, Ropica Górna las I , Rymanów radz. II.	Błonie I , Brzesko cm. II, Leksandrowa II , Lesko żyd., Lubcza droga I, Lubcza las I, Przełęcz Małastowska I, Przemysł węg. I , Pustków radz. II, Rajbrot I, Ropica Górna las I
IV	Baligród II, Cerekiew cm., Dąbrówka I , Lesko żyd., Muchówka I , Nowy Sącz radz. II, Osikówka II , Podgórska Wola II, Przełęcz Małastowska I, Pustków radz. II	Barwinek II, Biadoliny I, Bór II, Dąbrówka I , Muchówka I , Osikówka II
V	Barwinek II, Biadoliny I, Bór II, Jaszczew I , Lubcza droga I, Lubcza las I, Rajbrot I, Skrzyszów II , Sterkowiec I , Szczepanowice I, Waryś I	Dębica żyd. II, Jaszczew I , Podgórska Wola II, Potok I, Ropica Górna droga I, Skrzyszów II , Sterkowiec I , Waryś I , Wola Nieszowska I
VI	Bielcza I, Brzesko I, Gawłów cm. I , Hunkowce II, I, Łapanów 1 cm. I , Łapanów 2 cm. I , Męcina I , Nowy Sącz żyd., Rudy Rysie I, Rymanów cm. II	Gawłów cm. I , Krosno cm. I, Krzczów I, Łapanów 1 cm. I , Łapanów 2 cm. I , Męcina I , Nowy Sącz żyd., Kraków-Prandoty pol. II

1	2	3
VII	Borzęcin cm. I, Mikluszowice cm. I, Nieprzeźnia I, Sobolów cm. I, Szczepanów cm. I, Szymbark Łazy I	Bielcza I, Borzecin cm I , Brzesko I, Dębica radz. II, Dukla II, I, Łysa Góra I, Mikluszowice cm. I , Nowy Wiśnicz cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Rudy Rysie cm. I, Rymanów cm. II, Rzeszów radz. II, Sobolów cm. I, Szczepanów cm. I , Szymbark cm. I, Tarnowiec cm. I, Trzciana cm. I, Żegocina cm. I
VIII	Brzesko cm. II, Dębica radz. II, Nowy Wiśnicz cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Przemyśl ros. I, Rzeszów radz. II, Szymbark cm. I, Żegocina cm. I	Gorlice ul. Łokietka I
IX	Krosno cm I, Nowy Sącz cm. I, Kraków-Prandoty wehr. II, Kraków-Prandoty ang. II, Tarnów Chyszów 1, 2 I ,	Baligród II, Cerekiew cm., Nowy Sącz cm. I, Nowy Sącz radz. II , Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty wehr. II, Kraków-Prandoty ang. II , Kraków-Prandoty radz. II, Tarnów-Chyszów 1,2 I

¹ 3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 12 – ekspozycja grobu, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 23 – przeważające gatunki drzew, 25 – użytkowanie otoczenia grobu, *cyfra rzymska oznacza I lub II wojnę światową, cyfra arabska oznacza numer pochówku w miejscowości, ³ skróty: pol., węg., ros., radz., ang., wehr., żyd. – masowe pochówki żołnierzy: polskich, węgierskich, rosyjskich, radzieckich, angielskich, Wehrmachtu oraz ludności żydowskiej, las – masowy grób w lesie, cm. – cmentarz, cm. I – masowy grób z I wojny leży na cmentarzu, droga – masowy grób leży przy drodze, stok dol. I – pochówek z I wojny, położony w dolnej części stoku

Natomiast dużym podobieństwem wykazały się grupy pochówków uzyskane w grupowaniach dla próby 86 grobów przy uwzględnieniu pięciu właściwości (3, 9, 17, 20, 25) oraz dla populacji 240 grobów przy uwzględnieniu tych samych pięciu właściwości (tab. 58).

Przeprowadzone porównanie wykazało, że tylko 14 grobów na 86 nie znalazło się w porównywanych grupach. Na szczególną uwagę zasługuje grupa VIII – siedmiu przypadków, z grupowania dla próby 86 pochówków, dla której nie znaleziono odpowiedniej grupy z populacji 240 grobów. Jedynie łączenie grup zmienia takie relacje. Większość grobów z grupy VIII z grupowania dla 86 grobów, wraz z grobami z liczniejszej grupy IX, występuje także w grupie IX uzyskanej w grupowaniu dla 240 pochówków (tab. 58). Zachowanie zasady utrzymania dziewięciu grup dla mniejszej liczbowo próby prowadzi do większego rozbitcia grobów, które w grupowaniu dla populacji 240 grobów znalazły się w jednej, liczniejszej grupie. W grupowaniu tej populacji wystąpiły grupy tylko z pochówkami, które nie były uwzględnione w grupowaniu dla 86 grobów.

Tabela 58. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych metodą k-średnich dla 86 grobów na podstawie pięciu właściwości (3, 9, 17, 20, 25) oraz dla 240 grobów przy uwzględnieniu tych samych pięciu właściwości

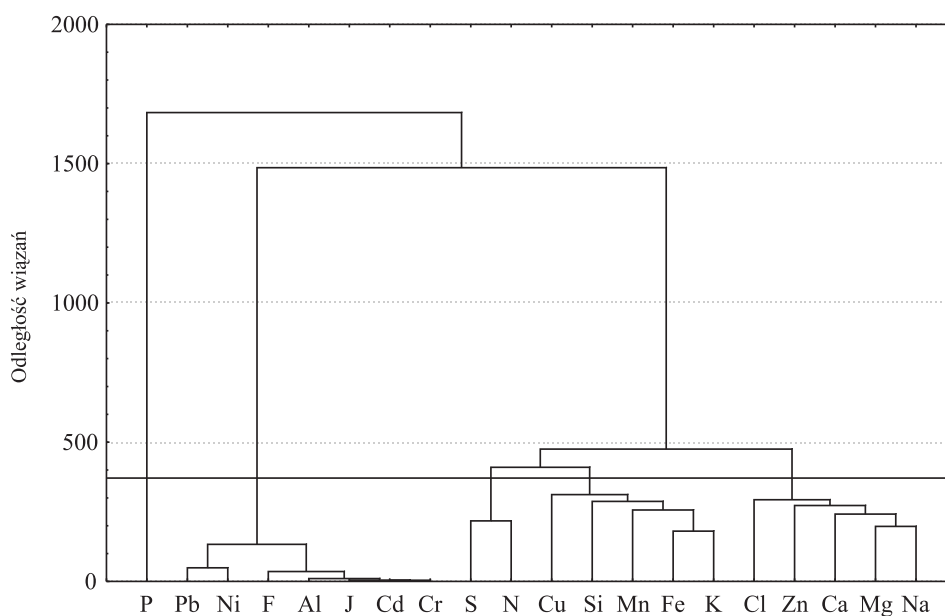
Numery grup	Pochówki w 9 grupach z grupowań dla	
	86 grobów na podstawie 5 właściwości: 3, 9, 17, 20, 25	240 grobów na podstawie 5 właściwości: 3, 9, 17, 20, 25
I	Baczków, Dukla radz. ^{*3} II, Komarnik II ^{*2}, Leszczyna I, Łużna stok I, Łużna pol. I, Łużna węg. I, Przemyśl wehr. II, Rymanów radz. II, Zbylitowska Góra II, Żegocina cm. I	Baczków, Dukla radz. II, Hunkowce II, Komarnik II, Leszczyna I, Łużna stok I, Łużna pol. I, Łużna węg. I, Przemyśl ros. I, Przemyśl węg. I, Rymanów radz. II, Zbylitowska Góra II,
II	Grabina I, Kremarna I, Łąka S I, Łąka wierz. I, Łąka N I, Łużna wej. I, Łysa Góra I, Nieprześnia I, Przyborów I, Ropica Górna las I, Szczepanowice I, Szymbark Łazy I, Zonia	Grabina I, Kremarna I, Łąka S I, Łąka wierz. I, Łąka N I, Łużna wej. I, Nieprześnia I, Przyborów I, Ropica Górna las I, Szczepanowice I, Szymbark Łazy I,
III	Baligród II, Cerekiew cm., Nowy Sącz cm. II, Nowy Sącz PKS radz. II, Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty radz. II, Prandoty pol. II, Prandoty wehr. II, Prandoty ang. II, Tarnów Chyszów 1, 2 I	Baligród II, Cerekiew cm., Nowy Sącz cm. II, Nowy Sącz PKS radz. II, Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty wehr. II, Prandoty radz. II, Prandoty ang. II, Tarnów-Chyszów 1, 2 I
IV	Błonie I, Leksandrowa II, Lesko żyd., Lubcza 1, 2 I, Przełęcz Małastowska I, Pustków radz. II, Rajbrot I	Błonie I, Brzesko I, II, Leksandrowa II, Lesko żyd., Lubcza 1, 2 I, Przełęcz Małastowska I, Przemyśl wehr. II, Pustków radz. II, Rajbrot I
V	Dębica żyd. II, Jaszczew I, Podgórska Wola II, Potok I, Ropica Górna las I, Skrzyszów II, Sterkowice I, Waryś I, Wola Nieszowska I	Dębica żyd. I, Jaszczew I, Podgórska Wola II, Potok I, Ropica Górna las I, Skrzyszów II, Sterkowice I, Waryś I, Wola Nieszowska I
VI	Barwinek II, Biadoliny I, Bór II, Dąbrówka I, Muchówka I, Osikówka II	Barwinek II, Biadoliny I, Bór II, Dąbrówka I, Muchówka I, Osikówka II, Pustków radz. II,
VII	Gawłów cm. I, Gorlice Łokietka I, Hunkowce II, Krosno cm. I, Krzczów I, Łapanów cm. 1, 2 I, Męcina I, Nowy Sącz żyd.	Gawłów cm. I, Krosno cm. I, Krzczów I, Łapanów cm. 1, 2 I, Męcina I, Nowy Sącz żyd., Kraków-Prandoty pol. II
VIII	Brzesko I, II, Dębica radz. II, Dukla II, I, Nowy Żmigród cm. I, Przemyśl ros. I, Przemyśl węg. I, Rzeszów radz. II	Gorlice Łokietka I
IX	Bielcza cm. I, Borzęcin cm. I, Brzesko cm. I, Mikuszowice cm. I, Nowy Wiśnicz cm. I, Rudy Rysie cm. I, Rymanów cm. II, Sobolów cm. I, Szczepanów cm. I, Szymbark cm. I, Tarnowiec cm. I, Trzciana cm. I	Bielcza cm. I, Borzęcin cm. I, Brzesko cm. I, Dębica radz. II, Dukla II, I, Łysa Góra I, Mikuszowice cm. I, Nowy Wiśnicz cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Przemyśl ros. I, Rudy Rysie cm. I, Rymanów cm. II, Sobolów cm. I, Szczepanów cm. I, Szymbark cm. I, Tarnowiec cm. I, Trzciana cm. I, Żegocina cm. I

^{*1} 3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu, ^{*2}cyfra rzymska oznacza I lub II wojnę światową, cyfra arabska oznacza numer pochówki w miejscowości, ^{*3} skrót: pol., węg., ros., radz., ang., wehr., żyd. – masowe pochówki żołnierzy: polskich, węgierskich, rosyjskich, radzieckich, angielskich, Wehrmachtu oraz ludności żydowskiej, las – masowy grób w lesie, cm. – cmentarz, cm. I – masowy grób z I wojny leży na cmentarzu, droga – masowy grób leży przy drodze, stok dol. I – pochówek z I wojny położony w dolnej części stoku

Przeprowadzone porównania grupowań wskazują na potrzebę uwzględnienia w opracowaniu wyników uzyskanych metodami statystycznymi dla dużej populacji. W przypadku wątpliwości, jakie wystąpiły przy doborze próby, tj. wyboru pochówków oraz miejsc porównawczych – tła geochemicznego oraz pomimo większych kosztów badań, korzystniejsze jest, z punktu widzenia uzyskanych wyników, prowadzenie badań dla większej populacji.

6. Wpływ środowiska geograficznego na zawartość pierwiastków ponad pochówkami

Częstkowym celem tej pracy jest wytypowanie takich pierwiastków, które najbardziej charakteryzują badane środowisko. Nie można bowiem za właściwe uznać tylko te, które mają największe zawartości. Są to również i te pierwiastki, o średnich i małych zawartościach, które są charakterystyczne dla masowych grobów. W celu ich wyznaczenia przeprowadzono grupowanie metodą Warda według zmiennych. Dla 20 pierwiastków występujących w 240 pochówkach za miarę odległości pomiędzy obiektami w przestrzeni wielowymiarowej przyjęto odległość euklidesową (ryc. 10). Jest to najczęściej stosowany bezpośredni sposób obliczania badanych odległości. Zastosowana metoda Warda tak łączy obiekty, aby w powstałych skupieniach wariancja wewnątrzgrupowa zmiennych opisujących obiekty była możliwie mała (Zeliaś 2000). W obliczeniach pominięto groby w Oświęcimiu z populacji 245 grobów. Nie mieściły się one w rozkładzie Gaussa badanej zbiorowości. Stosowanie tego rodzaju metod wymaga bowiem populacji o rozkładzie normalnym.



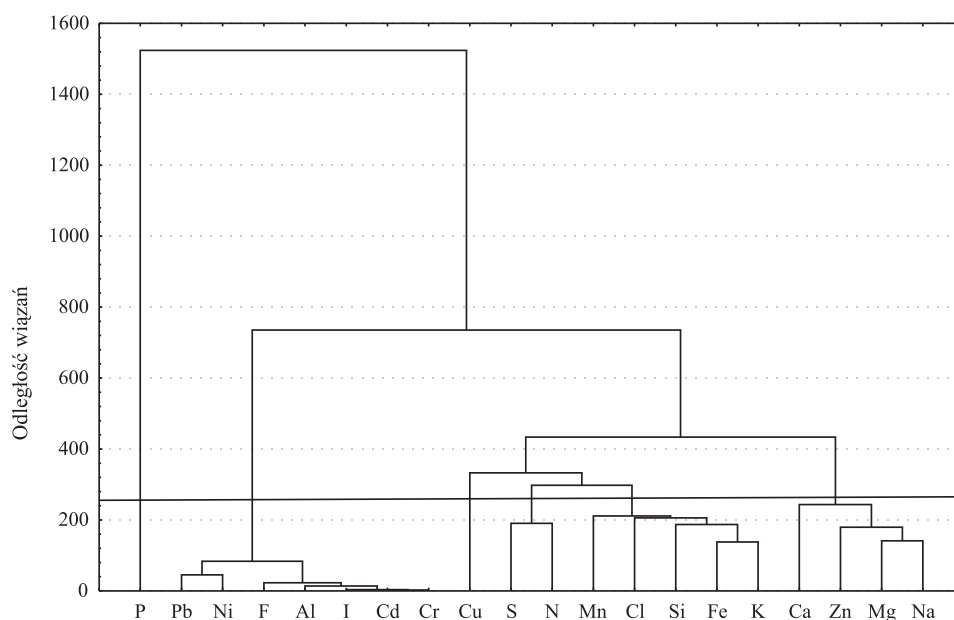
Ryc. 10. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda według zmiennych, czyli 20 pierwiastków stwierdzonych ponad 240 pochówkami, z miarą odległości euklidesowych

Na podstawie tego diagramu, przyjmując za odległość wiązania wartość 400, uzyskano pięć grup pierwiastków. Nieco mniejsze odległości wiązań zdecydowanie zwiększają listę pojedynczych pierwiastków. Słuszność wyboru pięciu grup pierwiastków potwierdza ponadto analiza czynnikowa (składowe główne). Jest to widoczne na wykresie osypiska oraz wskazują na to wartości własne czynników. W każdej z grup znalazły się pierwiastki o zbliżonych zawartościach, które zmierzono w 240 grobach. Wyboru jednego pierwiastka, z każdej grupy, dokonano na podstawie wskaźnika zmienności (tab. 59). Najwyższy wskaźnik zmienności, z którego już korzystano w przypadku selekcji właściwości środowiska, pozwolił wyróżnić w każdej z grup po jednym pierwiastku: **Cr, Cu, P, Si Zn**. Uzasadnieniem dla zastosowania tego kryterium jest relatywnie wyższa zawartość pierwiastków w masowych grobach w porównaniu z ich tłem geochemicznym. Produkty dekompozycji pochówku są zatrzymywane w jego otoczeniu lub wyprowadzane poza groby.

Tabela 59. Podstawowe parametry statystyczne zawartości 20 badanych pierwiastków w 240 pochówkach

Pierwiastek	Średnia arytmetyczna zawartość	Odchylenie standardowe	Wskaźnik zmienności
Na	18,94	12,67	0,67
K	9,61	10,04	1,05
Mg	12,54	11,86	0,95
Ca	22,16	17,99	0,81
Cr	0,10	0,25	2,5
Mn	12,93	15,44	1,19
Fe	13,26	11,84	0,89
Ni	3,1	3,58	1,16
Cu	8,54	18,41	2,16
Zn	12,9	18,27	1,42
Cd	0,1	0,23	2,3
Al	0,24	0,55	2,29
Si	18,42	15,9	0,86
Pb	2,59	3,07	1,19
N	15,38	17,15	1,12
P	38,61	61,77	1,6
S	12,04	19,33	1,61
F	1,0	1,44	1,44
Cl	18,29	13,48	0,74
J	0,13	0,25	1,92

Identyczną metodykę zastosowano dla próby 86 masowych grobów, dla których zmierzono zawartości pierwiastków ponad pochówkami oraz dodatkowo w miejscach porównawczych, określanych jako tła geochemiczne. Następnie dla wszystkich badanych pierwiastków obliczono stosowną różnicę porównywanych zawartości dla badanych 86 grobów. Różnice te w kilkunastu przypadkach były liczbami ujemnymi. Takie wyniki wskazują, że te nieliczne pochówki nie mają wpływu na środowisko. Nie można wykluczyć również przypadkowego wyboru miejsca dla tła geochemicznego, szczególnie w obszarach miejskich. Na podstawie tak przygotowanych danych dokonano grupowania różnic koncentracji pierwiastków, stosowaną już wcześniej dla 240 pochówków, metodą Warda wraz z odległością euklidesową (ryc. 11).



Ryc. 11. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według różnic zawartości 20 pierwiastków, stwierdzonych ponad 86 pochówkami a ich koncentracją w miejscach porównawczych, z miarą odległości euklidesowych (z wartościami ujemnymi)

Uzyskany diagram pozwala wydzielić zarówno cztery, pięć, jak i sześć grup.

Zrezygnowano jednak z odległości wiązań 400, która to wskazywała na 4 grupy oraz z wąskiego przedziału tych odległości, od 300 do 340, które pozwalały wydzielić 5 grup. W dalszych rozważaniach uwzględniono jednak 6 grup. Wydzielono je na podstawie większego przedziału odległości wiązań, od około 220 do 300 (tab. 60). Jest to najmniejsza odległość wiązań, którą można było tu zastosować. Przyjęcie mniejszych odległości gwałtownie zwiększa liczbę grup. Podobny problem wystąpił w przypadku diagramu dla 240 grobów, gdy zmniejszono odległość wiązań z 400 na 300 (ryc. 10). Stosując obiektywne kryterium, jakim jest wskaźnik zmienności, uzyskano w wykazanych wyżej grupach określone pierwiastki (tab. 61). W przyjętych 6 grupach były to: P, Cd, Cu, Mg, S i K.

Tabela 60. Wyodrębnione grupy pierwiastków, w zależności od przyjęcia różnych wartości odległości wiązań, które otrzymano w wyniku grupowania przeprowadzonego metodą Warda, według różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków ponad 86 pochówkami a ich tłem geochemicznym, z miarą odległości euklidesowej

Uzyskane metodą Warda, z miarą odległości euklidesowej		Charakterystyczne pierwiastki w grupach
wartości odległości wiązań	liczba wyróżnionych grup	
400	4	P, Cd, Cu, Mg
300–340	5	P, Cd, Cu, Mg, S
220–300	6	P, Cd, Cu, Mg, S, K

Tabela 61. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków ponad 86 pochówkami a ich tłem geochemicznym

Badane pierwiastki	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Wskaźnik zmienności
Na	8,77	14,73	1,68
K	3,60	12,32	3,43
Mg	3,25	17,88	5,50
Ca	18,55	25,69	1,39
Cr	0,15	0,27	1,83
Mn	7,85	19,90	2,54
Fe	10,40	15,22	1,46
Ni	2,39	5,47	2,29
Cu	5,81	27,98	4,81
Zn	11,34	21,27	1,88
Cd	0,058	0,18	3,09
Al	-0,51	0,91	-1,78
Si	12,05	18,62	1,55
Pb	1,50	3,46	2,3
N	19,28	19,56	1,01
P	58,83	84,65	1,44
S	9,42	24,70	2,62
F	0,91	1,60	1,75
Cl	13,06	15,40	1,18
I	0,14	0,31	2,3

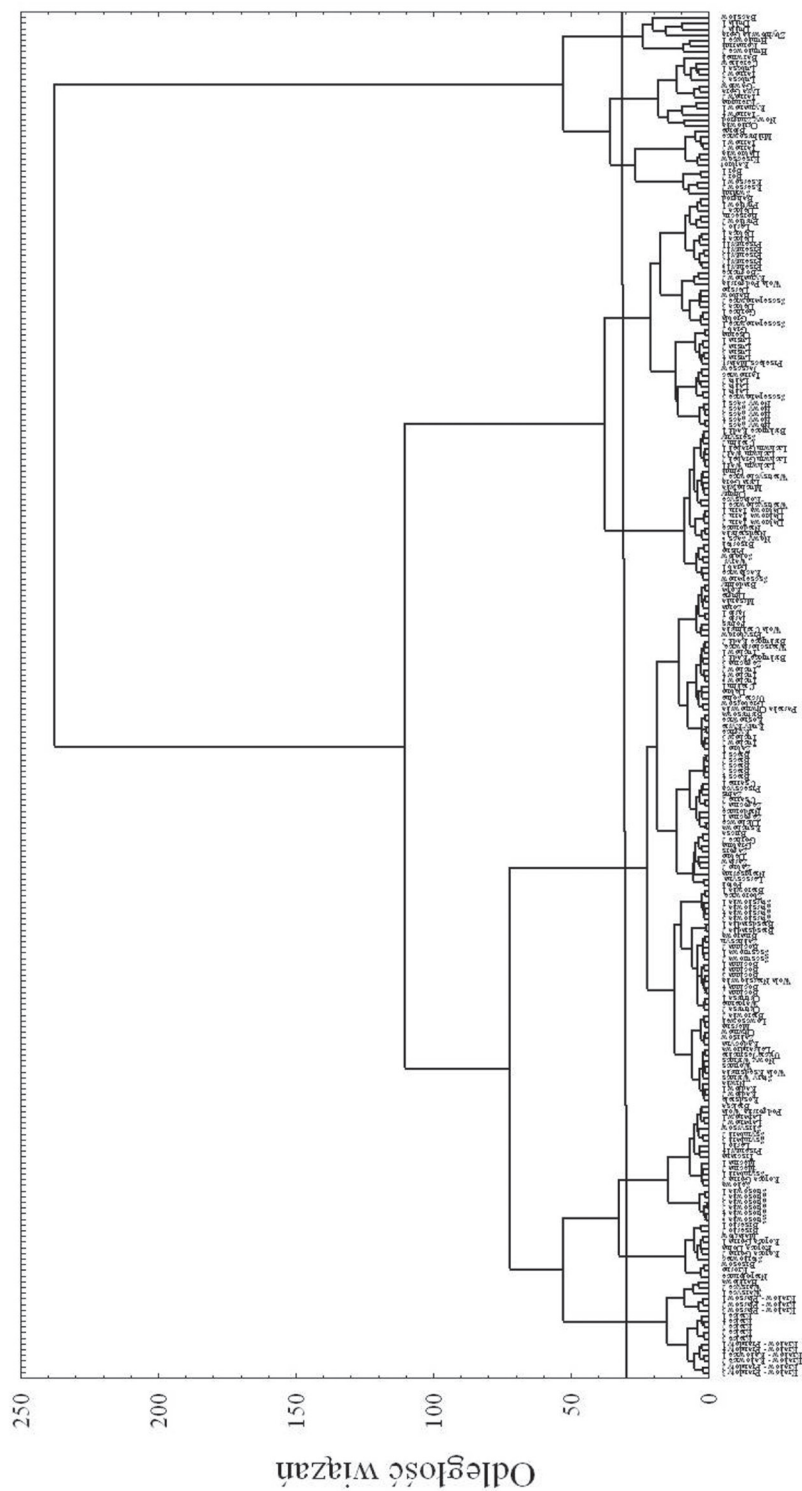
Dodatkowo przeprowadzono identyczne grupowanie, gdy w miejsce liczb ujemnych wstawiono automatycznie wartości o rząd wielkości mniejsze niż stwierdzone dodatnie różnice, czyli 0,001. Ze względu na wymogi przyjętej metody, badana próba nie może zawierać wartości „0”. Celem tych dodatkowych zabiegów było sprawdzenie, czy niewielkie błędy w losowym wyborze miejsc porównawczych mogą wpłynąć na końcowe wyniki analiz. Tak przygotowaną populację poddano przyjętej procedurze. Pozwoliła ona obiektywnie wyznaczyć 6 grup i w każdej z nich 6 pierwiastków: P, Al, Cu, Mg, S i K. W porównaniu z poprzednim

grupowaniem, dla tej samej liczby pochówków, miejsce Cd zajęło Al, dla którego obliczono wyższy wskaźnik zmienności – 2,53 (tab. 62). W związku z dużym podobieństwem uzyskanych wyników, do dalszych badań przyjęto populację z wartościami ujemnymi.

Tabela 62. Podstawowe parametry statystyczne dla różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków stwierdzonych ponad 86 pochówkami, a ich koncentracją w miejscach porównawczych, gdzie wartości ujemne zastąpiono stałą liczbą 0,001

Badane pierwiastki	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Wskaźnik zmienności
Na	10,09	13,35	1,32
K	5,97	10,48	1,76
Mg	7,54	15,09	2,00
Ca	19,78	24,70	1,25
Cr	0,15	0,26	1,73
Mn	10,37	18,26	1,76
Fe	11,17	14,69	1,32
Ni	3,09	4,89	1,58
Cu	8,58	27,00	3,15
Zn	12,53	20,56	1,64
Cd	0,09	0,16	1,85
Al	0,19	0,48	2,53
Si	12,84	18,08	1,41
Pb	2,12	2,69	1,27
N	19,52	19,49	1,00
P	60,37	84,15	1,39
S	11,75	23,35	1,99
F	1,06	1,49	1,41
Cl	13,64	14,81	1,09
I	0,17	0,29	1,71

Celem dalszych badań było połączenie w grupy tych pochówków, które wykazują podobne zawartości charakterystycznych pierwiastków. Grupowania te dotyczyły w obu przypadkach pięciu pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn, zarówno w przypadku populacji 240, jak i próby 86 pochówków. Grupowania te przeprowadzono metodą Warda według przypadków, którymi były pochówki, z wykorzystaniem miary odległości potęgowej, dla $p=2$ i $r=4$. Stosując tę miarę, zwiększono wzrastającą wagę wymiarów w celu zróżnicowania obiektów. Wyższy niż przy odległości euklidesowej parametr $r=4$ steruje wzrastającą wagą, która jest przypisana większym różnicom między obiektami. Na podstawie uzyskanych diagramów wydzielono dziewięć grup grobów, przyjmując stosowną wartość odległości wiązań, zaznaczoną na wykresie (ryc. 12). Ten rodzaj grupowania pozwolił na ustalenie liczby grup oraz obliczenie wartości, wokół których przeprowadzono zasadnicze grupowania.



Ryc. 12. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według przypadków, czyli 240 pochówków, przy zastosowaniu miary odległości potęgowej, dla p-2 i r-4

Dla każdej z dziewięciu grup obliczono zawartości średnie każdego z charakterystycznych pierwiastków. Wokół tych średnich wartości przeprowadzono zasadnicze grupowanie metodą k-średnich (tab. 63). Grupowanie to pozwoliło uzyskać minimalizację zmienności wewnątrz skupień oraz maksymalizację zmienności między skupieniami. Groby w tej metodzie są tak grupowane, by uzyskać najbardziej istotne wyniki analizy wariancji (Grabiński i inni 1989; Gałuszka 1992). Odrębność każdej z grup podkreślają średnie każdego skupienia oraz odległości euklidesowe (ryc. 13, tab. 64).

Spośród pochówków z grupowania dla 240 pochówków na szczególną uwagę zasługują groby z grupy VII, VIII oraz IX (tab. 63). Nie są to zbyt liczne grupy: obejmują one od 3 pochówków w IX grupie do 14 w VII grupie. Grupę IX stanowią dwa groby w Dukli i jeden w Zbylitowskiej Górze. W wymienionych miejscach najbardziej uwidacznia się wpływ masowych grobów na środowisko. Istotna zależność dotyczy także grobów z I wojny światowej w Krempnej i dwóch grobów w Lubczy. W grupie VIII znalazł się również masowy grób z II wojny położony na cmentarzu w Rymanowie oraz cmentarz w Cerekwi (fot. 34). Wyniki innych analiz, prezentowane w tej pracy, potwierdzają duży wpływ na środowisko pozostałych grobów z tej grupy. Dotyczy to pochówków w Barwinku, Hunkowcach, Komarniku, Tarnowie, na Osikówce oraz porównawczego miejsca w Baczkowie. Z kolei w grupie VII wyodrębniono kilka grobów z I wojny. Są to pochówki w Błoniach, Gawłowie, Krzeczowie, Rajbrocie, Tarnowie, Łysej Górze oraz groby z tego okresu leżące na cmentarzach w Mikuszowicach i Nowym Żmigrodzie. Grupa ta również wyróżnia się wśród pozostałych, jak potwierdzają charakterystyki statystyczne (tab. 64). Relatywnie wyższe parametry statystyczne wskazują na większy wpływ pochówków z tej grupy na środowisko. Pozostałe grupy wykazują większe podobieństwo pomiędzy sobą, ale zdecydowanie odbiegają od grupy VII, VIII oraz IX.

Tabela 63. Zestawione w dziewięć grup, za pomocą grupowania metodą k-średnich, 240 badanych pochówków dla pięciu charakterystycznych pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn, z wykorzystaniem również grupowania metodą Warda z miarą odległości potęgowej, dla $p=2$, $r=4$

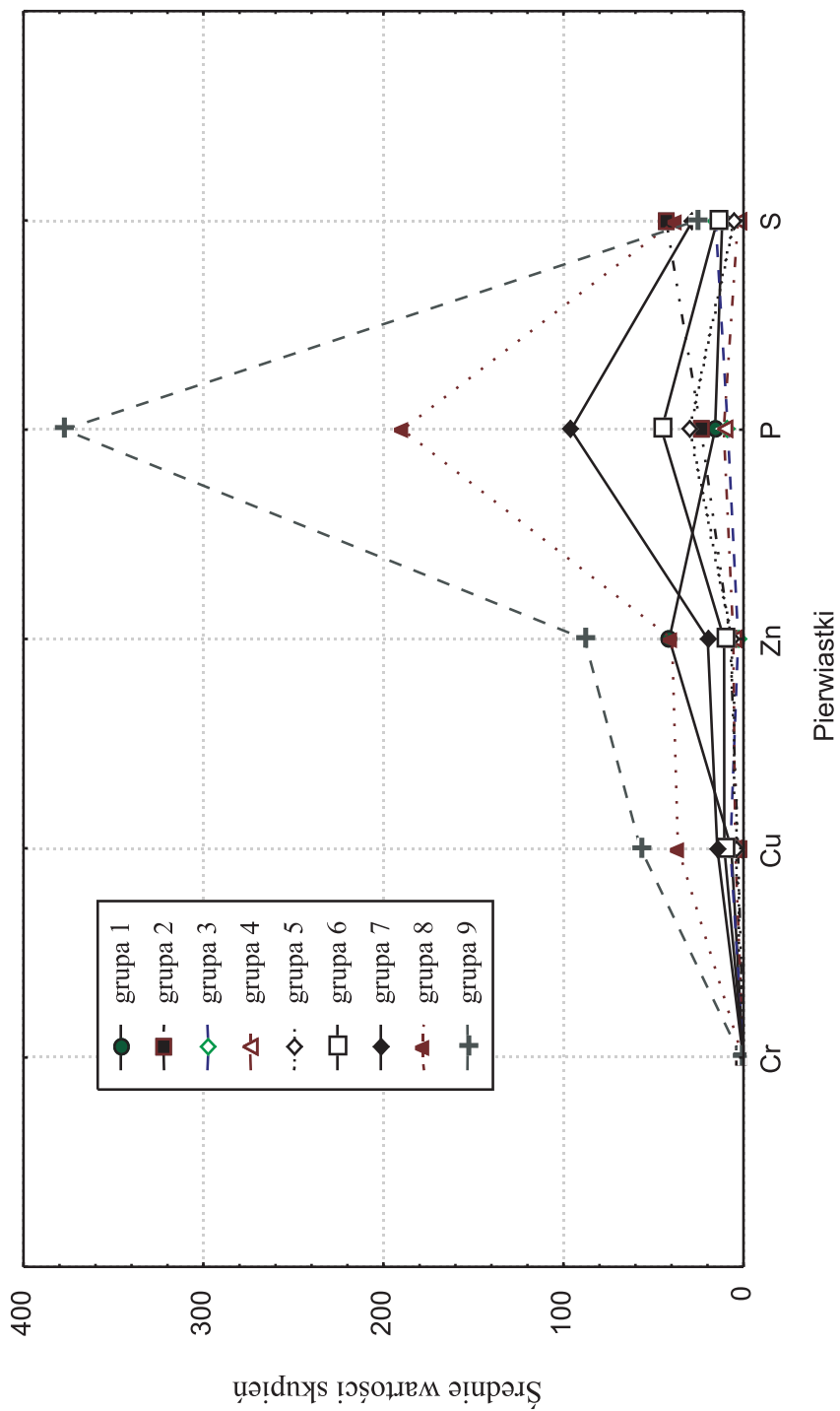
Numer grupy	Liczba grobów	Nazwy miejscowości, w których występują badane groby ¹
1	2	3
I	19	Deszno, Harkłowa (1), Kielce (1,2,3,4,5), Kraków-Płaszów (1,2,3), Kraków-Podgórze, Kraków-Prandoty (1,2,3,4), Kraków-Rakowice (1,2), Warzyce (1,2)
II	11	Brzesko (1,2), Brzozów, Krosno, Małastów, Niepołomice, Ropica Dolna, Ropica Górna (1,2), Sterkowiec, Świdnik
III	24	Bielcz, Folusz, Lesko (1), Łapanów (1,2), Męcina (1,2), Podgórska Wola, Potok, Przemyśl (4), Przyborów, Ropica Górna (3), Sękowa, Skrzyszów, Stróżówka (1,2,3,4,5,6), Szymbark (1,2,3), Trzciana

1	2	3
IV	88	Biadoliny, Biecz (1,2,3,4,5), Bierówka (1,2), Bieżdziadka (1,2), Binarowa, Bircza, Bislupice Radłowskie (2,3), Bistuszcza, Bochnia (1,2,3,4,5,6), Cieklin (1), Czarne (1,2), Dębno, Dębowiec, Długie, Gorlice (2), Grabina, Jasło (1,2), Leksandrowa, Leszczyna, Łowczówek, Mieszna Opacka, Mszanka, Niedary, Nieprzeźnia, Niwka, Nowy Wiśnicz, Olchowce, Ostrusza (1,2), Otwinów, Pasieka Otwinowska, Przeczycza, Radłów (1,2), Radocyna, Ropa, Rozdziele, Rożnowice, Rudy Rysie, Ryglice, Rzuchowa, Stary Wiśnicz, Staszkówka (1,2,3,4), Szczurowa (1,2), Tuchów (1,2,3,4,5,6), Ujście Jezuickie, Uście Solne, Wapienne, Wierzchosławice, Wojnicz, Wola Cieklińska, Wola Nieszkowska, Wola Rzędzińska, Zagórzany, Zakliczyn, Zakrzów, Załuż, Zasław, Zborowice, Zonia, Żabno (1,2), Żegocina (1,2,3)
V	41	Biskupice Radłowskie (1), Brzostek, Cieklin (2), Dabrowa Tarnowska (1,2,3), Dębica (3), Glinik, Gorlice (1), Grab (1,2), Gręboszów, Grobla, Hałbów, Kołaczycze, Lichwin Gródek (1,2), Lichwin Wał (1,2), Lisia Góra, Muchówka, Niedomice, Niedzieliska, Nowy Sącz (1,2,3,4,5,6), Olpiny, Ożenna, Pilzno, Raclawice, Sobólów, Szczepanowice (1,2), Szczepanów, Szerzyny, Waryś, Wietrzychowice (1,2)
VI	27	Baligród, Bogucice, Borzęcin, Dąbrówka, Dębica (1,2,4), Jaszczew, Lesko (2), Łąka (1,2,3), Łuźna (1,2,3,4), Przełęcz Małastowska, Przemyśl (1,2,3,5,6), Pustków (1,2), Rymanów (2), Szczepanowice (3), Tarnowiec
VII	14	Blonie, Bór (1,2), Gawłów, Krzczów, Łysa Góra, Mikluszowice, Nowy Żmigród, Rajbrot, Rzeszów (1,2), Tarnów (1,2,5)
VIII	13	Baczków , Barwinek, Cerekiew, Hunkowce (1,2), Komarnik, Krempana, Lubcza (1,2), Osikówka, Rymanów (1), Tarnów (3,4)
IX	3	Dukla (1,2), Zbylitowska Góra

⁴w nawiasach numery grobów w miejscowościach, w których występowało kilka grobów

Tabela 64. Odległości euklidesowe pod oraz kwadrat tych odległości nad przekątną dla dziewięciu skupień otrzymanych z grupowania przeprowadzonego metodą Warda, dla 240 pochówków, przy uwzględnieniu pięciu wyselekcjonowanych pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn

Numer grupy	Odległości euklidesowe pod i ich kwadrat nad przekątną wyznaczoną wartością „0“								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	0	437,5	305,2	274,1	286,01	366,6	1437,2	6342,2	27137,0
II	20,9	0	202,8	352,0	296,5	271,3	1146,8	5938,1	26987,2
III	17,5	14,2	0	34,7	117,8	285,2	1616,4	7066,6	29148,0
IV	16,6	18,8	5,9	0	73,7	278,5	1627,1	7045,5	28872,2
V	16,9	17,2	10,9	8,6	0	79,6	1031,8	5729,2	26118,7
VI	19,2	16,5	16,9	16,7	8,9	0	562,0	4547,8	23680,1
VII	37,9	33,9	40,2	40,3	32,1	23,7	0	1943,9	17149,8
VIII	79,6	77,1	84,1	83,9	75,7	67,4	44,1	0	7652,0
IX	164,7	164,3	170,7	169,9	161,6	153,9	131,0	87,5	0



Ryc. 13. Zróżnicowanie średnich arytmetycznych obliczonych dla każdego z pięciu pierwiastków: Cr, Cu, P, Si Zn w dziewięciu skupieniach, uzyskanych za pomocą grupowania metodą Warda z miarą odległości potęgowej

Identyczną procedurę, jak w grupowaniu przeprowadzonym dla populacji 240 grobów, zastosowano także dla próby 86 pochówków. Grupowanie to oparto na różnicy pomiędzy zawartościami takich samych pierwiastków, stwierdzonych ponad 86 grobami a ich koncentracją w miejscach porównawczych. Uzyskane wyniki z tych dwóch grupowań zestawiono w jednej tabeli (tab. 65). Z populacji 240 grobów zamieszczono w niej tylko te groby, które powtarzały się w obu grupowaniach. Na podstawie porównania składu otrzymanych grup z obu grupowań wykazano ich duże podobieństwo (tab. 65). Kilka grup: II, VI, VII i VIII jest niemal identycznych w obu grupowaniach. Niewielkie różnice uwidaczniają się także pomiędzy grupami I, III i IV, uzyskanymi z próby 86 grobów, a grupą I wyróżnioną z populacji 240 pochówków. Podobne relacje występują również pomiędzy innymi łączonymi grupami z obu grupowań. Dotyczy to zwłaszcza grupy V z grupowania dla 86 przypadków oraz łączonych grup, IV i V z grupowania dla 240 grobów. Natomiast grupa IX z grupowania dla 86 grobów wykazuje duże podobieństwo do połączonych grup III i IX z grupowania dla 240 pochówków. W łączonych grupach I, III i IV z grupowania dla 86 pochówków występują groby, w których stwierdzono relatywnie wysokie zawartości pierwiastków. Z kolei w grobach z grup IV i V oraz III i IX, otrzymanych w grupowaniu dla 240 przypadków, stwierdzono relatywnie mniejsze koncentracje badanych pierwiastków.

Należy jednak zaznaczyć, że powyższe porównanie dotyczyło tych samych pierwiastków, niezależnie od niewielkiej rozbieżności w procedurze, która wystąpiła przy ich selekcji i dotyczyła jednego z nich w grupowaniu przeprowadzonym dla 86 grobów. Trudność w porównywaniu badanych rozkładów związana jest także z potrzebą porównywania takiej samej, w miarę dużej, liczby grup. Przyjęcie zbyt małej liczby grup, pomimo łatwości wyróżniania we wszystkich grupowaniach, nie sprzyja ostatecznemu porównywaniu.

W celu potwierdzenia istotności uzyskanych wyników porównano dodatkowo skład grup otrzymanych w grupowaniach, przeprowadzonych metodą k-średnich, dla tych samych 86 pochówków, ale przy nieco innych charakterystycznych pierwiastkach. Oba grupowania dotyczyły różnic pomiędzy zawartością tych pierwiastków ponad pochówkami a ich tłem geochemicznym. Pierwsze z tych grupowań bazowało na pięciu pierwiastkach: Cd, Cu, P, S i Zn. Jest to obiektywnie wyselekcjonowany skład, na podstawie stosowanej w tej pracy procedury. Od wcześniej uzyskanego z przeprowadzonym grupowaniem zestawu pierwiastków różni się jedynie obecnością Cd w miejscu Cr. Wskaźniki zmienności obu pierwiastków różnią się nieznacznie. W przypadku populacji 240 grobów wynosiły odpowiednio: 2,5 – Cr, 2,3 – Cd. Natomiast drugie grupowanie oparto na sześciu pierwiastkach: P, Cu, S, Cd, K i Mg, wyróżnionych za pomocą wskaźnika zmienności z sześciu grup, uzyskanych w grupowaniu według zmiennych metodą Warda z miarą odległości euklidesowej. Zasadnicze łączenie w grupy 86 pochówków przeprowadzono metodą k-średnich po trzech iteracjach. W metodzie tej grupowano wokół średnich wartości, dla każdej z dziewięciu grup, uzyskanych w przeprowadzonym grupowaniu metodą Warda z miarą odległości potęgowej. Cztery pierwiastki powtórzyły się w obu wykorzystanych zestawach (tab. 66).

Tabela 65. Porównanie skupień uzyskanych w dwóch grupowaniach, opartych na tych samych pierwiastkach: Cr, Cu, P, S i Zn, przeprowadzonych metodą k-średnich dla 240 oraz 86 pochówków

Numer grupy	Pochówki zestawione w grupy za pomocą metody k-średnich opartej na pięciu wyselekcjonowanych pierwiastkach: Cr, Cu, P, S i Zn oraz dotyczącej	
	próby 86 pochówków	populacji 240 pochówków
1	2	3
I	Baczków¹	Baczków , Lubcza droga I, Lubcza las I, Osikówka II, Komarnik II, Hunkowce II, I, Barwinek II, Cerekiew cm., Krempna I, Rymanów cm., II, Osikówka II
II	Dukla II, I, Zbylitowska Góra żyd. II²	Dukla II, Dukla II, I, Zbylitowska Góra żyd. II
III	Komarnik II, Hunkowce II, I, Barwinek II	Muchówka I, Nowy Sącz cm., II, Nowy Sącz żyd. II, Nowy Sącz PKS II, Sobolów cm. I, Szczepanowice I, Szczepanów cm. I, Waryś I
IV	Cerekiew cm., Krempna I, Dukla II, Lubcza droga I, Lubcza las I, Osikówka II, Rymanów cm. II	Bielcza cm. I, Łapanów 1 cm. I, Łapanów 2 cm. I, Męcina I, Podgórska Wola II, Potok I, Przemyśl ros. I, Przyborów I, Skrzyszów II, Szymbark cm. I, Szymbark dr. I, Trzciana cm. I
V	Baligród II, Biadoliny I , Bielcza cm. I, Gorlice ul. Łokietka I, Grabina I , Krosno cm. I, Leksandrowa II , Łapanów 1 cm. I, Łapanów 2 cm. I, Łuźna stok I, Męcina I, Muchówka I, Nieprześnia I, Nowy Wiśnicz cm. I , Podgórska Wola II, Potok I, Przyborów I, Rudy Rysie cm. I , Skrzyszów II, Szymbark cm. I, Szymbark droga I, Tarnów-Chyszów 2 I, Trzciana cm. I, Wola Nieszowska I, Zonia I, Żegocina cm. I	Biadoliny I, Gorlice ul. Łokietka I, Grabina I, Leksandrowa II , Leszczyna I, Nieprześnia I, Nowy Wiśnicz cm. I, Rudy Rysie cm. I, Wola Nieszowska I, Zonia I, Żegocina cm. I
VI	Brzesko II, Brzesko II, I, Przemyśl węg. I, Ropica Górna dr. I, Ropica Górna las I, Rzeszów radz. II, Bór II, Sterkowiec I	Brzesko II, Brzesko II, I, Krosno cm. I, Ropica Górna dr. I, Ropica Górna las I, Sterkowiec I, Hunkowce II,
VII	Leszczyna I, Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty: wehr. II, Kraków-Prandoty radz. II, Kraków-Prandoty pol. II, Kraków-Prandoty ang. II	Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty: wehr. II, Kraków-Prandoty radz. II, Kraków-Prandoty pol. II, Kraków-Prandoty ang. II
VIII	Błonie I, Dąbrówka I, Gawłów I, Krzeczów I, Łysa Góra I, Mikuszowice cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Rajbrot I, Tarnów-Chyszów 1 I	Błonie I, Bór II, Gawłów I, Krzeczów I, Łysa Góra I, Mikuszowice cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Rajbrot I, Rzeszów radz. II, Tarnów-Chyszów 1 I

1	2	3
IX	Borzęcin cm. I, Dębica żyd. II, Dębica ros. II, Jaszczew I, Lesko żyd., Łakta S I, Łakta wierz. I, Łakta N I, Łużna wejście I, Łużna pol. I, Łużna węg. I, Nowy Sącz cm II, Nowy Sącz żyd. II, Nowy Sącz PKS II, Waryś I, Przełęcz Małastowska I, Przemyśl ros. I, Przemyśl wehr. II, Pustków radz. II, Rymanów radz. II, Sobolów cm. I, Szczepanowice I, Szczepanów cm. I, Tarnowiec cm. I	Baligród II, Borzęcin cm. I , Dąbrówka I, Dębica żyd. II, Dębica ros. II, Jaszczew I, Lesko żyd., Łakta S I, Łakta wierz. I, Łakta N I, Łużna wejście I, Łużna pol. I, Łużna węg. I, Przełęcz Małastowska I, Przemyśl wehr. II, Pustków radz. II, Rymanów radz. II, Szczepanowice I, Tarnowiec cm. I

^{*1} Wytluszczone nazwy miejscowości powtarzają się w tej samej grupie w obu grupowaniach; ^{*2} I, II – grób z okresu I lub II wojny; cm. – cmentarz; cm., II – grób z II wojny leżący na cmentarzu; żyd. – pochówek żydowski; ros., węg., pol., ang., radz., wehr., – pochówki żołnierzy: rosyjskich, węgierskich, polskich, angielskich, radzieckich, Wehrmachtu; Łapanów 1 – cyfra oznacza numer masowego grobu, jeśli jest ich więcej na cmentarzu; Łakta S lub N – grób położony na stoku o ekspozycji S lub N; wierz. – grób położony na wierzchołku; Łużna wejście – przy wejściu na duży pochówek; las – pochówek w lesie; dr. – pochówek przy drodze; ul. Łokietka – pochówek przy ulicy Łokietka

Tabela 66. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych metodą k-średnich dla 86 pochówków, na podstawie pięciu: P, Cu, S, Cd i Zn oraz sześciu pierwiastków: P, Cu, S, Cd, K i Mg

Numery grup	Pochówki zestawione w grupy za pomocą metody k-średnich na podstawie dwóch zestawów pierwiastków, dla 86 przypadków	
	Cd, Cu, P, S, Zn,	Cd, Cu, P, S, K, Mg
1	2	3
I	Baczków^{*1}	Baczków
II	Dukla II, I, Zbylitowska Góra II^{*2}	Dukla II, I, Zbylitowska Góra II
III	Leszczyna I, Kraków-Płaszów żyd., Kraków-Prandoty: wehr. II, radz. II, pol. II, ang. II	Bór II, Rzeszów radz. II
IV	Bór II, Brzesko II, Brzesko II, I, Przemyśl węg. I, Ropica Górna dr. I, Ropica Górna las I, Rzeszów ros. II, Sterkowiec I	Brzesko II, Brzesko II, I, Krosno cm. I, Kraków-Płaszów żyd., Przemyśl węg. I, Ropica Górna dr. I, Ropica Górna las I, Skrzyszów II, Sterkowiec I
V	Hunkowce II, Komarnik II	Komarnik II, Hunkowce II, Dukla II, Kremna I
VI	Barwinek II, Cerekiew cm., Dukla II, Kremna I, Lubcza dr. I, Lubcza las I, Osikówka II, Rymanów cm. II	Barwinek II, Cerekiew cm., Lubcza dr. I, Lubcza las I, Osikówka II, Rymanów cm. II
VII	Błonie I, Dąbrówka I, Gawłów I, Krzeczów I, Łysa Góra I, Mikluszowice cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Rajbrot I, Tarnów-Chyszów 1 I	Błonie I, Dąbrówka I, Gawłów I, Krzeczów I, Łysa Góra I, Mikluszowice cm. I, Nowy Żmigród cm. I, Rajbrot I, Tarnów-Chyszów 1 I

1	2	3
VIII	Bielcza I, Biadoliny I, Baligród II, Gorlice ul. Łokietka I, Grabina I, Krosno cm. I, Leksandrowa II, Łapanów 1 cm. I, Łapanów 2 cm. I, Łużna stok I, Męcina I, Muchówka I, Nieprześnia I, Nowy Wiśnicz cm. I, Podgórska Wola II, Potok I, Przyborów I, Rudy Rysie cm. I, Skrzyszów II, Szymbark cm. I, Szymbark dr. I, Tarnów – Chyszów 2 I, Trzciana cm. I, Wola Nieszowska I, Zonia I, Żegocina cm. I	Leszczyna I, Kraków-Prandoty: wehr. II, radz. II, pol. II, ang. II, Bielcza I, Biadoliny I, Baligród II, Gorlice ul. Łokietka I, Grabina I, Leksandrowa II, Łapanów 1 cm. I, Łapanów 2 cm. I, Łużna stok I, Męcina I, Muchówka I, Nieprześnia I, Nowy Wiśnicz cm. I, Podgórska Wola II, Potok I, Przyborów I, Rudy Rysie cm. I, Szymbark cm. I, Szymbark dr. I, Tarnów-Chyszów 2 I, Trzciana cm. I, Waryś I, Wola Nieszowska I, Zonia I, Żegocina cm. I
IX	Borzęcín cm. I, Dębica żyd. II, Dębica ros. II, Jaszczew I, Lesko żyd., Łąka: S I, wierz. I, N I, Łużna: wejście I, pol. I, węg. I, Nowy Sącz: cm. II, żyd. II, PKS II, Przełęcz Małastowska I, Przemyśl ros. I, Przemyśl wehr. II, Pustków radz. II, Rymanów II, Sobolów cm. I, Szczepanowice I, Szczepanów cm. I, Tarnowiec cm. I, Waryś I	Borzęcín cm. I, Dębica żyd. II, Dębica ros. II, Jaszczew I, Lesko żyd., Łąka: S I, wierz. I, N I, Łużna: wejście I, pol. I, węg. I, Nowy Sącz cm. II, Nowy Sącz żyd. II, Nowy Sącz PKS II, Przełęcz Małastowska I, Przemyśl ros. I, Przemyśl wehr. II, Pustków radz. II, Rymanów II, Sobolów cm. I, Szczepanowice I, Szczepanów cm. I, Tarnowiec cm. I

^{*1} Wyłuszczone nazwy miejscowości powtarzają się w tej samej grupie w obu grupowaniach; ^{*2} I, II – grób z okresu I lub II wojny; cm. – cmentarz; cm. II – grób z II wojny leżący na cmentarzu; żyd. – pochówek żydowski; ros., węg., pol., ang., radz., wehr. – pochówek żołnierzy rosyjskich, węgierskich, polskich, angielskich, radzieckich, Wehrmachtu; Łapanów 1 – cyfra oznacza numer masowego grobu, jeśli jest ich więcej na cmentarzu; Łąka S lub N – grób położony na stoku o ekspozycji S lub N; wierz. – grób położony na wierzchołku; Łużna wejście – przy wejściu na duży pochówek; las – pochówek w lesie; dr. – pochówek przy drodze; ul. Łokietka – pochówek przy ulicy Łokietka

W porównywanych grupowaniach uzyskano bardzo duże podobieństwo poszczególnych grup grobów (tab. 66). Podobieństwo to podkreśla jeszcze bardziej dodatkowe połączenie niektórych grup. Grupa IV, z zestawienia dla pięciu pierwiastków, jest bardzo podobna do połączonych grup III i IV z grupowania dla sześciu pierwiastków. Z kolei groby z grup III i VIII, z pierwszego grupowania, znalazły się przeważnie w grupie VIII w drugim grupowaniu. Na szczególną uwagę zasługują groby, w obu grupowaniach, z grupy: I, II, V, VI i VII o prawie identycznym składzie. Wymienione grupy zawierają małe liczby grobów (tab. 66).

Słuszność obranej drogi badawczej została potwierdzona w związku z uzyskaniem dużej porównywalności wydzielonych grup w grupowaniach dla populacji 240 i próby 86 pochówków. Sprawdziła się również przyjęta procedura, pomimo niewielkich rozbieżności w podstawowych danych wyjściowych, związanych z subiektywnością metody, a dotyczących ilości i składu pierwiastków. Uzyskane wyniki wskazują na słuszność stosowania w prowadzonych badaniach podejścia statystycznego z dużą ilością materiału wyjściowego. Ponadto użyte w badaniach porównanie zawartości pierwiastków ponad pochówkiem z ich tłem geochemicznym wywołuje szereg logicznych wątpliwości, np. czy subiektywne wybieranie miejsca porównawczego gwarantuje reprezentatywność dla tła geochemicznego. W składzie sześciu pierwiastków z grupowania 86 pochówków znalazły się

także K i Mg. Potas jest pierwiastkiem antropogenicznym, wielce pożądanym przez rolnictwo i może ponadto pochodzić z wielu innych źródeł. Natomiast magnez jest pierwiastkiem, którego niedobór w podłożu może ograniczyć wzrost roślin. Pierwiastek ten występuje w środowisku w bardzo małych ilościach, chociaż jest wielce pożądanym. Rolnicy i konsumenci są więc zainteresowani jego wprowadzaniem do środowiska człowieka. Istotną zaletą oparcia badań na dużej, obiektywnie zestawionej populacji jest możliwość stosowania metod statystycznych, a tym samym poznania prawidłowości dotyczących dużych zbiorowości.

Istotnym wynikiem tej pracy jest wykazanie, jakie pierwiastki (Cu, Zn, Cr, P, S) są związane z dekompozycją i jakie właściwości środowiska sprzyjają tej dekompozycji. Ponadto przeprowadzono grupowania dla 240 grobów według tych zmiennych (tab. 58, 63). Uzyskano zatem stosowne rozkłady grobów na dziewięć grup (tab. 67). Już wcześniej zadbano o to, by oba grupowania miały taką samą liczbę grup. Następnie ustalono zgodność obu tych rozkładów grobów. Badanie zgodności tych rozkładów pozwoliło ocenić jaka jest zależność pomiędzy zawartością charakterystycznych dla masowych grobów pierwiastków od typowych właściwości środowiska i grobów.

Skonstruowana na podstawie przeprowadzonych grupowań tabela kontyngencji 9 x 9 została następnie zmniejszona do rozmiarów 4 x 4 (tab. 68). Dokonano tego poprzez połączenie najbliższych grup. Było to konieczne w dalszym badaniu, ponieważ w zastosowanym teście niezależności chi-kwadrat nie mogło być mniej niż 5 elementów w każdej z komórek zbudowanej tabeli.

Tabela 67. Liczebności grobów, które pokrywają się w poszczególnych grupach obydwu grupowań, przeprowadzonych dla właściwości środowiska i grobów oraz zawartości pierwiastków

Grupowanie według		Grupy grobów wyróżnione metodą k-średnich ze względu na Cu, Zn, Cr, P, S								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII
właściwości ^{*1}	I	1	1	3	21	8	7	4	1	1
	II	3	1	3	10	7	0	3	0	0
	III	0	1	0	8	2	1	0	1	0
	IV	12	0	0	4	8	1	2	3	0
	V	1	1	9	16	2	5	1	1	0
	VI	1	2	0	6	3	2	2	2	0
	VII	1	1	2	12	8	4	2	2	0
	VIII	0	3	4	4	2	2	0	0	0
	IX	0	1	3	7	1	5	0	3	2

*1Grupy grobów wyróżnione metodą k-średnich ze względu na właściwości środowiska: 3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu.

Tabela 68. Tablica kontyngencji 4 x 4 zestawiająca wyniki obydwu grupowań grobów dla właściwości środowiska i grobów oraz zawartości pierwiastków, które zmodyfikowano poprzez połączenie sąsiednich grup

Grupowanie według	Grupy grobów, po sąsiedzkiem połączeniu, wyróżnione metodą k-średnich ze względu na Cu, Zn, Cr, P, S					Ogólna liczba grobów
		I	II	III	IV	
Grupy ^{*1}	I	12	31	22	9	74
	II	24	28	19	8	79
	III	7	18	17	8	50
	IV	11	11	10	5	37
	Suma	54	88	68	30	240

*Grupy grobów wyróżnione metodą k-średnich ze względu na właściwości środowiska: 3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu.

Przeprowadzona statystyka testu wyniosła 12 dla 9 stopni swobody. Otrzymane prawdopodobieństwo – 0,21 nie pozwala na odrzucenie weryfikowanej hipotezy. Uzyskany wynik pozwala stwierdzić, że nie istnieje zależność pomiędzy zawartością badanych pierwiastków a właściwościami środowiska i grobów z prawdopodobieństwem 21%. Odrzucono więc hipotezę o badanej niezależności. Natomiast udowodniono hipotezę, że istnieje zależność z prawdopodobieństwem 79% (na poziomie istotności $\alpha = 0,21$) pomiędzy badanymi rozkładami. Wynik ten wskazuje na zależność zawartości charakterystycznych pierwiastków w podłożu ponad pochówkami (Cu, Zn, Cr, P, S) od wyróżnionych właściwości środowiska 240 badanych grobów. Pełną zależność dopełniają nieuwzględnione lub odrzucone właściwości środowiska. W związku z systemowymi zależnościami pomiędzy właściwościami uwzględnionymi a pominiętymi, właściwości przyjęte jako istotne zawierają w sobie skutki częściowej zależności od pozostałych nieuwzględnionych właściwości.

7. Wybrane związki chemiczne występujące w podłożu ponad pochówkami

7.1. Wprowadzenie

Analiza zagadnienia przeprowadzona we wcześniejszym rozdziale wskazuje na obecność w środowisku pochówku kilkunastu pierwiastków o podwyższonej koncentracji, które występują w postaci bardzo wielu związków. Jednym z istotnych pod względem biologicznym pierwiastków jest P. Występuje on we wszystkich organizmach żywych, w wodzie i w podłożu, w postaci minerałów budujących skały. W podłożu można go zatem spotkać w postaci nierozpuszczalnej, organicznej i nieorganicznej oraz rozpuszczalnej. Część P, tzw. mineralnego, pochodzi z powolnego rozpuszczania minerałów, np. fluoroapatytu, hydroksyapatytu itp. Fosfor występuje w połączeniach z: Fe, Ca, Al, Mg i Mn (Zawadzki 1999). Są to przeważnie związki fosforanowe w postaci od amorficznych do kryptokrystalicznych (Costa i inni 2004).

Ciała ludzi i zwierząt zawierają duże ilości P, który przenika do środowiska po ich śmierci w wyniku dekompozycji pochówków. Relatywnie szybkiemu rozkładowi ulegają tkanki miękkie. Jedynie w ekstremalnych warunkach mogą one przetrwać znacznie dłużej, np.: przy ograniczonej działalności bakterii, gdy są zamrożone, wysuszone lub zatopione w zawodnionych torfowiskach, w obecności kwasu taninowego itp. Natomiast długo zachowują się w podłożu tkanki twarde, np.: włosy, kopyta, rogi, kości i zęby. Szczególnie wysoka koncentracja P ma miejsce w kościach, które są materiałem polikrystalicznym, złożonym z nieorganicznej i organicznej części. Trwałość tych tkanek zależy od stosunku substancji nieorganicznych do organicznych. Wysoki wskaźnik, obliczony dla zębów i paznokci, pozwala im dłużej przetrwać w środowisku niż szkieletowi nowo narodzonych. Związki organiczne chronią jednak elementy nieorganiczne przed degradacją (James 1999). Krystaliczny minerał, węglan wapnia, osłonięty jest organiczną częścią białka, kolagenem. Frakcja nieorganiczna kości zbudowana jest głównie z hydroksyapatytu, który w przybliżeniu stanowi trzy czwarte masy tkanki kostnej. Natomiast mało P zawiera organiczny materiał kości, tkanki ciała, mięszs itd. Również w małych ilościach występuje on w postaci reszt kwasu fosforowego, który jest podstawowym składnikiem DNA, obecnym w każdej komórce. Ponadto

estry fosforanowe, jako naturalne organiczne związki P, występują w: nukleotydach, w postaci grup fosforanowych, np. mono-, di- i trifosforanów adenozyliny lub deoksyadenozyliny, w fosfolipidach, jako reszty kwasu fosforowego (V) – składnika błon komórkowych oraz w ATP – adeninotrifosforanie, z trzema grupami fosforanowymi biorącymi udział w przenoszeniu energii w procesach biochemicznych. Związki organiczne P to również fityny – sole wapniowo-magnezowe kwasu inozytosześcioletowego i ich pochodne. Zapewne wiele jeszcze innych związków organicznych P czeka na rozpoznanie. Jednak z tych związków organicznych P uwalniany jest do podłoża w wyniku procesów rozkładu.

Głównym źródłem fosforanów w pochówku jest więc szkielet. W ciele 11-miesięcznego człowieka zawarte jest 630 g P. Z tej ilości aż 80% buduje szkielet. Fosfor jest wypłukiwany z kości, uryny, fekalii oraz z organicznych tkanek w postaci jonu fosforanowego. Jednak od środowiska zależy, jaka część tych jonów opuści pochówek. Znaczna bowiem ich część zostaje unieruchomiona w podłożu w postaci trudno rozpuszczalnych związków (Gordon 1978). Jeśli w grobach leży duża liczba ciał zmarłych, na stosunkowo niewielkim obszarze, to zarówno na cmentarzach, jak i szczególnie w masowych grobach występuje istotna koncentracja związków P.

Fosfor w procesach dekompozycji występuje w postaci różnych związków. W prezentowanej pracy szczególną uwagę zwrócono na ortofosforany oraz fosforki. Inna duża grupa fosforanów, którymi są wielofosforany to związki będące pochodnymi badanych fosforanów. Obecność fosforanów wpływa na właściwości środowiska pochówku i jego otoczenia.

Obecne w środowisku pochówku fosforany warunkują przebieg szeregu procesów:

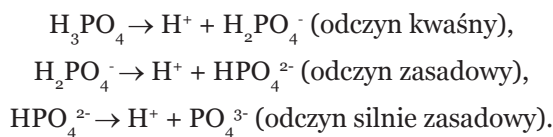
- posiadają zdolność do pochłaniania wody, np. fosforan trójwapniowy,
- tworzą kompleksy z jonami metali. Pirofosforany posiadają większe właściwości kompleksotwórcze niż ortofosforany. Związki te najlepiej kompleksują z metalami ciężkimi, np. Fe i Cu sekwestrując jony żelaza i miedzi. Natomiast polifosforany, np. sześciometafosforan, dobrze kompleksują z Ca i Mg,
- hamują oraz opóźniają procesy utleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych,
- ograniczają również rozwój drobnoustrojów,
- posiadają zdolność do buforowania, szczególnie orto- i pirofosforany, stabilizując pH w zakresie od 5–7. Jednak wraz z wydłużeniem łańcucha polifosforanów zdolności te maleją. Skutkiem tej właściwości jest np. wzrost uwodnienia białek.
- zwiększają siłę jonową,
- powodują dysocjację kompleksu aktomiozynowego, na aktyne i miozynę, przebiegającego podobnie jak oddziaływanie ATP w organizmie żywym. Proces ten przyczynia się do rozluźnienia struktur tkanek.
- alkalizują środowisko, gdyż w roztworach wodnych mają odczyn alkaliczny. Są to bowiem sole silnych zasad i słabych kwasów.

Wiele tych właściwości fosforanów znalazło zastosowanie w życiu codziennym człowieka. Wzbogacają one żywność podczas jej produkcji. Pełnią rolę emulgatorów, konserwantów, antyutleniaczy, stabilizatorów itp. Pozwalają także uzyskać

pożądane właściwości technologiczne. Wykorzystuje się je również w stomatologii i farmacji, np. przy osteoporozie. Dodawane natomiast do proszków piorących oraz stosowane w nadmiarze przez rolników w postaci nawozów i środków ochrony roślin, ze względów ekologicznych, są kontrowersyjne.

Fosfor zawarty w materii organicznej w wyniku mineralizacji katalizowanej przez wieloskładnikowe systemy enzymatyczne produkowane przez różne grupy drobnoustrojów, przy aktywności fosfataz, przyjmuje formę nieorganiczną, np. HPO_4^{2-} i H_2PO_4^- (Bielińska 2005). W środowisku naturalnym pomiędzy tymi postaciami panuje równowaga. Fosfor organiczny przechodzi w podłożu w nieorganiczny i odwrotnie. W wyniku zastąpienia jonów hydroksylowych w grupach peryferyjnych fosforany mogą łączyć się z substancjami humusowymi. Fosfor może być również uwalniany w warunkach beztlenowego rozkładu szczątków organicznych i łączyć się z Fe lub Al tworząc wtórne minerały – wiwianit i glaukonit. Generalnie jednak większość nieorganicznego P występuje w podłożu w formie nierozpuszczalnej, w postaci różnych minerałów, np. difrentu, strengitu i waryscytu. Formy te są niedostępne dla roślin (Buckman, Brady 1971). Wzajemny stosunek P występującego w postaci organicznej i nieorganicznej zmienia się wraz z głębokością. W górnych warstwach gleby, do głębokości około 20 cm, P organiczny stanowi 3/4 ogółu fosforu. Natomiast poniżej humusu proporcje tych postaci wyrównują się. Przy dalszym wzroście głębokości udział P organicznego gwałtownie maleje (White 1978).

Większość jonów typowych w środowisku tworzy z P trudno rozpuszczalne sole fosforanowe. Występują one w przyrodzie w postaci kilku minerałów. Zalicza się do nich także podstawowy minerał budujący kości, którym jest hydroksyapatyt. Trwałe formy fosforanów Ca, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al czy Mn są trudno dostępne dla roślin, ze względu na środowisko zasadowe oraz obecność jonów wapnia. Natomiast w środowisku kwaśnym te same fosforany są łatwiej rozpuszczalne (Zawadzki 1999; Andrzejewski, Socha 1998). Generalnie jednak bardzo powolne ich wypłukiwanie występuje w glebach o odczynie od 1 pH do 5 pH oraz od 7 pH do 14 pH (Cook, Heizer 1965). W zależności zatem od odczynu środowiska dysocjacja odbywa się w różny sposób:



W silnie kwaśnym podłożu jony H_2PO_4^- reagują z rozpuszczalnymi związkami: kationami, wodorotlenkami żelaza, manganu i glinu, np. z limonitem i getytem oraz z minerałami ilastymi, z grupy montmorylonitu, kaolinitu i illitu. Równie trudno rozpuszczalne związki fosforanowe powstają w środowisku słabo kwaśnym, obojętnym i zasadowym. W tych warunkach jony fosforanowe reagują ze związkami wapnia i magnezu i powstają fosforany, np. dwu- i trzywapniowe. W warunkach obojętnego odczynu, przy udziale wody, mogą powstać wtórne minerały, np. hydroksyapatyt lub fluoroapatyt z udziałem jonów fluoru. Natomiast stosunkowo szybko są wypłukiwane fosforany w warunkach małej kwasowości lub

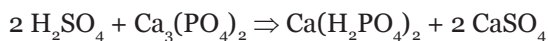
obojętności, gdy pH zawiera się w przedziale 5,5–7 (Zawadzki 1999). Przy takim odczynie P jest najlepiej przyswajany przez rośliny, które mogą pobierać również fosforany: żelazowe, glinowe i wapniowe, ale tylko ze świeżych połączeń. Ponadto w większości dobrze przepuszczalnych gleb pH wzrasta wraz z głębokością. W takim środowisku fosforany uwalniane z pierwotnych minerałów leżących w pobliżu macierzystej skały nie podnoszą się ku powierzchni (Berlin i inni 1977). W naturalnym środowisku odczyn jednak zmienia się w ciągu roku. Zmienność ta jest również związana z wilgotnością podłoża. Niezależnie od tych warunków, obecność związków węglanowych pochodzących np. z obecności muszli czy kości w bliskim sąsiedztwie artefaktów może podwyższyć odczyn kwaśnego podłoża (James 1999).

Część produktów dekompozycji, w tym wiele związków, np. Ca, N i P, pozostaje na długo, przez millenia, zakumulowana w archeologicznych miejscach. Uwalniane w procesie dekompozycji jony fosforanowe łączą się z jonami wymiennymi, np. Ca oraz z uwodnionymi tlenkami Fe i Al, między innymi z limonitem i getytem. W rezultacie powstają bardzo słabo rozpuszczalne związki, np.: fosforany Ca, Fe, Al (Sample i inni 1980; Parnell i inni 2002). Ta wymienna sorpcja warunkowana jest obecnością koloidalnych wodorotlenków Fe i Al. Uwsteczniania jonów fosforanowych dokonują również kationy metali, dwu- i trzywartościowych, występujących w roztworach podłoża. W glebach piaszczystych zawierających małe ilości Fe, Al i Ca, zdolnych do zatrzymywania P, jego wymywanie może być dość szybkie (Cook, Heizer 1965). Natomiast w glebach słabo przepuszczalnych, np. gliniastych, P migruje przy intensywnym nawet nawożeniu i nawadnianiu tylko do głębokości maksymalnej 40 cm (Panak, Wojnowska 1981).

Fosfor podlega również adsorpcji, szczególnie na powierzchniach minerałów ilastych, gdzie mogą powstać na długi czas kompleksy jonowe (Barba, Ortiz 1992; Parnell 2001; Parnell i inni 2002). Procesy te polegają na zjawisku diadocchii jonowej. Jony fosforanowe łączą się z minerałami ilastymi przez zastąpienie jonu hydroksylogowego (OH^-). W początkowej fazie wymiany na powierzchni uwodnionych tlenków kształtują się cienkie warstewki fosforanów. W tej fazie aniony fosforanowe są często ponownie zastępowane przez jon hydroksylogowy. W tym roztworze przez pewien okres pozostają one w równowadze (Brzeziński i inni 1983). Z czasem, przy większej ilości fosforanów, tworzą się trwalsze krystaliczne struktury fosforanów Fe i Al. W tej postaci związki P są nierozpuszczalne i tym samym niedostępne dla roślin, np. fosforan Ca z jonem PO_4^{3-} . Dostępność ich w środowisku wzrasta, gdy pH nieznacznie oscyluje w pobliżu odczynu obojętnego, o czym pisano wcześniej (Zawadzki 1999; Andrzejewski, Socha 1998). O większej przyswajalności P dla roślin decyduje również obecność w środowisku jonów NH_4^+ i Mg^{2+} , ale nie NO_3^- , substancji organicznej oraz innych pierwiastków. Lepszą rozpuszczalność w słabych kwasach i wydzielinie korzeni wykazuje np. fosforan dwuwapniowy, zawierający łatwo przyswajalny jon HPO_4^{2-} . Najłatwiej przyswajalny jest fosforan jednowapniowy w postaci jonu H_2PO_4^- (Brzeziński i inni 1983). Obecność tych jonów wykorzystują jeszcze mikroorganizmy, dla których P jest akceptorem elektronów (Kowalik 2001). Czynniki atmosferyczne umożliwiają transport uwolnionemu P w postaci ortofosforanów. Związki te migrują z wodą w głąb pionowego profilu albo są pobierane przez rośliny, które konsumują zwierzęta oraz człowiek. Rośliny pobierają wyłącznie anion kwasu ortofosforowego (H_2PO_4^-).

W związkach przyswajalnych dla roślin uwieczona jest niewielka część całkowitej zawartości P w podłożu, maksymalnie od 8% do 10% (Brzeziński i inni 1983). Rośliny pobierają z gleby nie więcej niż od 20% do 30% naturalnie dostarczonego P. Ponadto ilość P przyswajalnego przez rośliny podlega wahaniom sezonowym. Dlatego koncentracje P można porównywać tylko w próbkach pobieranych w jednym okresie (Czuba i inni 1968). Pozostała jego część ulega unieruchomieniu, fiksacji (Moldenhawer 1963; Andrzejewski, Socha 1998). Fosfor jest więc mało ruchliwy w glebie. Posiada on silną zdolność do pozostania w profilu ziemi w miejscu lub pobliżu depozycji substancji organicznej (Broadbent 1981; Lillios 1992; Eidt 1984). Fosforu organicznego jest w glebie od 25% do 65% (Zawadzki 1999). Przeważnie jego koncentracja ma miejsce w przypowierzchniowym poziomie gleby, gdzie jest deponowany po wypłukaniu przez wodę zmineralizowanych szczątków roślinnych oraz nawozów. Tak różna pozycja P w obiegu może powodować błędną interpretację śladów ludzkiej działalności (Johnson 1956). Bowiern P przyswajalny ma inny rozkład przestrzenny w glebie niż P w ogóle.

W środowisku pochówku zachodzą dynamiczne przemiany jednych form w inne. W środowisku lekko zakwaszonym, słabiej rozpuszczalny fosforan trójwapniowy $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, przechodzi w najlepiej rozpuszczalny fosforan jednowapniowy $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, dostępny dla roślin. Reakcję tę można zapisać w postaci:



Najczęściej w sąsiedztwie grobów występują fosforany o różnej rozpuszczalności. Różna jest zatem ich przyswajalność przez rośliny. Z reguły jest ona niewielka, co stanowi niewielki procent całkowitej zawartości tych jonów. Obecność w miejscu pochówku drobnoustrojów oraz soli tlenowych, ortofosforanów, np. fosforanu trójwapniowego, sprzyja występowaniu w wodach podziemnych anionów reszty kwasowej PO_4^{3-} . Jon ten jest trudno przyswajalny przez rośliny (Kowalik 2001). Fosforany obojętne np. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ itp. rozpuszczają się wolniej od wodorofosforanów, np. $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Obecność w podłożu $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ wskazuje na silnie kwaśne środowisko. Natomiast występowanie $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ sygnalizuje środowisko silnie zasadowe. W obu przypadkach w roztworach podłoża wzrasta stężenie kationów pochodzących z roztwarzania trudno rozpuszczalnych fosforanów. Wzrost rozpuszczalności fosforanów związany jest również z obecnością w ich środowisku różnych soli amonowych, wapniowych i potasowych. Ich udział i większe ilości fosforanów przyczyniają się do wzrostu stężenia jonów fosforanowych (Szymkiewicz-Dąbrowska 1996). Transportowane w roztworze jony, np. PO_4^{3-} są zdolne do ponownego wytrącenia, tworząc zupełnie inne fosforany. W obecności jonu Ca^{2+} , niezależnie od pH środowiska, powstają ponownie fosforany Ca (Szymkiewicz-Dąbrowska 1996). Utworzone w wyniku dysocjacji soli jony Ca^{2+} obniżają więc stężenia PO_4^{3-} . Obecność tych kationów Ca^{2+} w środowisku ogranicza w związku z tym wymywanie fosforanów. W środowisku rozpuszczalnych fosforanów, np. badanego diwodoroortofosforanu (V) wapnia $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ oraz obecności $\text{Fe}(\text{OH})_3$, powstanie trudno rozpuszczalny podwójny fosforan żelazowo-wapniowy $\text{CaFe}_2(\text{HPO}_4)_2$.

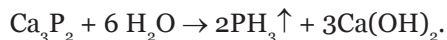
Proces wytrącania tego trudno rozpuszczalnego związku zakłócony jest często przez tworzenie się, w pobliżu polifosforanowych związków kompleksów z Fe, Ca, Al lub Mn. Te nowo powstałe związki, np. poprzez wiązania z kationami Fe^{2+} lub Fe^{3+} , są trudne do utlenienia lub uwodnienia. Występowanie tych polifosforanów w środowisku pochówku powoduje osłabienie mechanizmów obronnych drobno-ustrojów. Polifosforany te mają zatem właściwości biostatyczne. Zmniejszają nawet o 50% odporność *Salmonelli* na temperaturę. Jest to jeden z powodów braku tej bakterii w wodach gruntowych w sąsiedztwie cmentarzy (Pacheco i inni 1991; Trick i inni 2001).

W analizowanym środowisku występują również: metafosforany (V) z anionem reszty kwasowej PO_3^- , difosforany (V) z anionem $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ oraz fosfoniany zawierające anion PHO_3^{2-} . W przyrodzie nieożywionej obecne są także fosforany na trzecim stopniu dysocjacji w postaci fosforanów Ca, Fe lub Al. W porównaniu z innymi związkami mineralnymi są one bardzo słabo rozpuszczalne w środowisku gleby. Rozkładowi ulegają tylko w dłuższym okresie poprzez roztwarzanie (Szymkiewicz-Dąbrowska 1996). Kilka fosforanów, np. sodu, fosforu i amonu, rozpuszcza się niezależnie od stopnia dysocjacji. Natomiast fosforany rozpuszczalne w wodzie cechuje prawie całkowita immobیلność (Andrzejewski, Socha 1998). Przykładem jest rozpuszczalny superfosfat prosty lub superfosfat potrójny, zawierający na ogół fosforan jednowapniowy, który rolnicy rozsiewają po powierzchni gleby. Zalega on w profilu glebowym zaledwie na głębokości do 1 cm. Jego wymywanie z profilu glebowego do wody gruntowej jest niezależne od jakości gleby i sposobu jej użytkowania (Margowski, Bartoszewicz 1975; Bartoszewicz 1985).

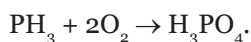
Jeśli obieg materii jest niezakłócony, to zawartości pierwiastków w podłożu w różnych latach są na podobnym poziomie, z wyższą zawartością przy powierzchni (McCawley, MacKerrell 1972). Działalność człowieka prowadzi do zachwiania tej równowagi w związku z pozostawieniem w miejscu aktywności wielu materialnych struktur (Bethell, Máté 1989; Ivarsson 1989). Ponadto mobilność produktów dekompozycji zależy od intensywności procesów naturalnych i kulturowych (James 1999). Z procesów naturalnych najczęściej wymienia się: warunki atmosferyczne i hydrologiczne, np. wahania poziomu wody gruntowej, procesy geologiczne i geomorfologiczne, np. wypłukiwanie, osiadanie osadów, działalność mrozu, erozję, pracę korzeni i inne formy działalności biologicznej, np. wzrost roślin, usuwanie martwych roślin i zwierząt, w tym degradację przez zwierzęta (Eidt 1973; James 1999; Terry i inni 2000). Inni badacze zwracają jeszcze uwagę na: pH i temperaturę podłoża, dostępność wilgoci, stężenia minerałów żelaza, glinu i wapnia oraz czas, jaki upłynął od depozycji substancji organicznej, np. pochówku (McCawley, MacKerrell 1972). Zmiana warunków, np. obniżenie poziomu wody gruntowej w wyniku posadzenia drzew, przyspiesza dekompozycję przedmiotów i owadów. Natomiast te same warunki przyczyniają się do zachowania pyłku i skamieniałych roślin (Cox i inni 2001). Ponadto w tych warunkach wzrasta wzbogacenie przedmiotów archeologicznych w związki chemiczne pod wpływem antropopresji. Ślady historycznej działalności ludzkiej są także zacierane przez późniejszą działalność człowieka w wyniku: procesów życiowych, budowy obiektów przestrzennych, świadomego usuwania, straty materiałów i produktów, np. przez kradzież, produkcję odpadów, recykling, umyślne zniszczenie i utylizację zasobów (James 1999).

W wyniku demineralizacji materii organicznej w glebie, w tym zwłok człowieka, w środowisku podłoża pozostają bardzo trudno wypłukiwane, a więc nieruchliwe fosforany. Istotnym powodem ich zatrzymania jest bardzo silne wiązanie anionów fosforowych przez koloidy glebowe w wyniku ligandowych reakcji wymiennych (Kowalik 2001). Właściwość tę wykorzystuje się na całym świecie w archeologii niedestrukcyjnej, jako metodę fosforanową zaliczaną do prospekcji geochemicznej. Za prekursora tej metody uważa się Olafa Arrheniusa, który stosował ją na przełomie lat 20. i 30. XX wieku. Za pomocą tej metody, np. Marcinek i Wilański (1959) określili zasięg osady wczesnośredniowiecznej, usytuowanej na neolitycznym kurhanie. Wnioski oparli na przestrzennej zmienności zawartości P ogólnego w warstwach kulturowych. Moldenhawer (1963) pisząc o metodzie fosforanowej podkreśla, że 80% P nie jest wypłukiwane z gleby przez wodę. Według archeologów koncentracja P nie jest zależna od wieku stanowiska. Uważają oni, że jego zawartość zależy od długości i intensywności użytkowania terenu (Balke 1975). Podobny cel osiągnęła grupa archeologów, określając zasięg osady kultury przeworskiej i miejsca pod wykopaliska w Młodzikowie (Socha i inni 1990). Zastosowana przez nich metoda oceny zawartości P jest bardzo skomplikowana i mało precyzyjna.

W wyniku demineralizacji kości człowieka fosfor kontaktuje się z występującymi w miejscu pochówku aktywnymi metalami i tworzy fosforoki, w których występuje na 3. stopniu utlenienia. Związki te uznano za istotne w podjętych badaniach, gdyż stanowią ważny etap w dekompozycji związków fosforu. Ponadto w środowisku wilgotnego podłoża ulegają hydrolizie, np. w reakcji:



Ten wydzielający się gaz to silnie trujący fosforiak [PH_3]. W mieszaninie w powietrzu, w naturalnych warunkach, zdolny jest z innymi gazami do samozapłonu. Do wyjaśnienia tego zjawiska konieczne są interdyscyplinarne badania. Zawężając ten proces do fosforiaku, polega on na utlenianiu:



Fosforiak jest gazem słabo rozpuszczalnym w wodzie, ale w roztworze tworzy jednododatni jon fosfonowy (PH_4^+) oraz stosunkowo łatwo łączy się z innymi pierwiastkami budując łatwo rozkładające się beztlenowe sole, np. PH_4Cl , PH_4I itd. Gaz ten jest bowiem silnym reduktorem. Ponadto posiada właściwości słabo zasadowe. Jego istnienie zostało potwierdzone w prowadzonych badaniach. Wskazuje na to również obecność w podłożu fosforków, które zawierają anion reszty kwasowej [P^{3-}].

Stwierdzone fosforoki są wedle polskiego prawa w wykazie trucizn grupy A (*Rozporządzenie Ministra...* 1997). Również w dokumentach Unii Europejskiej fosforoki zalicza się do związków toksycznych. Dodawane do środków spożywczych wymagają ponadto pełnego zgłoszenia (Gajda 2004; Commission Directive 2002). W życiu codziennym związki te znalazły szerokie zastosowanie, różnie oceniane z punktu widzenia humanitarne. Pozytywnie ocenia się ich wykorzystanie w produkcji półprzewodników, np. fosforek indu (InP), w budowie laserów, pro-

cesorów oraz w zwalczaniu gryzoni. W rolnictwie do zwalczania chwastów powszechnie stosuje się pestycydy. Są to między innymi insektycydy fosforoorganiczne – triestry kwasów fosforowych lub trifosforowych. Do produkcji amunicji i gazów bojowych wykorzystuje się także fosforki z grupy estrów fosforoorganicznych, takich jak: sarin, tabun, soman; znajdują one zastosowanie w produkcji świec.

W prowadzonych badaniach uwzględniono takie fosforki, jak: Ca_3P_2 , Cu_3P_2 , K_3P , Na_3P oraz beztlenową sól PH_4J . Wśród pierwiastków dominujących w procesie dekompozycji jest także S. W związku z obecnością w sąsiedztwie pochówku wielu innych pierwiastków, w tym pochodzących z dekompozycji zwłok, powstają w podłożu liczne siarczki metali, siarkowodór, sole kwasu siarkowodorowego itp. W prowadzonych badaniach ograniczono się jednak tylko do wybranych związków.

Są to na ogół substancje słabo lub bardzo słabo rozpuszczalne w wodzie, poza siarkowodorem. W przyrodzie są one rozpowszechnione w postaci licznych minerałów. Wiele z tych nowo powstałych związków ma właściwości redukujące. Badany w tej pracy co do zawartości Na_2S jest rozpuszczalny w wodzie i silnie higroskopijny, tworząc hydraty $\text{Na}_2\text{S} \cdot x \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$. Jego roztwór rozpuszcza S. Powstały w tym procesie polisiarczek sodowy posiada właściwości owadobójcze oraz redukujące. Polisiarczek sodowy ułatwia usuwanie włosów ze skóry. Siarczki najczęściej są formą przejściową, łatwo rozkładają się, a reagując z wodami powierzchniowymi oraz gazami z atmosfery przechodzą w barwne siarczany, fosforany, węglany, wodorotlenki itp.

W przeprowadzonych badaniach zwrócono również uwagę na zawartość słabo rozpuszczalnego siarczku miedzi (II) CuS . Jego powstanie wiąże się najczęściej z nasyceniem roztworów soli miedziowych siarkowodorem.



Siarczek ten łatwo rozpuszcza się w mocnych kwasach, np. azotowym lub w wielosiarczках alkalicznych. Podobnie pod wpływem siarkowodoru wytrąca się siarczek ołowiu z roztworów soli ołowiowych. Jest on również trudno rozpuszczalny w kwasach. W przyrodzie najczęściej występuje w wodach hydrotermalnych.

7.2. Wybrane związki chemiczne w 21 badanych grobach

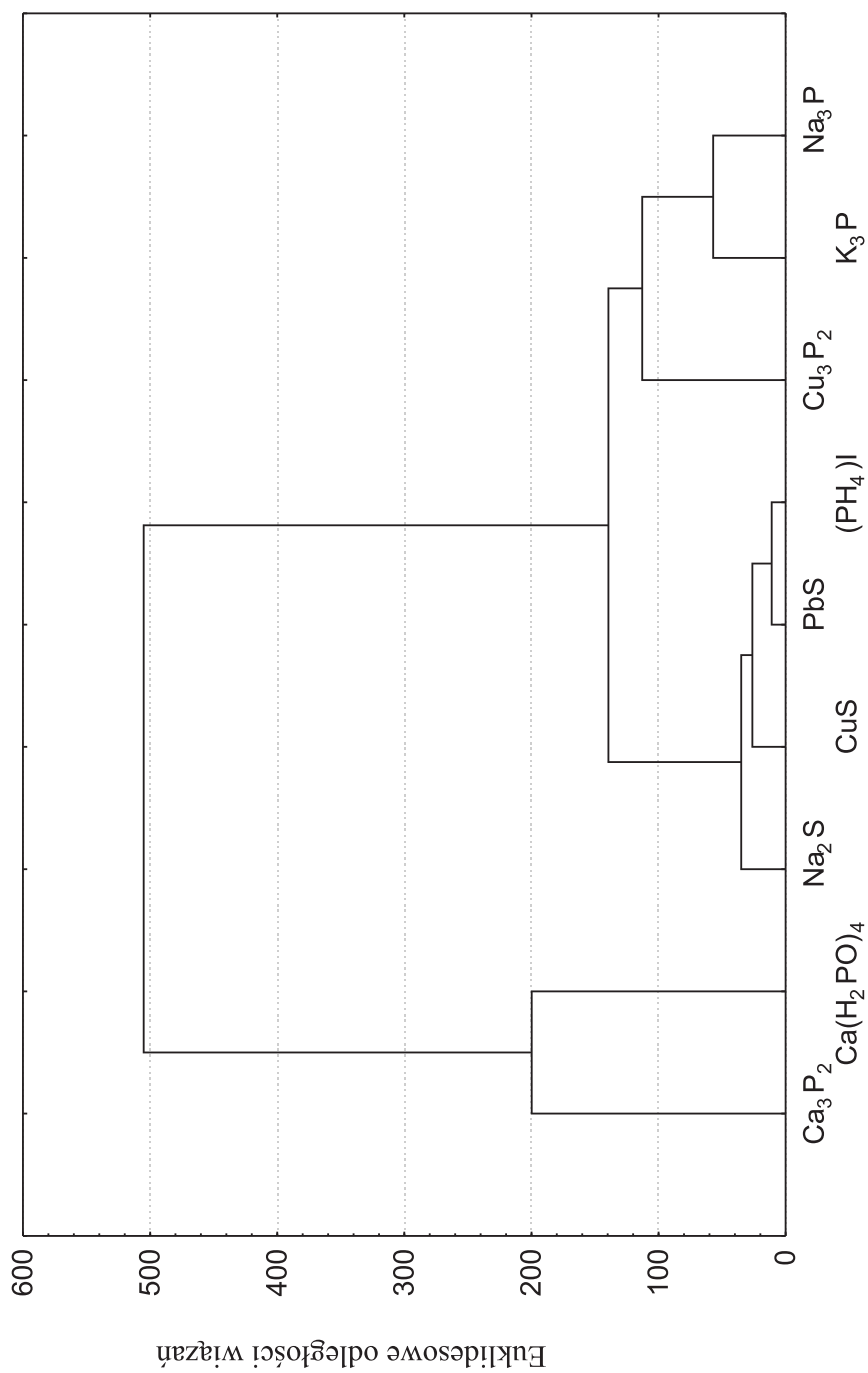
W przedstawionym opracowaniu oceniono pod względem ilościowym 9 związków: Cu_3P_2 , K_3P , Na_3P , Ca_3P_2 , PH_4J , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, Na_2S , CuS , PbS w 21 grobach, głównie masowych z okresu I i II wojny światowej, z cmentarza komunalnego i żydowskiego, wyłączonego z pochówków w czasie II wojny oraz z miejsca porównawczego. Przeprowadzone grupowanie tych związków, według ich zawartości, metodą Warda z zastosowaniem odległości euklidesowych, pozwoliło wyróżnić trzy grupy badanych związków o podobnych zawartościach w badanych środowiskach (ryc. 14).

Grupę siarczków wraz z jodkiem fosfonowym cechują najmniejsze odległości wiązań euklidesowych. Najmniejszą zawartość wykazuje jodek. Jego maksymalne koncentracje dotyczą masowego grobu żołnierzy Wehrmachtu w Hunkowcach

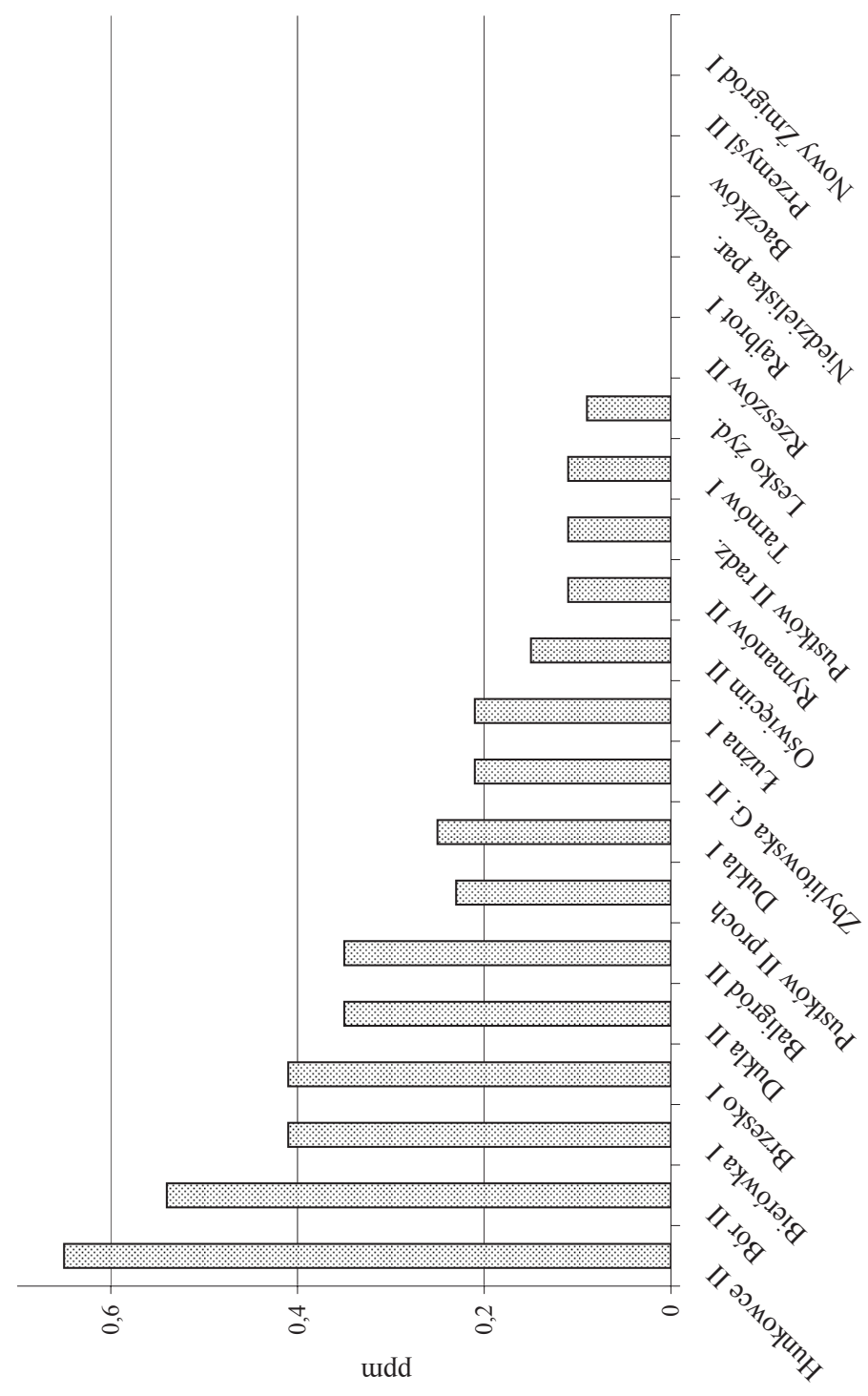
na Słowacji – 0,7 ppm (fot. 15). W większości przypadków zawartość jodków jest większa na cmentarzach z II wojny światowej, ale za dużo jest wyjątków, by uznać to za regułę (ryc. 15). Jodek ten jest końcowym etapem rozkładu hydroksyapatytu i trudno w tym przypadku o zdecydowaną prawidłowość. Małe ilości tego związku stwierdzono np. w masowych grobach z II wojny w Rzeszowie i Przemyślu oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie. Natomiast w relatywnie większych ilościach występuje on w podłożu grobów z I wojny w: Bierówce, Brzesku, Dukli czy Łużnej. Zróżnicowania zawartości tego jodku nie można wytłumaczyć cechami środowiska. Większe jego koncentracje są zarówno w podłożu piaszczystym w Borze, jak i w glinach w Dukli i w Baligrodzie. Nie wykazano prawidłowości związanych także z położeniem tych grobów. Podobne zawartości stwierdzono w podłożu grobów zlokalizowanych na stokach w Hunkowcach, na wierzchołkach w Bierówce i Brzesku oraz na terasie w Baligrodzie (fot. 9).

Najmniejsze zawartości w grupie siarczków dotyczą PbS – 5,4 ppm. Maksymalna zawartość tego siarczku jest dwa razy mniejsza niż CuS i 4 razy mniejsza niż Na₂S (ryc. 16). Jego relatywnie wysokie koncentracje są związane z: prochami przy krematorium w Oświęcimiu, masowymi grobami ludności cywilnej w Borze, pochówkami żołnierzy z II wojny w Rzeszowie i Przemyślu oraz żołnierzy z I wojny w Brzesku. Na pozostałych cmentarzach koncentracje siarczku nie przekraczają 2 ppm. Wyniki te wskazują na różne źródła Pb. Może on w części pochodzić z powietrza, gdy grób zlokalizowany jest w dużym mieście przy ruchliwej drodze, np. w Rzeszowie lub z przerdzewiałych fragmentów krzyży porozrzucanych na grobach.

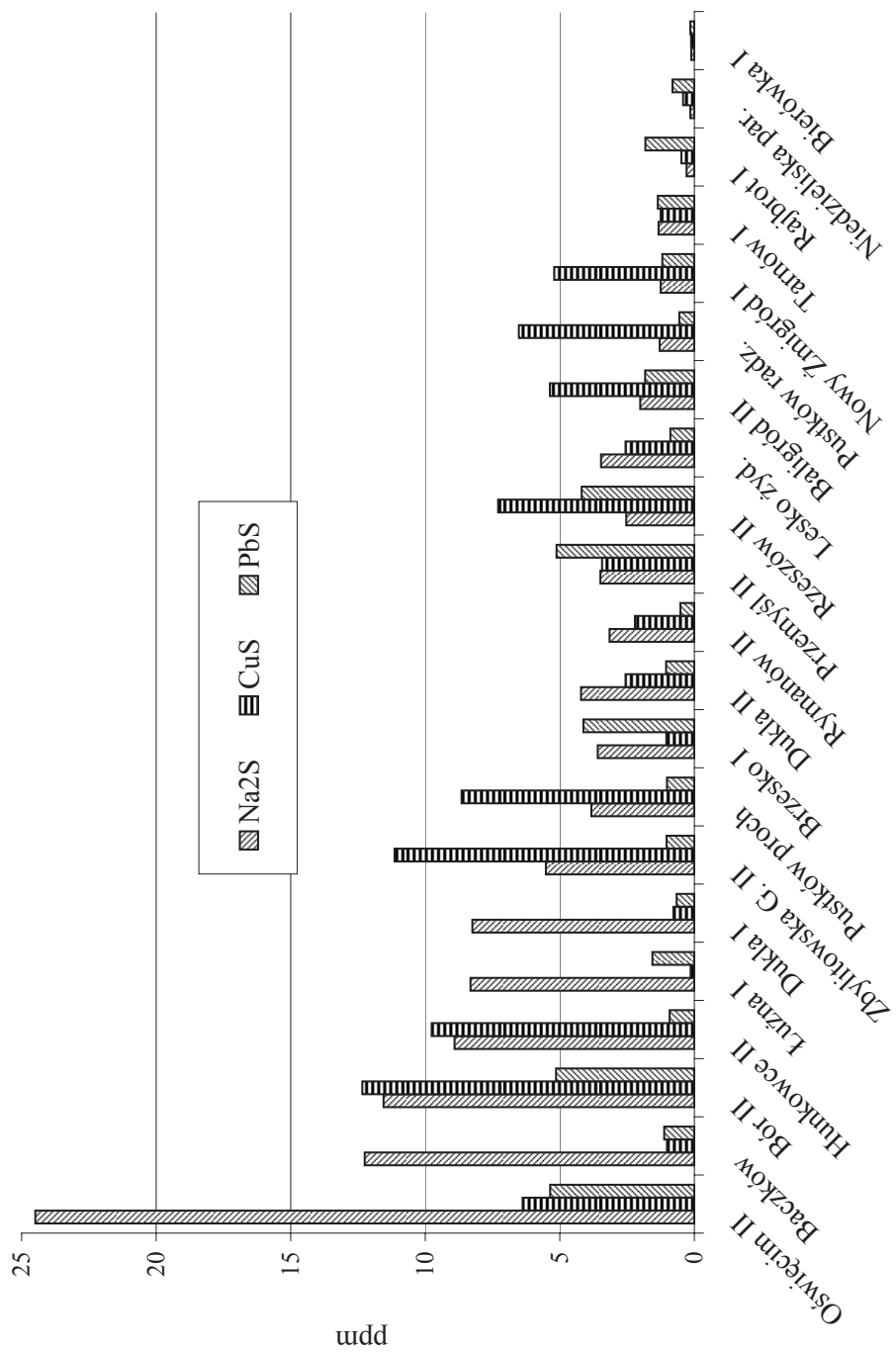
Znacznie łatwiej znaleźć przyczyny wyższej koncentracji CuS w podłożu grobów. Relatywnie większe zawartości dotyczą grobów z II wojny. Stosunkowo niska jest zawartość tego związku tylko w porównawczym miejscu w Baczkowie, w odniesieniu do dużej zawartości Cu – 245 ppm. Powodem tak niskiej zawartości siarczku jest z kolei niska zawartość S w tym środowisku. Wynosi ona tylko 3 ppm. Największe stężenia CuS dotyczą miejsc o zróżnicowanym środowisku pochówku, np. piasku w Borze oraz utworów pylastych, podścielonych żwirami w Zbylitowskiej Górze. Jest wielce prawdopodobne, co wynika z informacji obserwatorów, że masowo zabijani Żydzi, np. w Borze czy Zbylitowskiej Górze, posiadali ze sobą przedmioty zawierające Cu. Ponadto pierwiastek ten pochodzi również ze śmiercionośnych naboji i rekwizytów umiejscowionych na nagrobkach, np. w Ropicy Górnej (fot. 35). Ten sam problem dotyczy pochówków żołnierzy z okresu II wojny, np. Wehrmachtu w Hunkowcach lub żołnierzy radzieckich w Rzeszowie i Baligrodzie. Podczas prowadzonych w celu pobrania próbek wykopów, nawet w otoczeniu grobów natrafiano na różne fragmenty metalowych przedmiotów lub na metalowe odłamki. Wynika to z faktu, że większość masowych grobów z I i II wojny była usytuowana na polach bitew. Stąd obecność metalowych znalezisk. W podłożu pól bitew z I wojny światowej można znaleźć wiele przedmiotów z tego okresu: menażki, sztucce, drut kolczasty, pręty, śrubki, skręty drutu kolczastego, wiadra, łopaty, puszki, butelki, hełmy, bagnety i detonatory granatu, zardzewiałe odłamki szrapnela, spłonki zapalników, niewypały, naboje i łuski naboju, kule pokryte ołowiem, odłamki granatów, kawałki pocisków artyleryjskich, nasadki zapalników, niewypały granatów, części granatów z Cu, Pb, mosiądzu i innych nieżelaznych metali, odznaki i medale itp. Znaleziska te umieszczono w zbiorach wielu muzeów w Londynie, Paryżu czy Berlinie. Jest to problem zna-



Ryc. 14. Grupowanie wybranych związków chemicznych, w 21 badanych grobach metodą Warda, przy zastosowaniu odległości euklidesowych



Ryc. 15. Zawartość (PH₁I) w kolejności malejącej w podłożu ponad pochówkiem, w 21 badanych grobach



Ryc. 16. Zawartości Na₂S, CuS i PbS w podłożu ponad pochówkiem, w 21 wybranych masowych grobach

ny w Polsce, ale szczególnie dużo uwagi poświęca się mu w Europie Zachodniej (Fabiansson 2000; Cora 1997; Stephan 1997; Saunders 2000, 2002) oraz na innych kontynentach (Smith 1994).

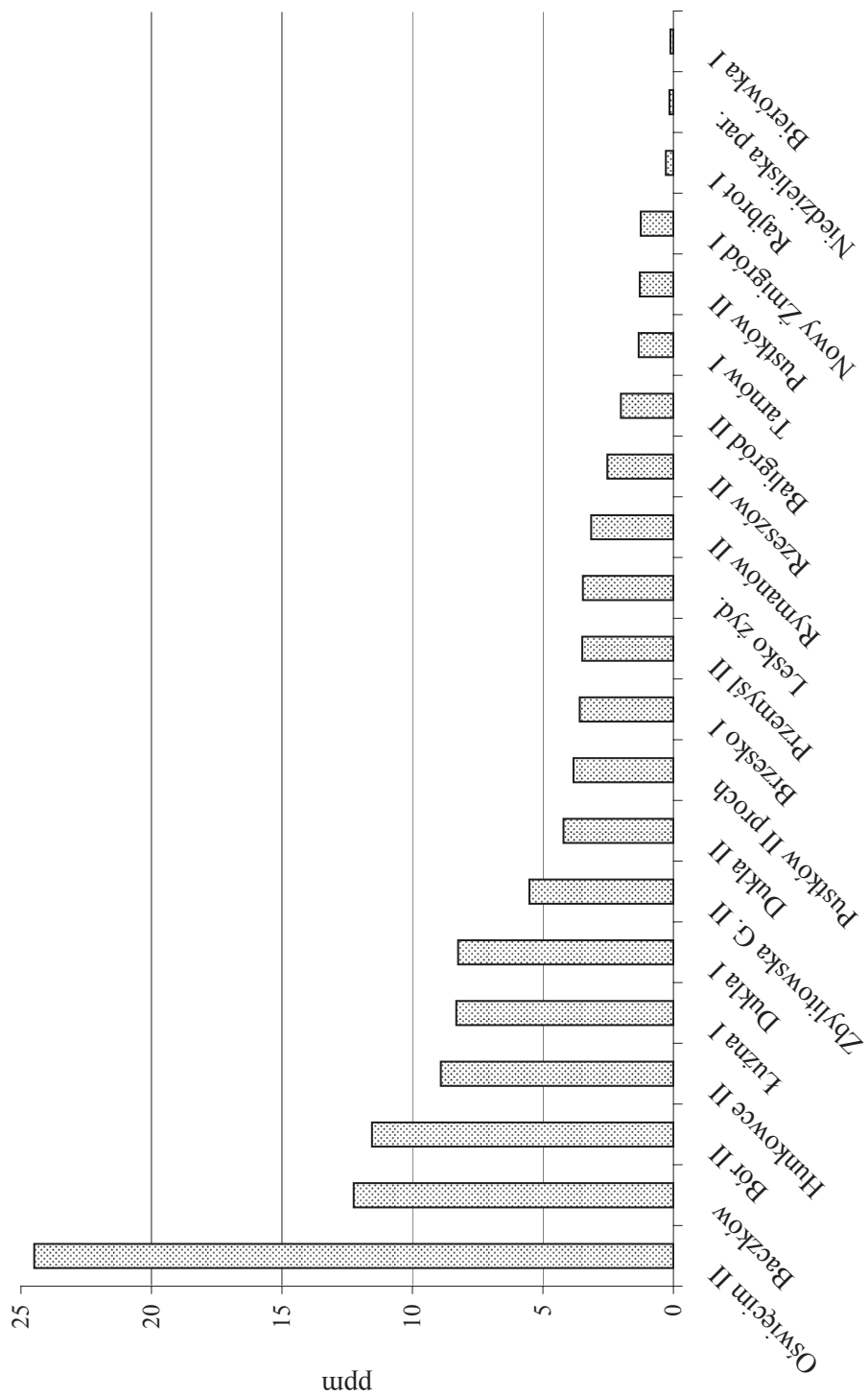
W czasie I wojny żołnierzy na terenie Polski, o czym pisano już wcześniej, chowano w większości przypadków dwa razy. Podczas ekshumacji przedmioty osobiste zbierano i przekazywano rodzinie. W podłożu pochówków pozostała jednak część osobistego wyposażenia żołnierzy. Jeszcze do dzisiaj zbieracze w Bieszczadach, często nielegalnie, poszukują za pomocą środków technicznych przedmiotów z okresu I wojny, np. bagnatów, menażek, hełmów itp. Żołnierze w czasie I wojny światowej ginęli często właśnie od bagnatów. Stąd w ich ciałach brak jest pocisków. Ponadto obecność niektórych pierwiastków w masowych grobach związana jest z krzyżami, przeważnie żeliwnymi (fot. 17).

Natomiast w czasie II wojny światowej żołnierze byli lepiej wyposażeni i dysponowali, w przeliczeniu na jednego żołnierza, nieporównywalnie większą masą uzbrojenia bogatego w przeróżne pierwiastki. Kiedy chowano żołnierzy, oczywiście poza jeńcami, wraz z nimi zakopywano fragmenty uzbrojenia oraz część ich osobistych rzeczy. Żołnierze w tej wojnie ginęli głównie od odłamków i pocisków. Zarówno one, jak i fragmenty uzbrojenia znajdują się miejscu pochówku i również korodują.

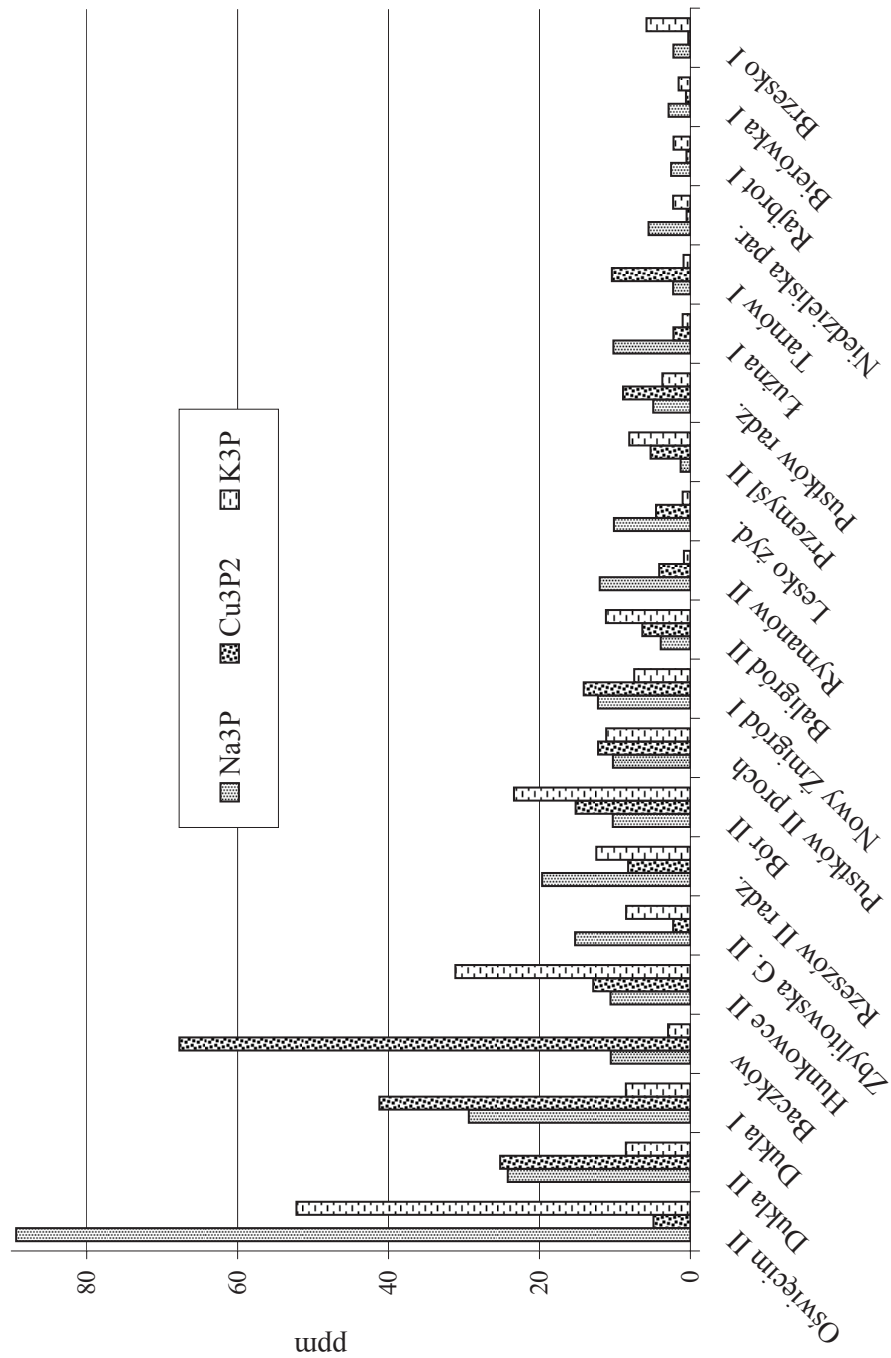
Siarczki sodu (Na_2S) dominują również w Oświęcimiu. Ich duża zawartość wynika z obecności sodu w tym środowisku – około 150 ppm. W pozostałych grobach tego siarczku było co najmniej dwa razy mniej, np. w Borze i w porównawczym miejscu w Baczkowie. Wyższe zawartości tego związku dotyczą miejsc, gdzie pochowano dużą liczbę osób na stosunkowo małej powierzchni. Dotyczy to zatem Boru, Hunkowiec, Dukli, Zbylitowskiej Góry oraz porównawczego miejsca w Baczkowie. Sporadycznie nieznacznie wyższe zawartości tego siarczku wystąpiły także w pochówkach z I wojny światowej, zwłaszcza w Łuznej i Brzesku (ryc. 17). Dodatkowe badania prowadzone w tych grobach potwierdzają relatywnie dużą zawartość Na – 50 ppm w Łuznej i S – 45 ppm w Brzesku (fot. 5).

Podobnie jak w przypadku siarczków miedzi, również badane fosforiki (Cu_3P_2 , K_3P , Na_3P) dominują w grobach z II wojny. Jedynie w nielicznych przypadkach, np. na cmentarzu z I wojny w Dukli oraz w Nowym Żmigrodzie, zawartość tych związków jest porównywalna z tymi z II wojny (ryc. 18). Grób z I wojny w Dukli położony jest poniżej cmentarza komunalnego, oddzielonego drogą i murem oraz leży w sąsiedztwie masowego grobu z II wojny światowej (fot. 3). Oba cmentarze leżą częściowo w linii spadku terenu. W Nowym Żmigrodzie natomiast masowy grób z okresu I wojny jest otoczony z trzech stron grobami cmentarza komunalnego (fot. 23). Stąd w wielu zestawieniach te dwa cmentarze nieznacznie różnią się wynikami pomiarów.

Zawartości fosforików miedzi w podłożu badanych pochówków są relatywnie największe w grobach w Dukli, Borze, w porównawczym miejscu w Baczkowie itd. (ryc. 18). Natomiast dwa inne badane fosforiki dominują zdecydowanie w Oświęcimiu, gdzie palono dużo ludzi bez ubrań. Temperatura spalania była jednak zbyt niska, a jego czas zbyt krótki i proces ten nie był całkowity. W wysoko położonym w przeprowadzonych rankingach grobie z I wojny w Dukli stwierdzono trzy razy mniej Na_3P . Ponadto w czołówce pod względem zawartości fosforików znajdują się przede wszystkim groby z II wojny w: Rzeszowie, Zbylitowskiej



Ryc. 17. Zawartość Na₂S w kolejności malejącej, w podłożu ponad pochówkiem w 21 badanych grobach



Ryc. 18. Zawartości Na₃P, Cu₃P₂ i K₃P w podłożu ponad pochówkami, w 21 wybranych masowych grobach

Górze, Rymanowie, Hunkowcach itp. (ryc. 18). Prawidłowość ta dotyczy również K_3P . Badania te nie wykazują zależności zawartości fosforów od warunków środowiska.

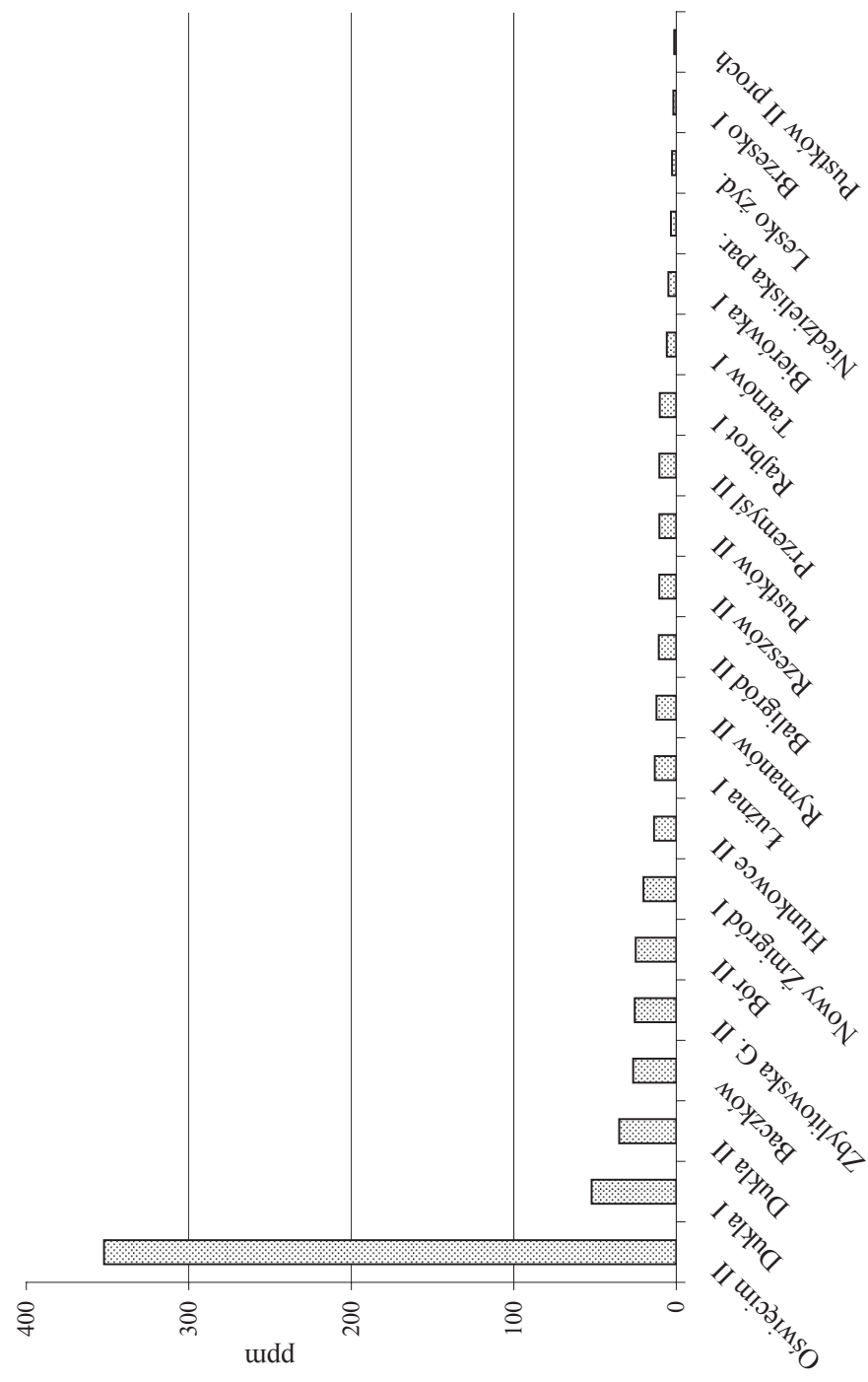
Z kolei trzecia grupa odbiega od pozostałych. Wyróżnione metodą numeryczną związki fosforu z wapniem – fosforek wapnia (Ca_3P_2) oraz ortofosforan wapniowy $Ca(H_2PO_4)_2$, wykazują znacznie wyższe zawartości o większym zróżnicowaniu. Zawartość tych związków jest wielokrotnie większa przy krematoriach w Oświęcimiu niż w pozostałych grobach. W próbie z Oświęcimia było 350 ppm Ca_3P_2 , a w kolejnym grobie w rankingu malejących koncentracji w Dukli zaledwie 50 ppm (ryc. 19). Te znaczne różnice wynikają z dużej zawartości Ca oraz P w środowisku pochówku w Oświęcimiu. W miejscu pobierania tej próbki wysypywano prochy z krematoriów. Zawierały one drobne fragmenty kości, które nie zostały spalone ze względu na zastosowany proces oraz pośpiech w działaniu. Te drobne mikrofragmenty kości podlegają już od ponad 60 lat demineralizacji. Jej konsekwencją są zdecydowanie wyższe zawartości badanych związków (ryc. 20). Jednak w badanych masowych grobach koncentracje $Ca(H_2PO_4)_2$ są bardziej zróżnicowane niż Ca_3P_2 . Na kolejnych pozycjach w tym rankingu, za Oświęcimiem, znalazły się: grób z II wojny w Dukli oraz porównawcze miejsce z Baczkowa. Zawartości ortofosforanu wapniowego są w tych grobach 4 razy mniejsze od porównywalnych koncentracji w Oświęcimiu – 160 ppm.

W przypadku tych związków wyższe wartości koncentracji dotyczą grobów z II wojny. Wyjątek stanowi grób z I wojny w Nowym Żmigrodzie oraz masowy grób w Dukli z I wojny, sąsiad pochówku z II wojny światowej (fot. 3). W grupie grobów z I wojny z małą zawartością ortofosforanu znalazł się także pochówek prochów z II wojny w Pustkowie. Prochy te przykryto wypukłym nasypem. Próbę w tym przypadku pobierano z sąsiedztwa nasypu, w którym głębiej składano prochy po czyszczeniu pieca położonego w pobliżu. Zapewne piaszczyste podłoże, z którego wykonano nasyp, zostało pobrane z innego miejsca. Forma wypukła umożliwia spływ wody opadowej, która w związku z tym nie gromadzi się w nasypie. Ponadto grób położony jest na lokalnym spłaszczeniu formy wypukłej. W miejscu tym nie obserwuje się wysokiego poziomu wody gruntowej. W grupie grobów z I wojny znalazły się także cmentarze: żydowski położony na gliniastym stoku w Lesku, parafialny zlokalizowany na wyższym spłaszczeniu w podłożu piaszczystym w Niedzieliskach oraz masowy grób żołnierzy radzieckich z II wojny założony w terenie piaszczystym, w lesie, przy głębokim na kilka metrów wkopie drogowym w Pustkowie (fot. 13). Większość grobów o małej zawartości tych związków położona jest w podłożu piaszczystym.

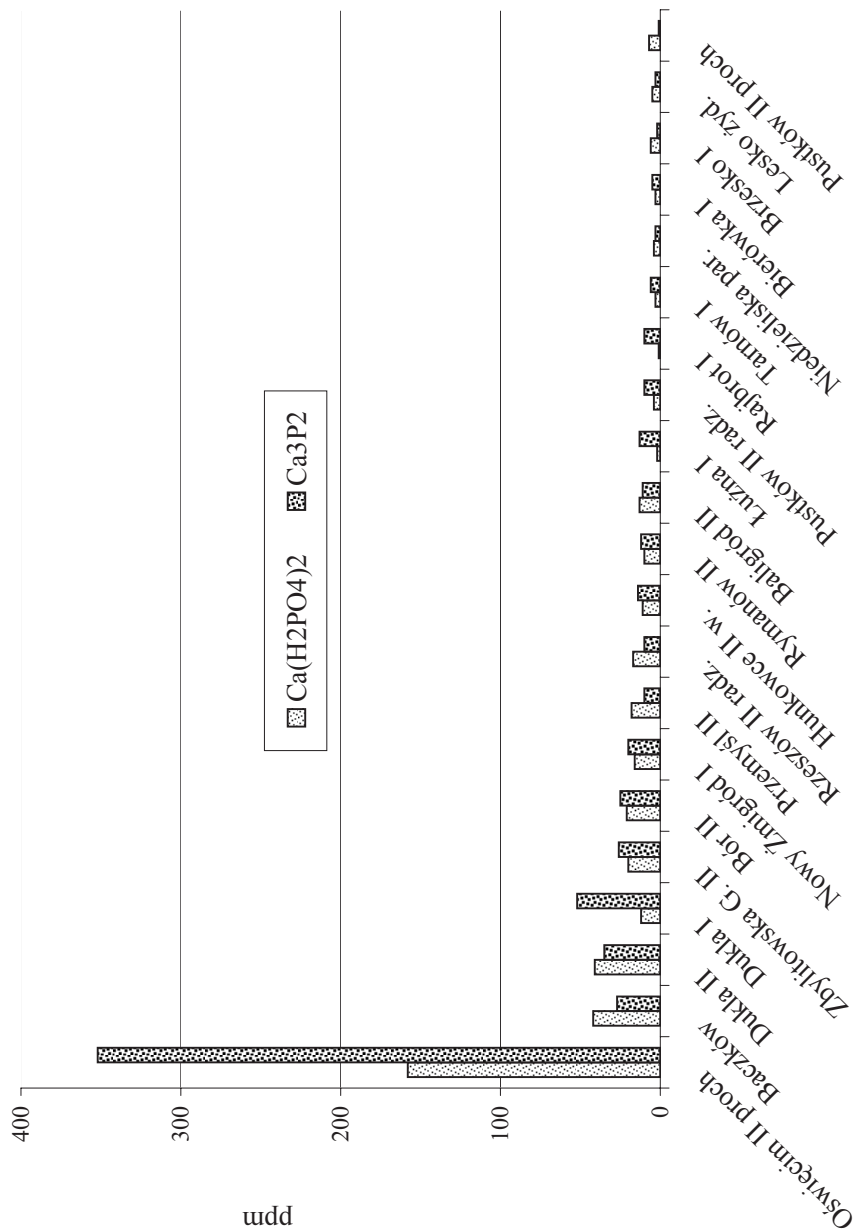
Biorąc pod uwagę wszystkie badane groby i związki chemiczne, przeprowadzono za pomocą programu Statistica 5.1 grupowanie tych grobów ze względu na zawartość wybranych związków chemicznych (ryc. 21).

W grupowaniu tym wykorzystano metodę Warda i euklidesowe odległości wiązań. Pozwala ona wyróżnić 4 grupy grobów o zbliżonych koncentracjach badanych związków. Zdecydowanie w tym grupowaniu wyróżnia się pojedynczy przypadek Oświęcimia (ryc. 22).

Prawie $\frac{3}{4}$ całkowitej zawartości badanych związków dotyczy związków wapnia z fosforem [Ca_3P_2 , $Ca(H_2PO_4)_2$]. Natomiast siarczki stanowią zaledwie 6% łącznej zawartości. Podobny udział siarczków wykazuje także II grupa grobów,



Ryc. 19. Zawartość Ca₃P₂ w podłożu ponad pochówkiem, w 21 wybranych masowych grobach



Ryc. 20. Zawartości wybranych związków wapnia z fosforem, w podłożu ponad pochówkiem, w wybranych masowych grobach z I i II wojny światowej

w której znalazły się groby z I i II wojny światowej z Dukli oraz porównawcze miejsce z Baczkowa. W grupie tej dominujące związki w Oświęcimiu stanowią zaledwie 40%–50% całkowitej zawartości. W związku z tym większy udział przypada na fosforki, tj. 40%–50% (ryc. 23).

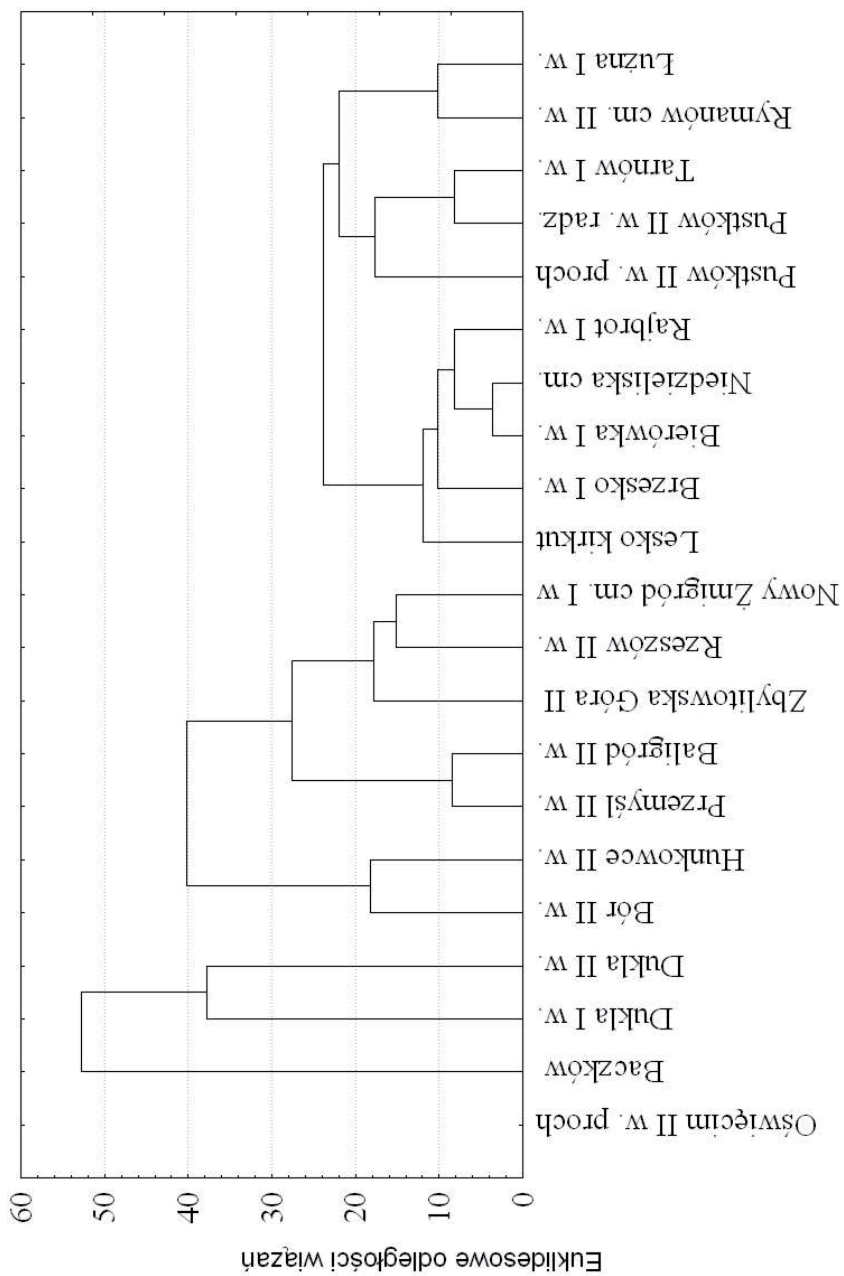
Znacznie liczniejsza jest III grupa grobów z II wojny światowej. W próbkach z grobów tej grupy udział siarczków rośnie do około 20%. Natomiast podobne udziały mają fosforki i związki wapnia z fosforem, np. w: Borze, Hunkowcach, Przemyślu, Baligrodzie, Zbylitowskiej Górze, Rzeszowie oraz Nowym Żmigrodzie. W poszczególnych przypadkach przeważają nieznacznie jedno lub drugie związki (ryc. 24).

W IV grupie dominują groby z I wojny światowej. W tej najliczniejszej grupie znalazły się również: nieczynny od II wojny cmentarz żydowski w Lesku (fot. 36), cmentarz parafialny w Niedzieliskach oraz groby z II wojny z Pustkowa i jeden z Rymanowa. Pochówek w Rymanowie jest małych rozmiarów, ale leży w dolnej części stoku cmentarza parafialnego. Grupa ta jest najbardziej zróżnicowana. W grobach w Rymanowie, Rajbrocie, Bierówce i Niedzieliskach udział siarczków jest nieduży, od 3% do 15%, natomiast zdecydowanie dominują w tej grupie fosforki z dużym udziałem Ca_3P_2 , nawet do 52% w Rajbrocie (ryc. 25).

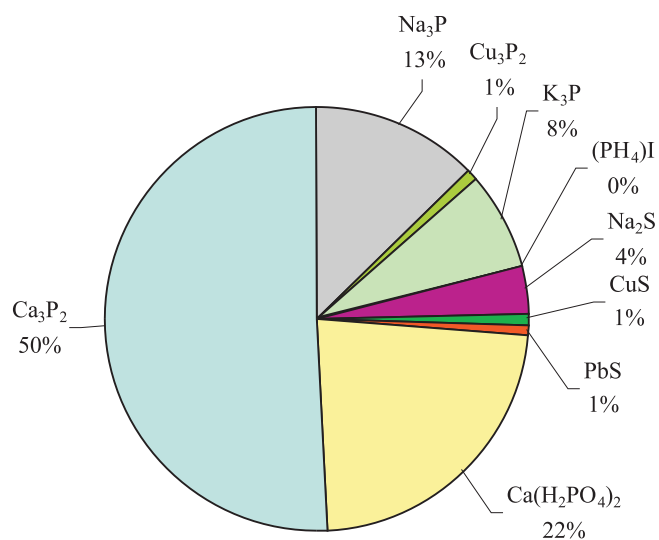
W IV grupie jest stosunkowo mało ortofosforanów $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, od 6% do 15% przy dużym udziale fosforków, nawet do 74% w grobach w Łuźnej (fot. 37). Podobnie przedstawiają się relacje pomiędzy tymi związkami w Tarnowie i w obu grobach w Pustkowie. Natomiast w grobach w Lesku i Brzesku występuje relatywnie nieco więcej siarczków, od 23% do 34%. Dużo w tych miejscach jest także fosforków, przy nieco mniejszym udziale, od 3% do 9% Ca_3P_2 .

Badania dotyczące zawartości wybranych związków chemicznych w 21 miejscach wyraźnie wyróżniają groby ze względu na: sposób pochówku, np. w Oświęcimiu, okres ich utworzenia z I lub II wojny oraz wzajemne położenie, np. w Dukli, Nowym Żmigrodzie i Rymanowie. W nieco mniejszym stopniu skład chemiczny podłoża zależy od dobrego odwodnienia, np. w Pustkowie, Niedzieliskach, Lesku i Łuźnej lub nieodpowiedniego odwodnienia grobu, np. w Zbylitowskiej Górze i porównawczego miejsca w Baczkowie.

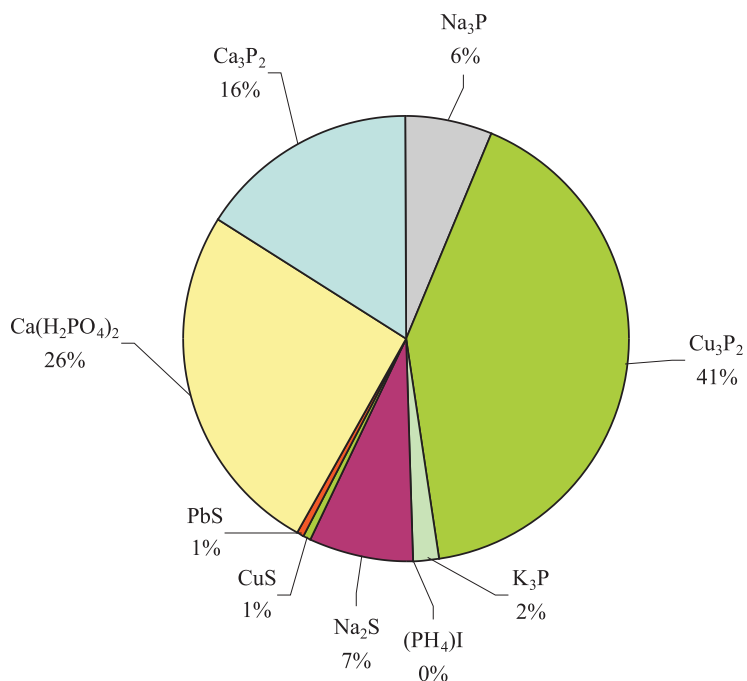
Duże groby z okresu II wojny światowej zawierają bardzo mało siarczków przy dużym udziale fosforków i wyróżniającym się udziale ortofosforanu, np. w Oświęcimiu, Dukli oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie. W pozostałych grobach z okresu II wojny jest również znaczny udział ortofosforanu, np. 34% w Przemyślu oraz relatywnie duży udział siarczków od 21% do 23% w Borze. Największe zróżnicowanie dotyczy grupy grobów z I wojny. Generalnie z tego okresu stosunkowo małe są udziały ortofosforanu, np. w Rajbrocie, Tarnowie, Pustkowie czy Łuźnej lub w nielicznych przypadkach nieco wyższe, od 21% do 25%, np. w Bierówce i Niedzieliskach. W obu tych badanych miejscach jest zdecydowanie mało siarczków, od 3% do 8%. Badania w Niedzieliskach prowadzono na niewielkim współczesnym cmentarzu, który leży na wyższym piaszczystym spłaszczeniu. Poziom wody gruntowej zalega przeważnie na głębokości około 2–3 m. Nie jest jednak możliwe jego zalanie, podobnie zresztą, jak i niewielkiego pochówku żołnierzy z I wojny w Bierówce. Te dwa groby różnią się przede wszystkim: okresem powstania i funkcjonowania, innym sposobem pochówku oraz położone są w różnych środowiskach. Natomiast łączy je dobre odwodnienie.



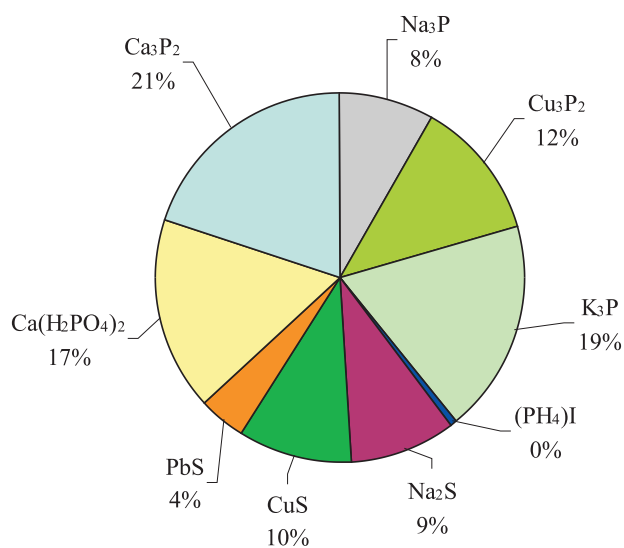
Ryc. 21. Grupowanie masowych grobów ze względu na wybrane związki chemiczne przeprowadzone metodą Warda, przy zastosowaniu odległości euklidesowych (cyfra rzymska oznacza I lub II wojnę światową, cm. – cmentarz, żydowski – cmentarz czynny do II wojny światowej)



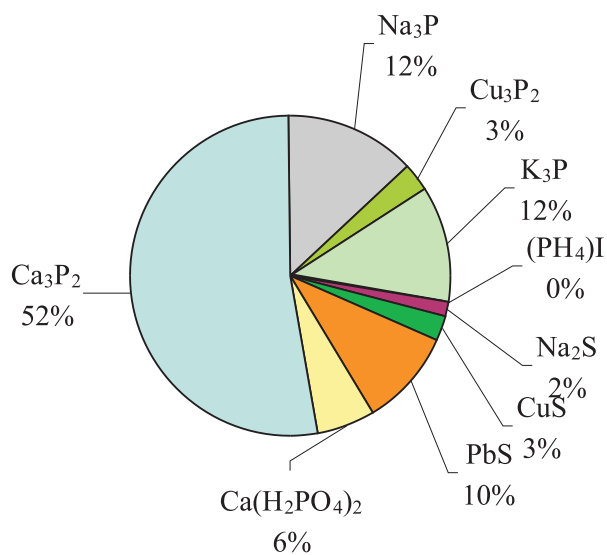
Ryc. 22. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w miejscu, gdzie wysypywano prochy po spaleniu w krematoriach w Oświęcimiu



Ryc. 23. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu porównawczego miejsca w Baczkowie, w Puszczy Niepołomickiej



Ryc. 24. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w masowym grobie z II wojny światowej, położonym w miejscowości Bór koło Rzeszowa



Ryc. 25. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w masowym grobie z I wojny światowej, zlokalizowanym w Rajbrocie

8. Badania mineralogiczno-petrograficzne w profilach pionowych w wybranych masowych grobach

Badania dotyczące występowania związków fosforu, współwystępowania związków żelaza oraz minerałów ilastych w otoczeniu 9 wybranych masowych grobów wykazały szereg prawidłowości.

Związki żelaza, które kolmatują na ziarnach piasku (głównie kwarcu i skale- ni), zawierają antropogeniczne związki, przykładowo fosforany wapnia, w towa- rzystwie węglanów wapnia, np. w Dukli, Bochni, Niepołomicach oraz w Nowym Sączu. Piaski te sprzyjały utlenianiu substancji organicznej, tworzeniu się różnych kwasów organicznych, w tym karboksylowych, tłuszczowych, sulfonowych, ami- nokwasów oraz spadkowi pH. W rezultacie procesy te prowadziły do maceracji, czyli rozpuszczania hydroksyapatytu kostnego. Potwierdza to obecność P w osa- dach pochówku (Pawlikowski 1993, 1995). Obecność dużej ilości węglanu wapnia może ograniczyć proces maceracji kości, szczególnie w środowisku skał węglano- wych. Jego obecność umożliwia wtórną mineralizację (Pawlikowski, Niedźwiedzki 2002). Najczęściej jednak w badanych środowiskach występuje zakwaszenie w sąsiedztwie kości, spowodowane obecnością kwasów, węglowego i organicz- nych, w tym metanowego. Utlenianie kolagenu kostnego prowadzi do powstania CO_2 , który z wodą tworzy podwyższoną ilość dysocjowanego kwasu węglowego H_2CO_3 . Procesy te powodują lokalne zakwaszenie środowiska i spadek wartości pH. W tych sprzyjających warunkach (obecność wody, pH poniżej 6,6) zarówno P, jak i Ca są stopniowo wyprowadzane poza obręb pochówku w postaci jonów CO_3^{2-} i PO_4^{3-} . Część tych związków w pierwszym etapie, opuszczając beleczki kost- ne, krystalizuje się w brzeżnej części przeobrażanej kości jako węglany i fosforany, a przede wszystkim fosforan wapnia (Pawlikowski 2002).

Sorbowany P występuje w postaci słabokrystalicznych fosforanów wapnia w Nowym Sączu oraz bezpostaciowych w Niepołomicach. Sorpcja antropogenicz- nego P dokonywała się przez dobrze wykształcone tleno-wodorotlenki Fe i minerały ilaste, które tworzą obwódki na ziarnach różnych minerałów, np. w Niepołomicach i Rajbrocie. W wyniku tych procesów powstają nowe minerały. Podczas formo- wania orsztynu w minerałach takich, jak np. lepidokrokit oraz getyt, część grup $(\text{OOH})^{3-}$ zostaje podstawiona przez grupy PO_4^{3-} . Przeprowadzone badania wyka- zały występowanie bezpostaciowych i słabokrystalicznych związków na bazie jonu o wzorze FePO_4 . Sorpcja P następowała najczęściej przez uwodnione wtórne tlen- ki i wodorotlenki żelaza. Mikroskopowe obserwacje wskazują na formę izotropo- wą niekrystalicznych i uwodnionych substancji zawierających jon PO_4^{3-} . W pobliżu

znacznie starszych pochówków niż badane obserwuje się wiele wtórnych minerałów. Są to najczęściej: kalcyt, fluoryt, hydrofyllit, portlandyt, dahlit, francolit, wiwianit i mitridatyt (Rogers, Brown 1979; Williams 1989; Weiner i inni 1993).

Fosforiki, jeden z produktów dekompozycji, w wyniku zalania wodą ulegają hydrolizie, podczas której uwalnia się P. Proces ten prowadzi również do redukcji Fe^{3+} do Fe^{2+} . W tych warunkach następuje także przemiana postaci krystalicznej minerałów zawierających Al i Fe do postaci amorficznej. Taka forma minerałów sprzyja wyższym zdolnościom sorpcyjnym. Większa ilość związków żelaza i minerałów ilastych w osadach piaszczystych sprzyja zachowaniu większej ilości produktów dekompozycji in situ, np. w Brzesku i Zbylitowskiej Górze. Te istotne w procesie dekompozycji cechy osadów były uważnie obserwowane w badanych środowiskach (tab. 69).

Tabela 69. Charakterystyczne cechy osadów ze szczególnym uwzględnieniem ich petrografii w miejscach, gdzie zlokalizowane są pochówki wybranych masowych grobów

Lokalizacja grobu, okres pochówku	Petrografia osadów miejsca pochówku	Charakterystyczne cechy osadu
Niepołomice, z II wojny	materiał psamitowo-aleurytowy o zmiennej domieszce minerałów ilastych	ostrokrawędzisty i słabo obtoczony kwarc, okruchy piaskowców karpackich, minerały ilaste, poziom orsztynowy
Zbylitowska Góra, z II wojny	w poziomie pochówku zawodniony żwirek, osad nad grobem aleurytowo-pelitowy, dominuje frakcja pylasta, proporcje tych frakcji są zmienne	drobnoziarnisty materiał detrytyczny z minerałami ilastymi, ziarna kwarcu pokryte minerałami ilastymi i związkami Fe, okruchy kości gąbczastej
Brzesko, z I wojny	osad porowaty, słabo scementowany, psamitowo-aleurytowy o zmiennej domieszce minerałów ilastych	duża zmienność proporcji pomiędzy minerałami ilastymi i materiałem detrytycznym
Bochnia, z I wojny	osad aleurytowo-pelitowy, duży udział frakcji pelitowej, głównie z grupy illitu	glinokrzemiany, okruchy wapienia w mułkowo-gliniastym osadzie, osad mułkowo-piaszczysty z roślinną materią organiczną
Błonie, z I wojny	osad aleurytowo-psamitowo-pelitowy o zmiennych proporcjach frakcji, brak poziomu orsztynowego, kwarc i okruchy skał zmieszane z minerałami ilastymi	zmienna wielkość ziaren kwarcu o zróżnicowanym stopniu obtoczenia, ziarna większe słabiej obtoczone, wszystkie ziarna są pokryte minerałami ilastymi
Rajbrot, z I wojny	luźny materiał detrytyczny psamitowo-aleurytowy ze zmienną domieszką frakcji psefitowej, w poziomie grobu dominuje frakcja psamitowa	osady luźne lub słabo scementowane minerałami ilastymi z wtórnymi wytrąceniami związków żelaza, na ziarnach kwarcu ilaste otoczki, węglany, materiał z wietrzącego piaskowca

Dukla, z II wojny	osad aleurytowo-pelitowy (illit) ze strefami objętymi mineralizacją związkami żelaza	strefy wzbogacone w węglan wapnia, osady gliniaste
Barwinek, z II wojny	osad aleurytowo-pelitowy o zmiennych proporcjach obu frakcji	gliniaste, smugi substancji organicznej, ziarna kwarcu wśród minerałów ilastych
Nowy Sącz, z II wojny	osad aleurytowy, różnego rodzaju mułowce, zmienna ilość składników okruchowych i minerałów ilastych	smugi materii roślinnej, szczątki tkanek ludzkich, ziarna kwarcu w większości dobrze obtoczone, poziomy o większym zapiaszczeniu

Na podstawie tych badań wykazano zależność obecności związków żelaza, minerałów ilastych oraz antropogenicznego P od wykształcenia osadów (tab. 70). Potwierdzono między innymi, że:

- więcej związków żelaza wzbogaconych w antropogeniczny P występuje w bardziej zapiaszczonych partiach osadu, np. w Zbylitowskiej Górze (fot. 38),
- w glinach związki żelaza występują najczęściej na granicy warstw o różnej przepuszczalności, w pustkach po korzeniach i w drobnych spękaniach, jak np. w Barwinku,
- w osadach z dużym udziałem minerałów ilastych występują śladowe ilości P.

Istotnym powodem jest zapewne ograniczone krążenie wody w tych osadach, np. w Bochni, Dukli i Barwinku.

Stwierdzone związki żelaza są:

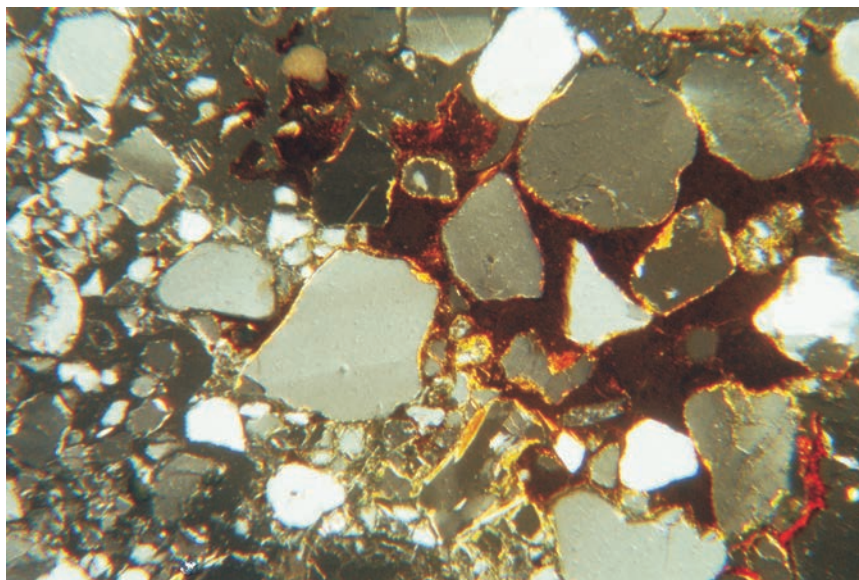
- przeważnie słabo uporządkowane strukturalnie i słabo wtórnie utlenione, np. w Niepołomicach, Dukli, Błoniach i Zbylitowskiej Górze,
- tworzą mikrokonkrecje, np. w Rajbrocie,
- łatwo ulegają migracji wraz z przemieszczaniem wód gruntowych, np. w Niepołomicach.

Natomiast produkty rozkładu substancji organicznej w osadach związłych, słabo przepuszczalnych, ze znaczną domieszką minerałów ilastych pozostają przeważnie w miejscu ich depozycji, np. w Dukli i Barwinku (fot. 39, 40). Dekompozycja odbywa się wówczas w środowisku redukcyjnym. W miejscu pochówku następuje kondensacja węgla i jego pochodnych w związku z odprowadzaniem tlenu z substancji organicznej. Powstałe w tym procesie szlamy organiczne wykazują podwyższone zawartości siarki, azotu, itd. Taki rodzaj dekompozycji prowadzi do uwęglenia i konserwacji tkanek.

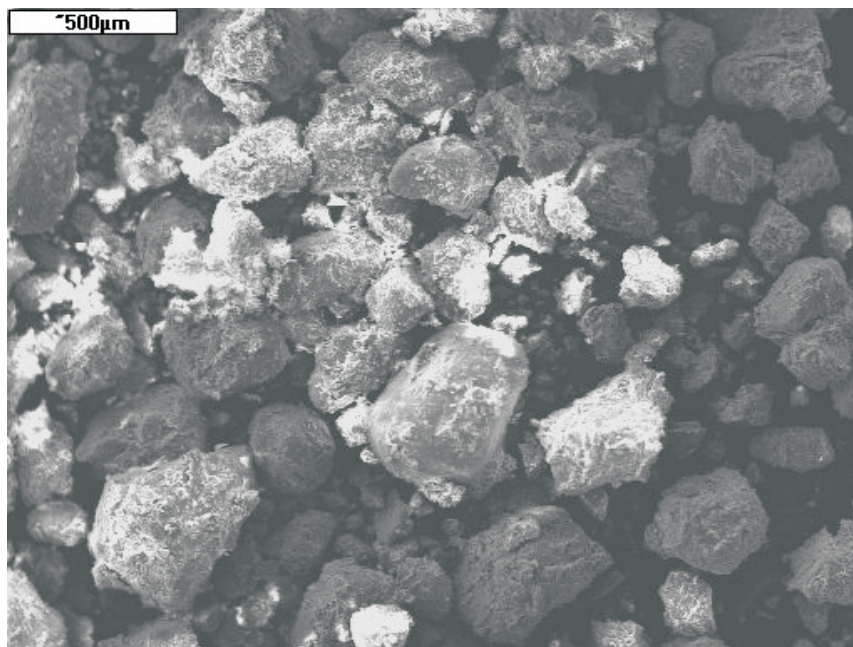
Tabela 70. Formy występowania minerałów ilastych, związków żelaza oraz fosforu w osadach, w których zlokalizowano wybrane masowe groby

Lokalizacja grobu, okres pochówku	Formy występowania		
	związki żelaza	minerały ilaste	związki fosforu
1	2	3	4
Niepołomice, z II wojny	poziom zażelazienia nad pochówkiem, słaba mineralizacja osadu wtórnie utlenionymi związkami Fe, na ziarnach kwarcu i okruców skał w poziomie grobu występują obwódki z mineralizacją tleno-wodorotlenkami Fe, związki te są słabo uporządkowane strukturalnie fot. 42	ziarna kwarcu są miejscami oblepione minerałami ilastymi	związki żelaza, kolmatujące na powierzchni niektórych ziaren, zawierają bezpostaciowe fosforany i węglan wapnia (ryc. 26), wiele ziaren kwarcu i skaleni (w tym pokrytych związkami Fe i minerałami ilastymi) nie zawiera P
Zbylitowska Góra, z II wojny	osad jest słabo zmineralizowany tleno-wodorotlenkami Fe, tlenki Fe są słabo uporządkowane strukturalnie, w tle ilastym osadu sporadycznie występują związki Mn	tło ilaste jest wzbogacone w Fe	w osadzie brakuje wtórnych wytrąceń antropogenicznego P, osad zawiera podwyższone ilości Zn
Brzesko, z I wojny	na fragmentach tkanek występuje wtórna mineralizacja związkami Fe, na ziarnach kwarcu występują minerały ilaste w towarzystwie związków Fe, Mn i P (ryc. 27, 28)	fragmenty tkanek są pokryte minerałami ilastymi (ryc. 29)	substancje ilaste są wzbogacone w P (ryc. 28)
Bochnia, z I wojny	powierzchnie kości są wtórnie zmineralizowane tleno-wodorotlenkami Fe, miejscami osad jest wzbogacony w węglan wapnia	duży udział minerałów ilastych z grupy illitu	fosfor antropogeniczny na poziomie tła
Błonie, z I wojny	tylko frakcja pelitowa jest wzbogacona w związki Fe, duże i małe ziarna kwarcu są pokryte wtórnymi, słabo uporządkowanymi strukturalnie, tlenkami Fe, ponad pochówkiem występują cienkie strefy mineralizacji wtórnymi tleno-wodorotlenkami Fe, brak jest poziomu orsztynowego (fot. 44)	ziarna osadu są pokryte minerałami ilastymi (ryc. 30)	osad w poziomie pochówku zawiera śladowe i zmienne ilości P (ryc. 31)
Rajbrot, z I wojny	osady są luźne lub słabo scementowane wtórnymi związkami Fe (od kilku do kilkunastu procent), w poziomie grobu ciemnobrązowe lub czerwono-brązowe mikro konkretne Fe	osady są słabo scementowane minerałami ilastymi, na ziarnach kwarcu są otoczki ilasto-żelaziste oraz agregatowe skupienia (ryc. 32)	w ilastych obwódkach na wszystkich ziarnach minerałów (w tym kwarcu) występuje domieszka śladowych ilości antropogenicznego P (0,1 %)

1	2	3	4
Dukla, z II wojny	il miejscami jest mocniej wzbogacony w związki Fe oraz w węglan wapnia, tlenki Fe są słabo uporządkowane strukturalnie, przestrzenie między ziarnami materiału detrytycznego są miejscami wzbogacone we wtórne związki Fe	znaczny udział minerałów ilastych z grupy illitu	fosfor antropogeniczny na poziomie tła
Barwinek, z II wojny	na granicy warstw o różnej przepuszczalności występują w pustkach i drobnych spękaniach niewielkie zawartości wtórnych tlenków i uwodnionych wodorotlenków Fe (ryc. 33)	osad gliniasty zawiera koncentracje z wtórnie utlenionymi związkami Fe (fot. 43)	na smugach substancji organicznej oraz na granicy osadu mulkowego i ilitu występuje P wraz z wytrąconymi związkami Fe (ryc. 34), żelazisto-organiczne okruszki są wzbogacone w P
Nowy Sącz, z II wojny	na większych wytrąceniach substancji fosforanowej są śladowe ilości Fe oraz większe Ca, w partiach bardziej piaszczystych jest więcej związków Fe wzbogaconych w antropogeniczny P	zmienna ilość minerałów ilastych	na ziarnach kwarcu są ślady wtórnych wytrąceń słabokrystalicznych substancji fosforanowych (ryc. 35)



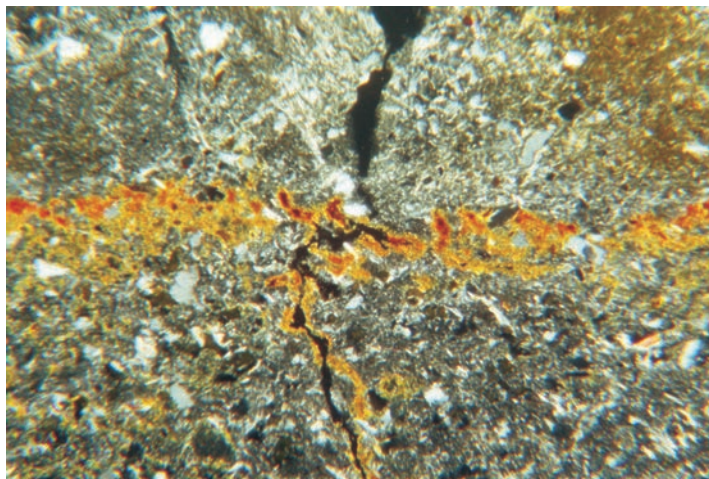
Ryc. 26. Strefa cementacji piasku związkami żelaza wzbogaconymi w fosfor, stwierdzona na głębokości 1,22 m – 1,26 m w pobliżu pochówku z II wojny w Niepołomicach. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, polaroidy X, powiększenie 120 x



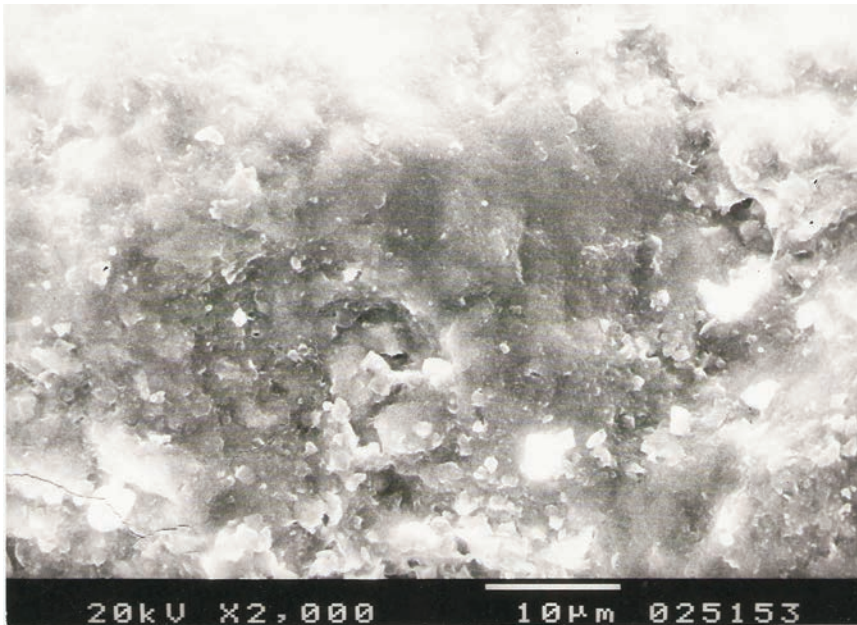
Ryc. 32. Ziarna kwarcu i agregatowe skupienia minerałów ilastych, stwierdzone w żółtych piaskach z drobnymi okruchami piaskowców, pobrane w Rajbrocie pod pochówkiem z I wojny, na głębokości 2,16 m – 2,20 m, w dniu 10.05.06 r., SEM, powiększenie według skali



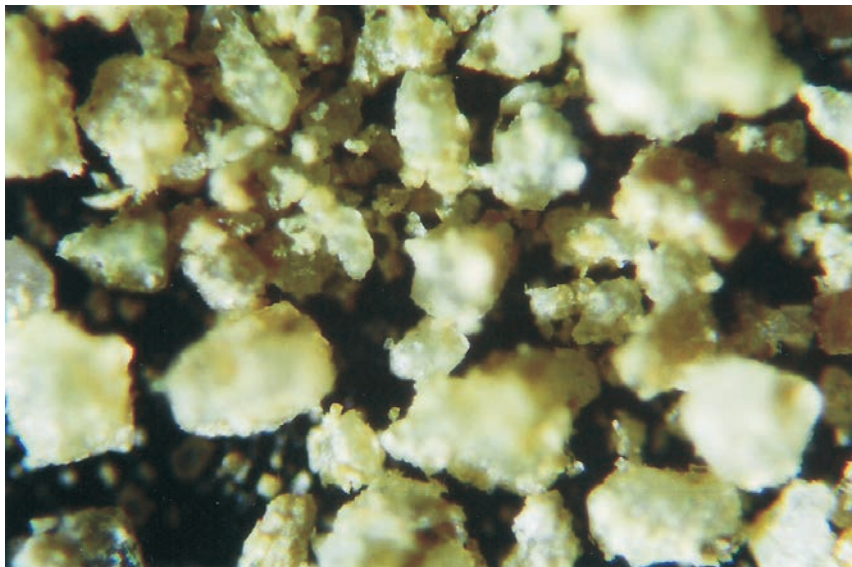
Ryc. 33. Przekrój przez mikropustkę w ilach beżowych z wytrąceniami łu siwego, pobraną na głębokości od 1,30 m – 1,34 m z osadu, zapelnioną substancjami wtórnymi w pobliżu masowego grobu z II wojny w Barwinku. Zdjęcie z mikroskopu skaningowego, powiększenie według skali



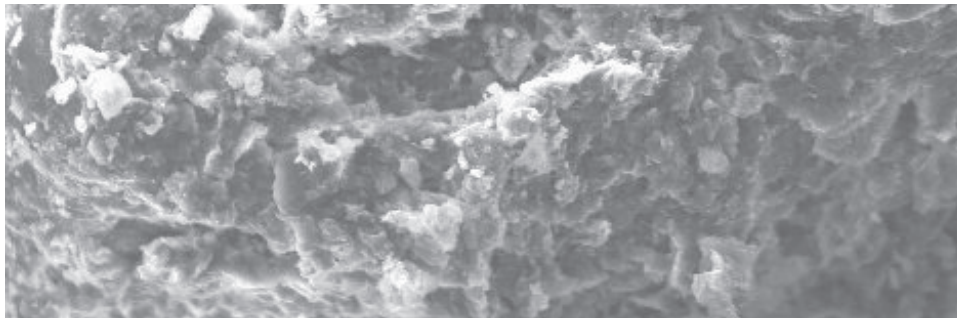
Ryc. 34. Strefa wytrąceń związków żelaza z fosforem na granicy osadu mułkowego (wyższa część fotografii) i łu (niższa część fotografii) w próbce pobranej z głębokości 1,3 m – 1,34 m w pobliżu masowego grobu z II wojny w Barwinku. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 120 x



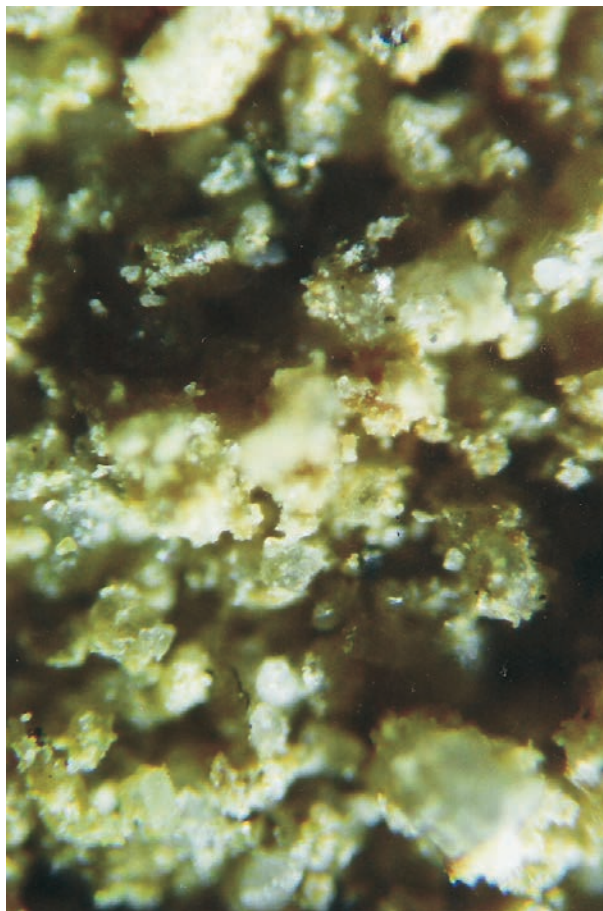
Ryc. 35. Ślady wytrąceń wtórnych słabokrystalicznych substancji fosforanowej na powierzchni ziarna kwarcu, stwierdzone w ciemnej ilastej madzie pod pochówkiem na głębokości od 1,26 m – 1,3 m w masowym grobie z okresu II wojny w Nowym Sączu. Powiększenie na mikroskopie skaningowym, według skali



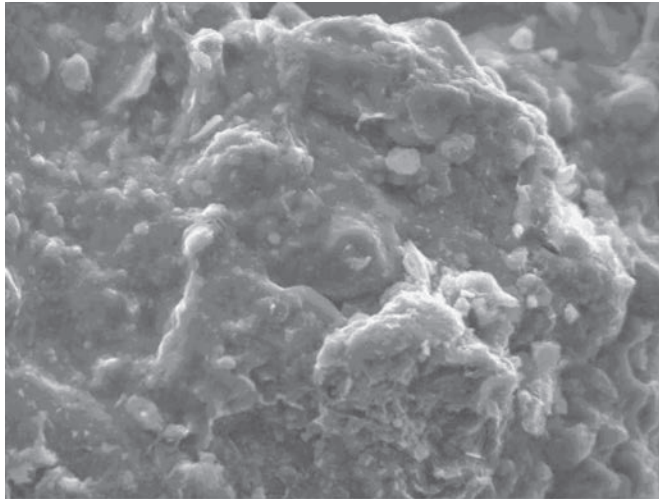
Ryc. 30. Grubsza frakcja ziarnowa reprezentowana głównie przez ostrokrawędzisty kwarc pokryty minerałami ilastymi pobrana za pomocą świdra ręcznego z głębokości 1,6 m na poziomie masowego grobu z I wojny w Błoniu. Mikroskop polaryzacyjny, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x



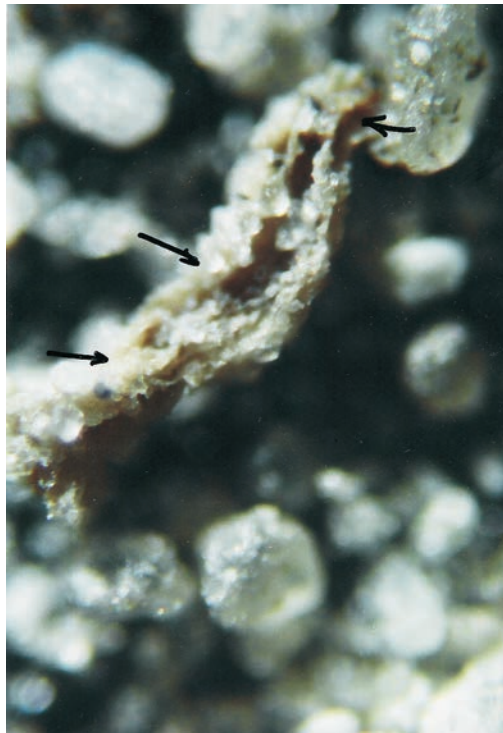
Ryc. 32. Ziarna kwarcu, stwierdzone w próbce pobranej na głębokości 1,6 m na terenie masowego grobu z I wojny w Błoniach, pokryte są związkami żelaza, które zawierają śladowe ilości fosforu. SEM, powiększenie według skali



Ryc. 33. Jasne ziarna kwarcu z minerałami ilastymi w towarzystwie śladowych ilości związków Fe – Mn, pobrane z głębokości 0,5 m ponad pochówkiem z okresu I wojny w Brzesku. Mikroskop polaryzacyjny, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x.



Ryc. 28. Agregaty kwarcu i minerałów ilastych, stwierdzone w próbkach pobranych poniżej poziomu grobu z I wojny z głębokości 1,9 m w Brzesku, zawierają śladowe ilości związków żelaza i fosforu. SEM, powiększenie, jak na ryc. 31



Ryc. 29. Fragment tkanki pokryty minerałami ilastymi i drobnymi ziarnami kwarcu (strzałki), pobrany z odwiertu z głębokości 1,9 m, z masowego grobu z I wojny w Brzesku. Zdjęcie wykonane w mikroskopie polaryzacyjnym, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x

Uzyskane wyniki badań wskazują na istotny wpływ podłoża na mechanizm wiązania P. Uwzględniając również inne istotne cechy środowiska (tab. 5, 69) stwierdzono następujące prawidłowości (tab. 70).

Osady piaszczyste, słabo scementowane minerałami ilastymi, położone na wierzchowinach, podlegające sporadycznym wahaniom wód gruntowych, z ziarnami, wokół których występują otoczki ilasto-żelaziste, sprzyjają utrwalaniu produktów rozkładu i prowadzą do powstania agregatowych skupień związków dekompozycji. Prawie we wszystkich tych skupieniach znajdują się domieszki antropogenicznego P, np. w Rajbrocie i Brzesku.

W osadach piaszczystych, w których występują często wahania wody gruntowej, następuje szybka dekompozycja i wyprowadzanie produktów dekompozycji w postaci jonów poza grób, w tym Ca^{2+} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , OH^- , F^- i Cl^- . Tylko na powierzchni nielicznych ziaren kolmatują produkty dekompozycji, które są wzbogacone w bezpostaciowe fosforany. Lokalnie występujące minerały ilaste absorbują produkty rozkładu. Ponadto w miejscu pochówku, np. w Błoniach i Niepołomicach, zachowały się strzępki tkanek miękkich. Wzbogacone w substancje organiczne podłoże nie sprzyja takiej sorpcji, jak osady mineralne.

W osadach mułowcowych, z domieszką różnej wielkości ziaren, na większych wytrąceniach substancji fosforanowej występują śladowe wtórne wytrącenia związków żelaza oraz większe ilości Ca. Sporadyczne wahania zwierciadła wody gruntowej w poziomie pochówku ułatwiają krystalizację substancji fosforanowych, np. w Nowym Sączu.

W żwirkach aluwialnych z domieszką minerałów ilastych, położonych na zaburzonym przez osuwisko czole progu wysokiej terasy Dunajca w Zbylitowskiej Górze, występuje słaba mineralizacja związkami Fe, które są ponadto słabo uporządkowane strukturalnie. Świadczy to o dużej zmienności warunków w tym miejscu, szczególnie wodnych. Osady te nie zawierają także wtórnych wytrąceń antropogenicznego P. Natomiast większe koncentracje P stwierdzono w osadzie o słabej przepuszczalności, który znajdował się ponad pochówkiem w Zbylitowskiej Górze.

Osady z dużym udziałem minerałów ilastych z grupy illitu, położone na lokalnych spłaszczeniach oraz na stokach o niewielkim nachyleniu, są miejscami mocniej wzbogacone w uwodnione wtórne tlenki i wodorotlenki Fe, które absorbują antropogeniczny P. Związki te koncentrują się najczęściej na: smugach substancji organicznej, granicy osadów mułkowych i łu, powierzchniach kości oraz w pustkach po butwiejących korzeniach, w drobnych spękaniach oraz miejscami w przestrzeniach pomiędzy ziarnami materiału detrytycznego, np. w Bochni, Barwinku i w Dukli.

W poziomie pochówku obecne były również, trudne do bliższego poznania, różne tkanki roślinne (tab. 71), m.in.:

- fragmenty zmineralizowanych tkanek, np. w Niepołomicach,
- strzępki organiczne na ziarnach kwarcu, np. w Rajbrocie,
- zbutwiałe części korzeni, np. w Dukli,
- mikrostrzępki, np. w Brzesku,
- czarne fragmenty organiczne, np. w Bochni (ryc. 36).

Zapewne niewielka część materii organicznej została wymieszana z osadami podczas grzebania zwłok. Badane osady zawierały często żyłki lub smugi substan-

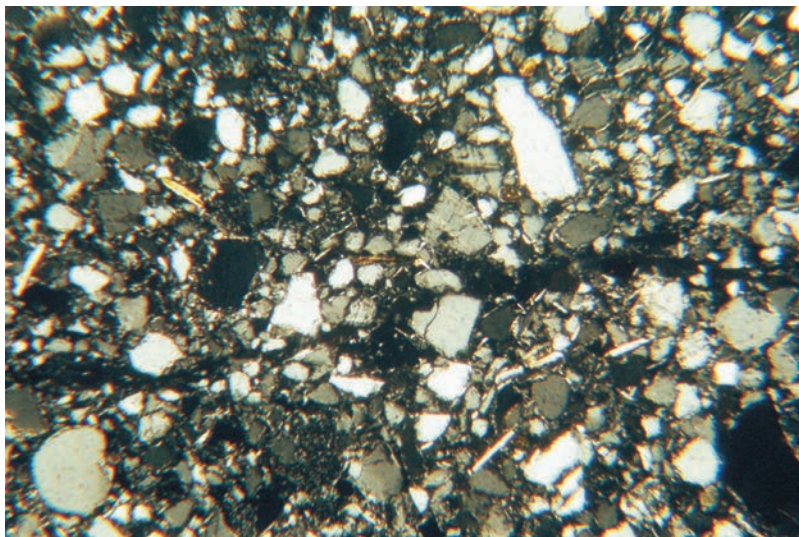
cji organicznej, np. w Barwinku i Bochni (ryc. 36). Dotyczy to także osadów aluwialnych, w których stwierdzono cienką strefę wytrąceń substancji organicznej, np. w Nowym Sączu (ryc. 37).

Przeprowadzone badania mikroskopowe wskazują na istotne różnice w zachowaniu tkanek ludzkich w osadach pomiędzy pochówkami z okresu I i II wojny światowej. W osadach z pochówków z I wojny stwierdzono mikrofragmenty tkanek miękkich (od kilku do kilkunastu mikronów), które to szczątki okazały się mikroskopowo trudne do oznaczenia (ryc. 38). Natomiast tkanki kostne występowały w małych ilościach w postaci drobnych fragmentów kości o złym stopniu zachowania. Na ich powierzchniach zaobserwowano wtórną mineralizację tlenowodorotlenków żelaza (ryc. 39, 40). Te małe fragmenty kostne zostały wmyte do osadu otaczającego pochówek. Są one dowodem na migrację produktów dekompozycji poza grób. Znalezione w osadach pojedyncze fragmenty kości gąbczastej zostały wtórnie zmienione (ryc. 41). Część z nich była nawet zizotropizowana. Obserwowane pod mikroskopem fragmenty tkanek posiadały niejednorodny stopień zmineralizowania wtórnymi związkami żelaza, np. w Brzesku i Zbylitowskiej Górze (ryc. 42). W strukturze tych fragmentów kości widoczna była penetracja glinokrzemianów, które otaczają kości. Badania innych uczonych potwierdzają także obecność krzemianów i węglanów (Pawlikowski i inni 2007). W sąsiedztwie kości stwierdzają oni podwyższone ilości szeregu pierwiastków, np. Ca, P, Cl, Fe, K, S itp. (Pawlikowski 2002). W dalszej odległości od kości, w głąb osadu, wzrasta koncentracja także i innych pierwiastków, np. C, O, Si, Al, Br, Fe, Na, Mg itp.

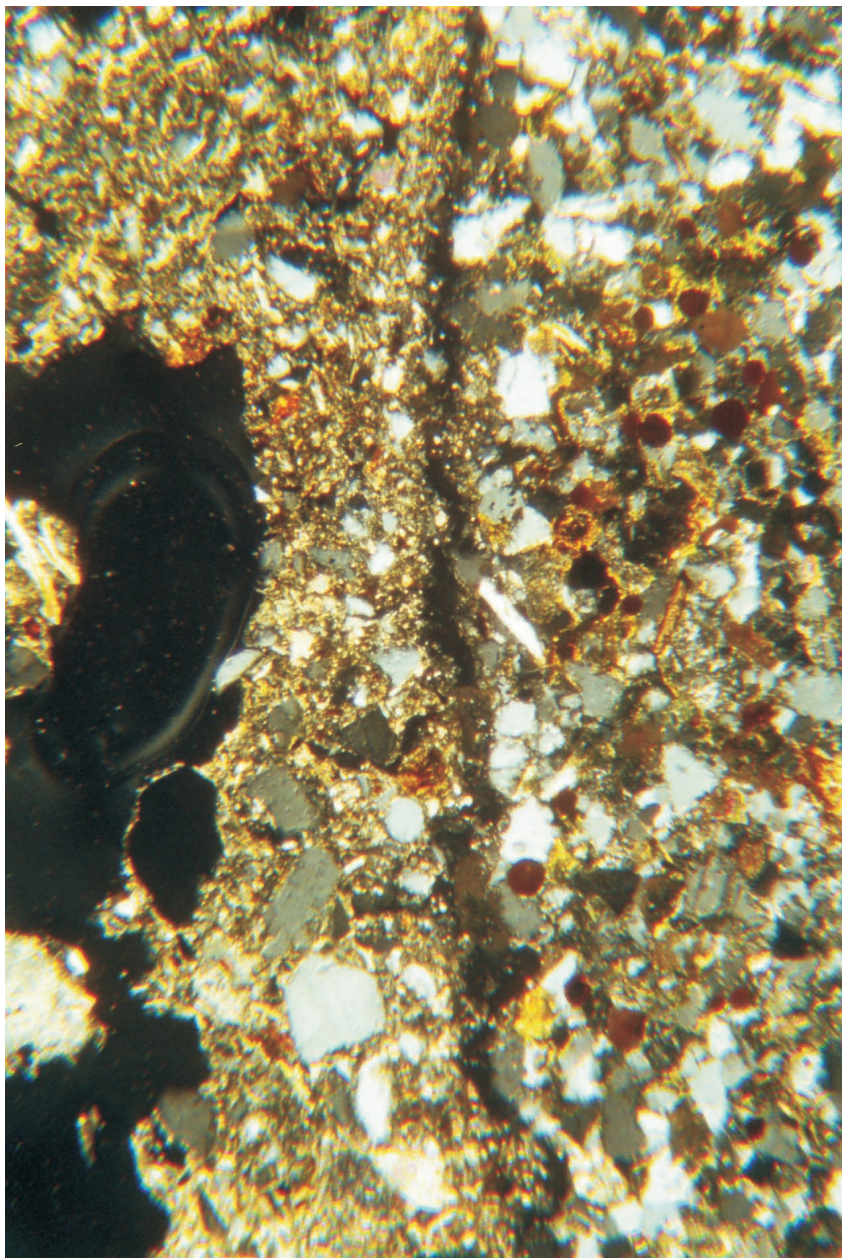
Tabela 71. Dominujące pierwiastki i stopień zachowania tkanek ludzkich oraz organicznych w osadach, w których zlokalizowane są pochówki w wybranych masowych grobach

Lokalizacja grobu, okres pochówku	Dominujące pierwiastki w osadach (z widm EDS)	Stopień zachowania	
		tkanek roślinnych	tkanek ludzkich
1	2	3	4
Niepołomice, z II wojny	Si, Ca, Fe, P, O, C, Al, K, Na, Mg, S, Ti, Au, Cl, Cr	fragmenty zmineralizowanych tkanek	sporadyczne strzępki, fragmenty kości korowej (ryc. 43), mikrofragmenty kości otoczone wtórnymi produktami przeobrażeń
Zbylitowska Góra, z II wojny	Si, Al, O, K, C, Fe, Ca, Mn, S, Mg, Na, Cl, P, Ti	nie stwierdzono	dobrze zachowane szczątki organiczne pochówku, fragmenty kości gąbczastej (ryc. 44), fragmenty tkanek miękkich o dużym stopniu przeobrażenia, tkanki częściowo zmineralizowane wtórnymi związkami Fe (ryc. 45)
Brzesko, z I wojny	Si, O, Al, C, P, Mg, Na, Ca, K, Fe (ryc. 46)	mikrostrzępki	fragmenty tkanek o zmiennym stopniu zmineralizowania wtórnymi związkami żelaza, nie stwierdzono mikrofragmentów kości (pH poniżej 7)

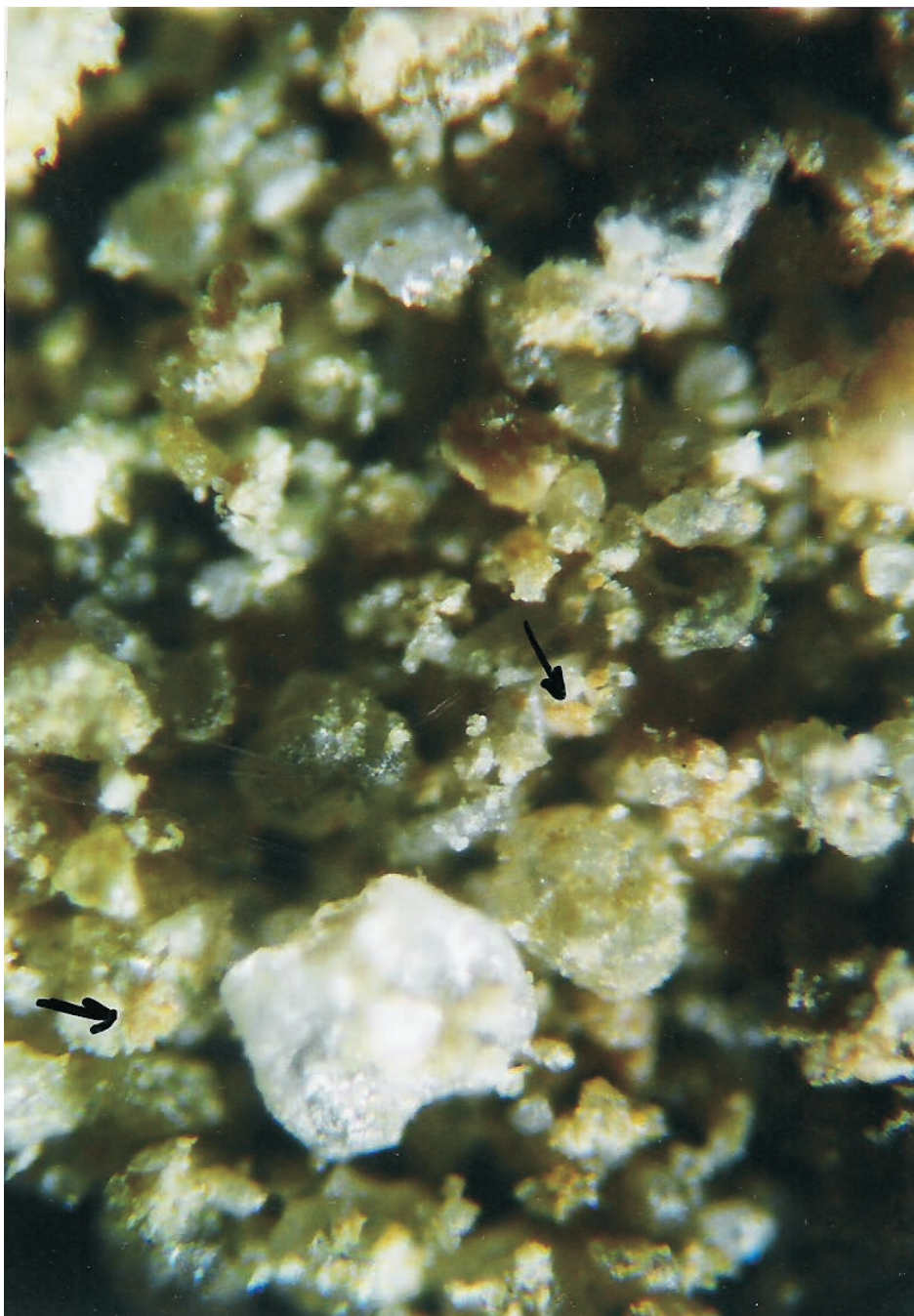
1	2	3	4
Bochnia, z I wojny	w osadzie: Si, O, Al., C, Ca, Na, K, Fe na powierzchni kości: O, Si, Ca, P, Al, Mg, Cl, K, S, Na, C osad selekcyonowany: Si, Ca, O, P, Al, Cl, K, Fe, Mg, C, S, Na	żyłka i czarny fragment materii (ryc. 36)	drobne fragmenty zizotropizowa- nej kości gąbczastej, penetracja glinokrzemianów w strukturę kości, wtórna mineralizacja powierzchni kości tleno-wodoro- tlenkami Fe (ryc. 40)
Błonie, z I wojny	C, O, Si, Fe, Al, Mg, K, Ca, Na, P (ryc. 47) ponad pochówkiem: Si, C, O, Fe, K, Al, Ca, Mg, Cl, S, Ti, P, Mn	nie stwierdzono	prawdopodobnie mikrofragmenty tkanek miękkich (od kilku do kilkunastu μm), szczątki nieozna- czalne mikroskopowo (ryc. 38)
Rajbrot, z I wojny	Si, Al, C, O, Fe, K, Ca, Mg, Na, Cl, S, P, Zn	strzępki organiczne na ziarnach kwarcu	małe ilości i zły stopień zachowa- nia kości, pojedyncze fragmenty zmienionej wtórnie kości gąbcza- stej (ryc. 41)
Dukła, z II wojny	Si, C, Al, O, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, P, Cl, Mn, Ti, Cr	zbutwiałe części korzeni	drobne fragmenty kości gąb- czastej, przestrzenie między beleczkami kostnymi wypełnione wtórnie osadem
Barwinek, z II wojny	Si, Fe, S, C, O, Al, Ca, Cl, P, F, Mg, Na, Ti, K, W (ryc. 48)	osad przerośnięty zmineralizowaną grzybnią (ryc. 49), smugi materii	nie stwierdzono w otoczeniu grobu
Nowy Sącz, z II wojny	Si, Ca, P, O, Mg, Na, Al, S, K, Fe	cienka strefa wytrą- ceń materii (ryc. 37)	fragmenty tkanek kostnych obję- tych początkową mineralizacją



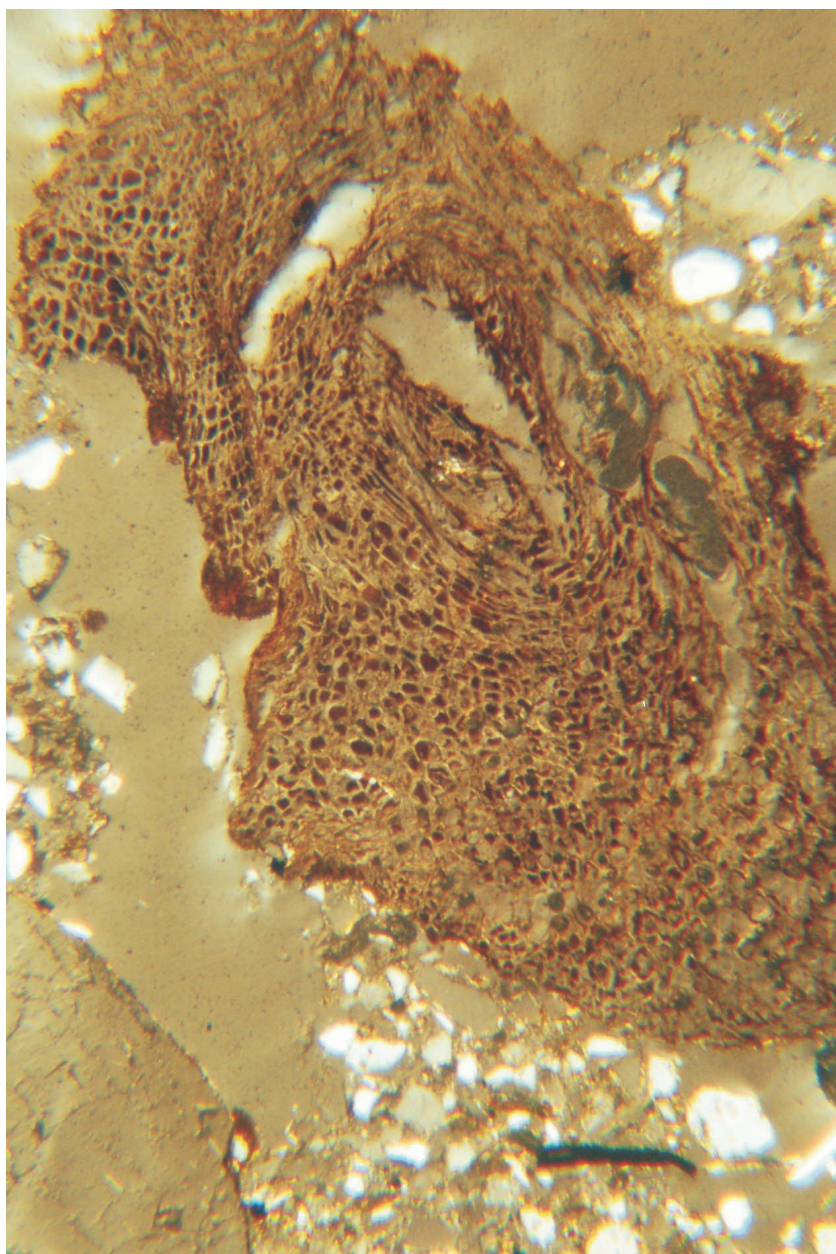
Ryc. 36. Osad mulkowo-piaszczysty z cieką czarną żyłką, zawierającą substancję organiczną, pobrany z głębokości 1,38 m – 1,42 m w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej masowego grobu z I wojny w Bochni. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 120 x



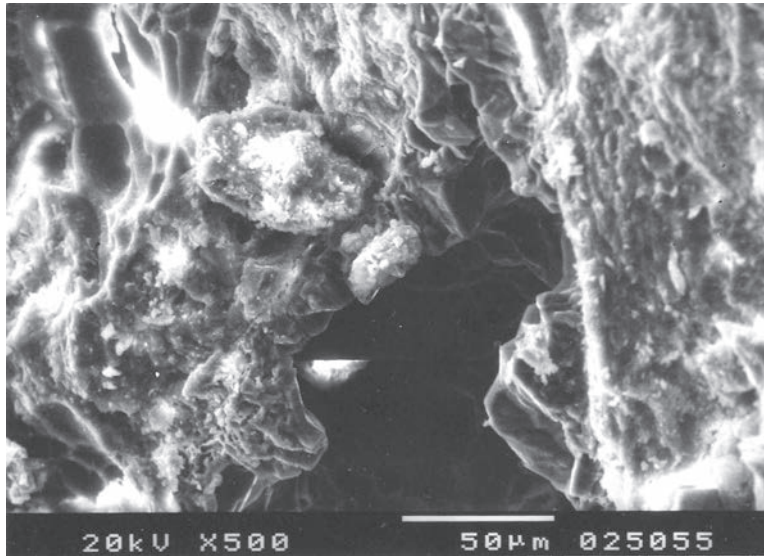
Ryc. 37. Cienka strefa wytrażeń substancji organicznej na kontakcie otoczaka mułowcowego i mułowca ilastego (strzałki) w próbce pobranej z ciemnej ilastej mady, z poziomu pochówku, z głębokości 1,26 m – 1,30 m w masowym grobie z II wojny światowej w Nowym Sączu



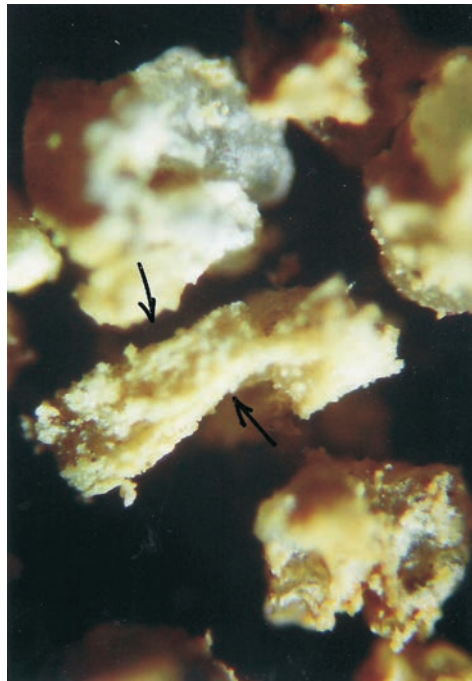
Ryc. 38. Mikrookruszki organiczne rozproszone wśród ziaren materiału detrytycznego (strzałki), pobrane z odwiertu na głębokości 1,6 m z masowego grobu z I wojny w Błoniach. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, polaroid, powiększenie 60 x



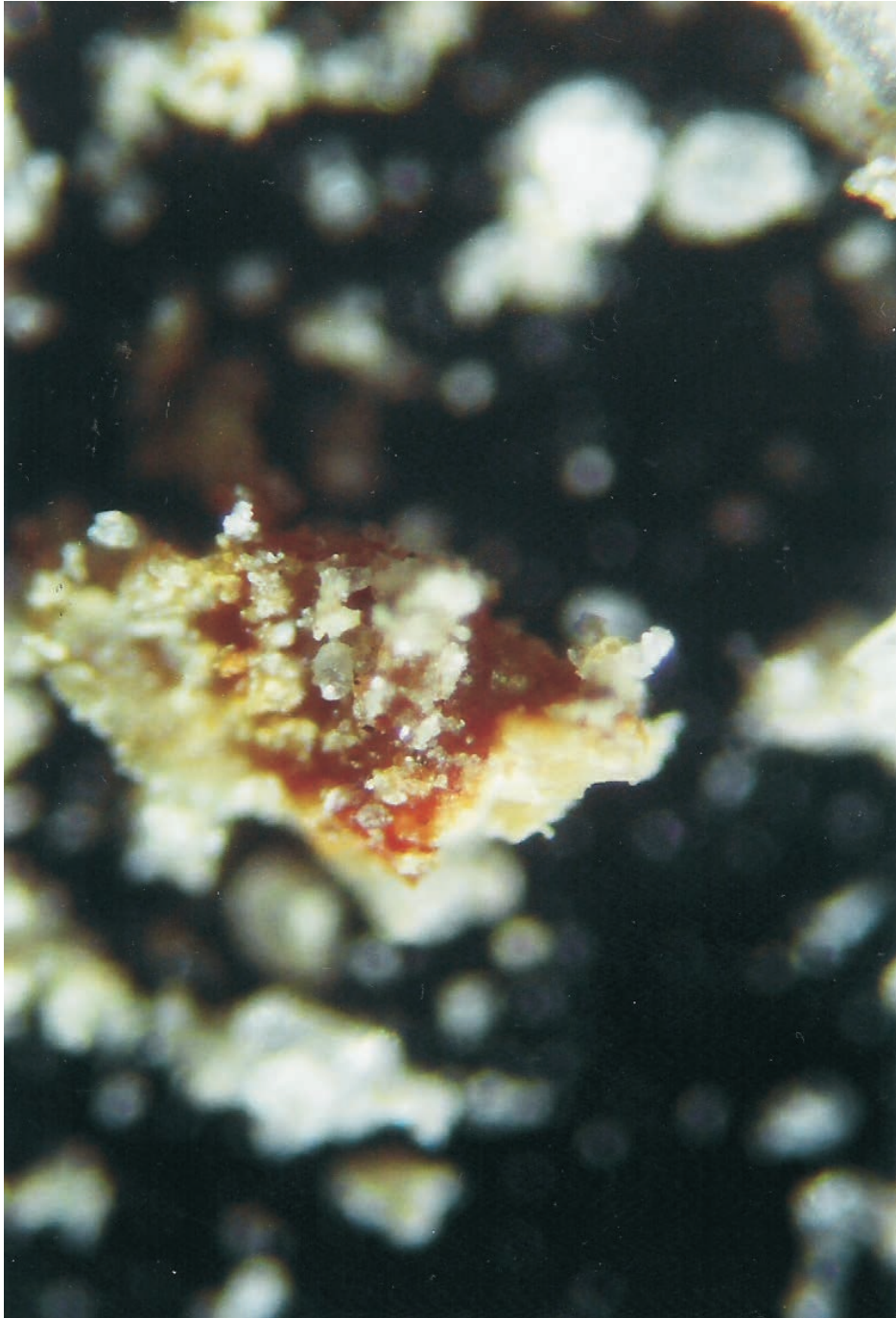
Ryc. 39. Fragment zmineralizowanej wtórnie tlenkami i wodorotlenkami żelaza kości gąbczastej, zawarty w próbce ciemnego ły z wytrąceniami żelaza, pobranej z głębokości 0,62 m – 0,66 m, w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej masowego grobu z I wojny w Bochni. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 120 x



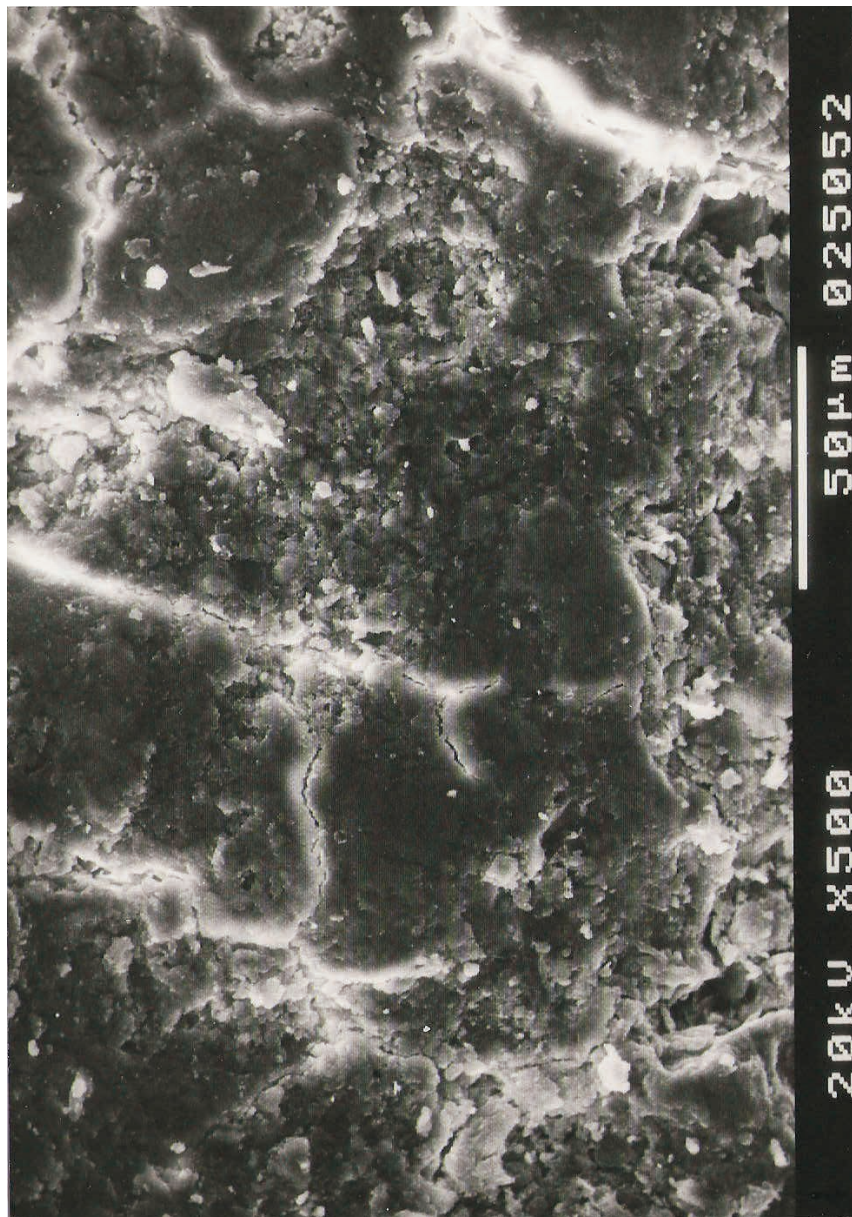
Ryc. 40. Mikrookrusz kości objęty wtórną mineralizacją, stwierdzony w próbce pobranej z głębokości 1,38 m – 1,42 m, w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej grobu z I wojny w Bochni. Powiększenie na mikroskopie skaningowym, według skali



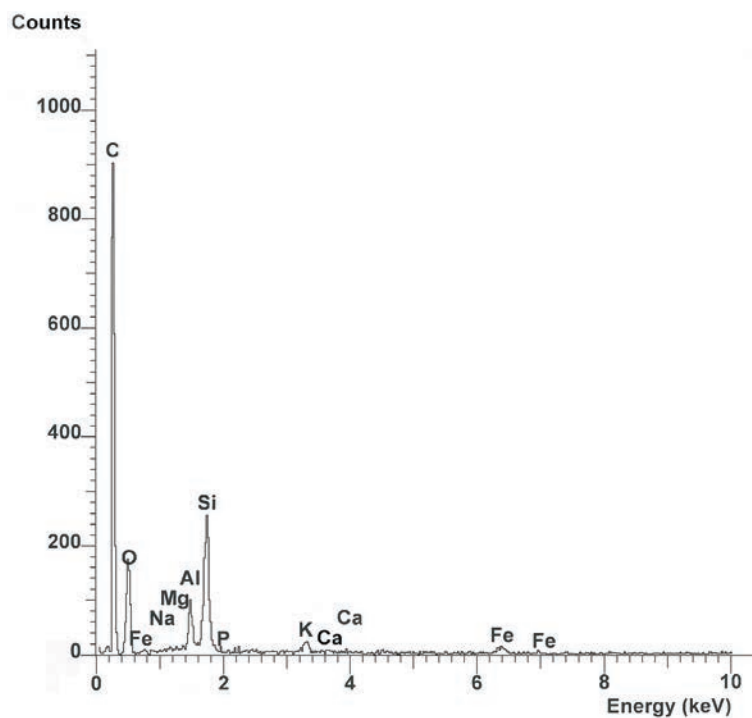
Ryc. 41. Mikrofragment kości gąbczastej (strzałki), stwierdzony w próbce, pobranej podczas wiercenia w masowym grobie z I wojny w Rajbrocie, z głębokości 2,2 m. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x



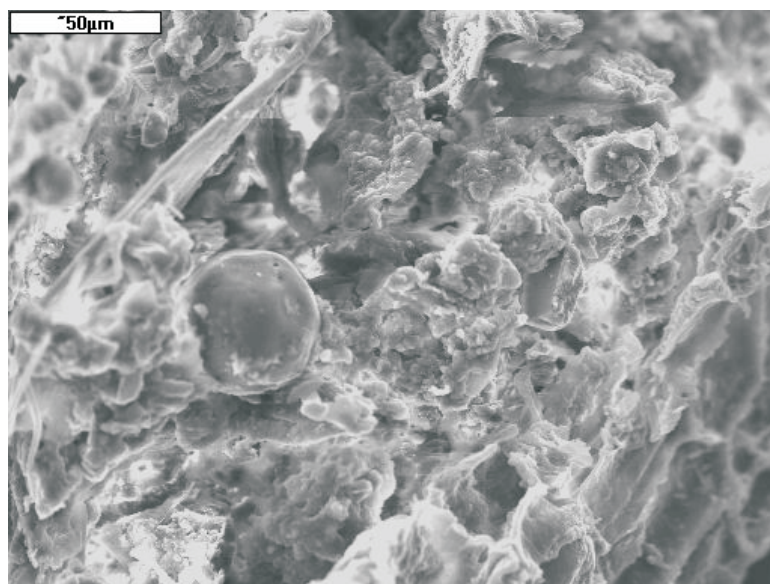
Ryc. 42. Fragment tkanki na okruchu kości, pobranej podczas wiercenia w masowym grobie z II wojny w Zbylitowskiej Górze, z głębokości 1,2 m. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x



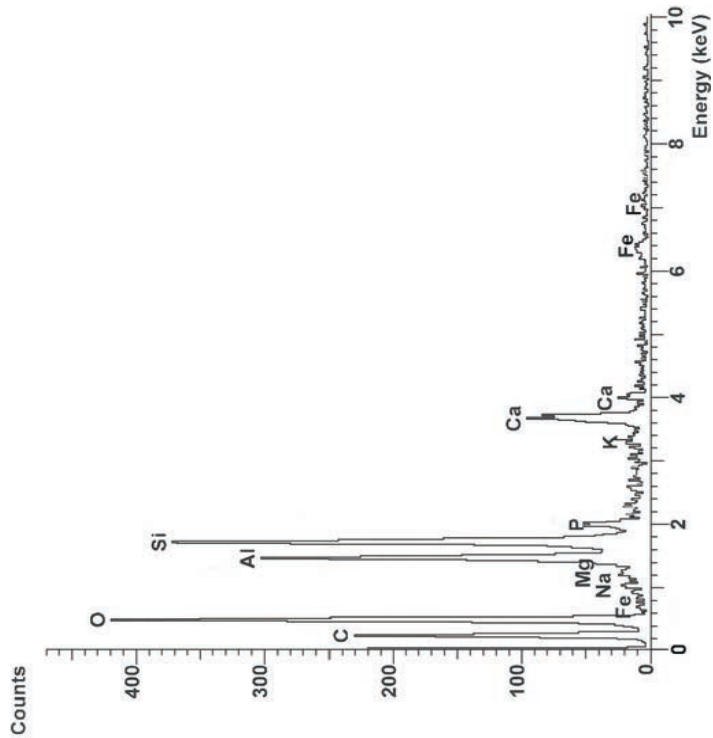
Ryc. 43. Struktura fragmentu kości korowej, pobranej z poziomu pochówku, z głębokości 1,22 m – 1,26 m w masowym grobie z II wojny, który leży na skraju Puszczy Niepolomickiej w Niepolomicach. Powiększenie na mikroskopie skaningowym, według skali



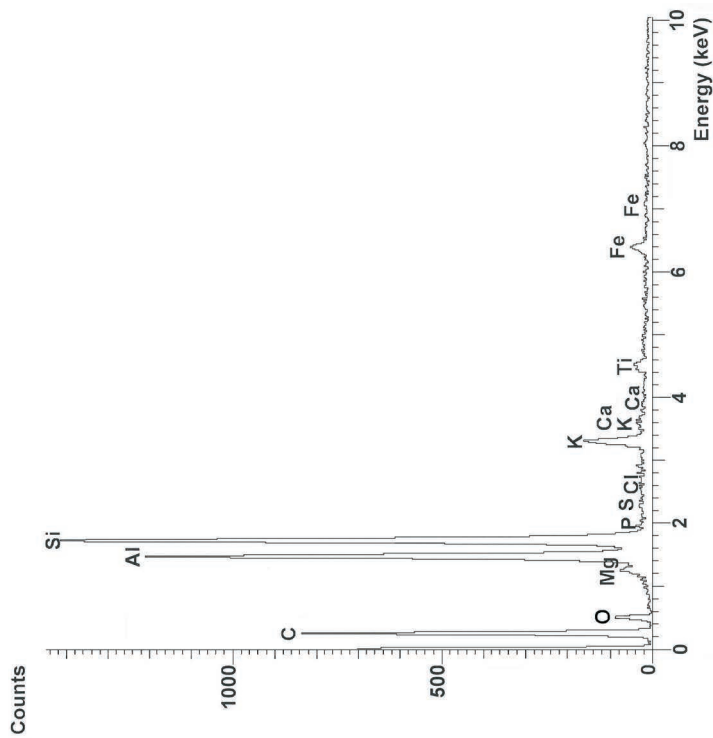
Ryc. 47. Relatywnie wysokie zawartości C i O, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z I wojny światowej w Błoniach. Widmo EDS



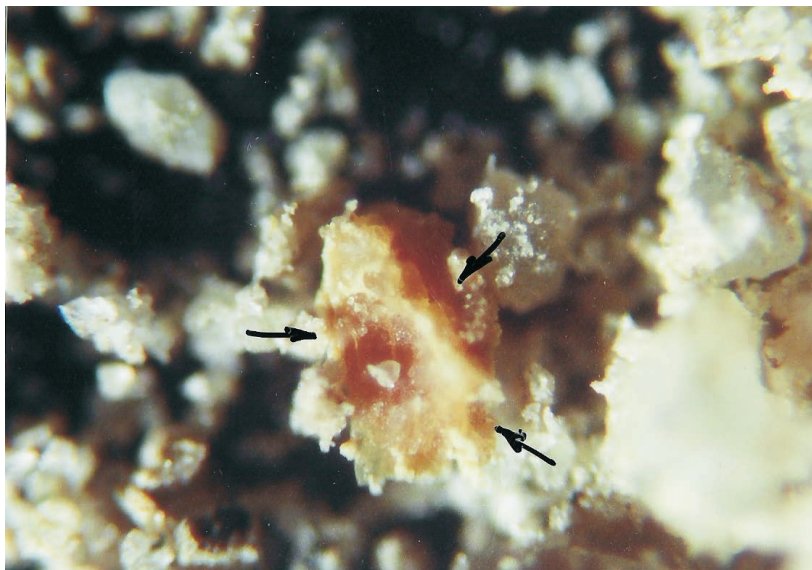
Ryc. 49. Osad przerośnięty zmineralizowaną grzybnią, pobrany z wykopu prowadzonego w sąsiedztwie masowego grobu z II wojny światowej w Barwinku. Zdjęcie z mikroskopu skaningowego, powiększenie 50 x



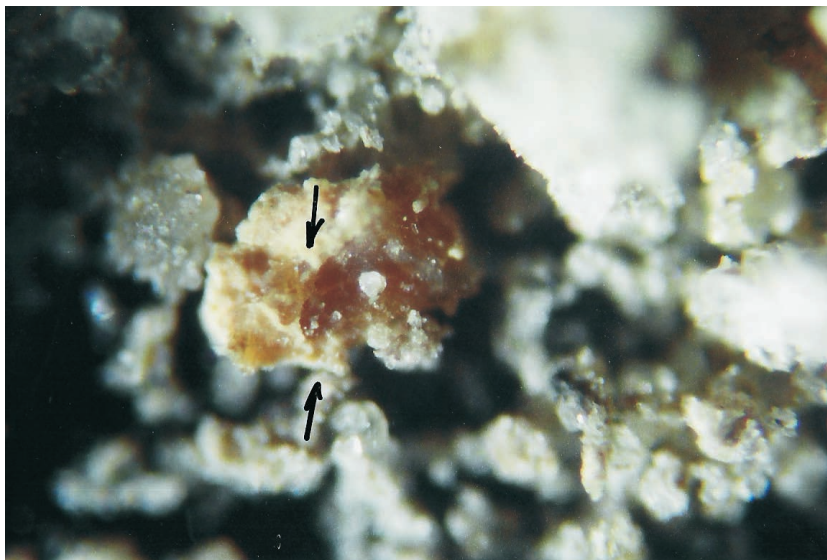
Ryc. 46. Relatywnie wysokie zawartości P i Ca, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z I wojny w Brzesku. Widmo EDS



Ryc. 48. Relatywnie wysokie zawartości Ti, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z II wojny światowej w Barwinku. Widmo EDS



Ryc. 44. Materiał detrytyczny z drobnym okruczem kości gąbczastej (strzałki) pobrany z głębokości 1,2 m z poziomu grobu z II wojny światowej w Zbylitowskiej Górze. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x



Ryc. 45. Mikrookruczy kości zlepione minerałami ilastymi (strzałki), stwierdzone w próbce pobranej z głębokości 1,2 m na terenie grobu z II wojny w Zbylitowskiej Górze. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x

Z kolei w osadach pochówków z II wojny światowej stwierdzono fragmenty tkanek miękkich, których ilość była różna w zależności od miejsca pochówku. Największą ich ilość zaobserwowano w Zbylitowskiej Górze, w środowisku żwirków terasy rzecznej przykrytych nieprzepuszczalnym ilastym osadem. Tkanki te w dużym stopniu były przeobrażone i częściowo zmineralizowane wtórnymi związkami Fe (ryc. 42). Znacznie lepiej wśród badanych pochówków zachowały się kości w Zbylitowskiej Górze. Natomiast w Nowym Sączu fragmenty tkanek kostnych, które obserwowano pod mikroskopem, objęte były początkową mineralizacją. Z kolei w kościach gąbczastych w próbkach z Dukli przestrzenie między beleczkami kostnymi zostały wypełnione wtórnie osadem ilastym. Ponadto w Niepołomicach mikrofragmenty kości pokryte były również, mikroskopowo trudnymi do określenia, wtórnymi produktami przeobrażeń. W otoczeniu tego grobu stwierdzono także fragmenty przeobrażonej kości korowej (ryc. 43). Oryginalna taka kość składa się w przybliżeniu w 69% z substancji nieorganicznej, w 22% organicznej i w 9% z wody (Triffitt 1980). Skład chemiczny kości jest bogaty, ale archeolodzy zwracają szczególnie uwagę na kilka pierwiastków. Są to przede wszystkim: C, N, Sr, Ca i Zn (Waldron 1983; Nelson i inni 1986; Chamberlain 1994; Mays 1998; Price 1989; Schutkowski i inni 1999; Knudson i inni 2004).

Nie znaleziono natomiast fragmentów kości w próbkach pobranych z wykopu prowadzonego w otoczeniu masowego grobu w Barwinku (fot. 39). Grób ten został wykopany w osadzie z dużą ilością minerałów ilastych, a wkop w celu pobrania materiału prowadzono w jego sąsiedztwie. Z kolei w piaszczystych osadach dominujących w Niepołomicach, w sąsiedztwie masowego grobu stwierdzono mikrofragmenty kości otoczone wtórnymi produktami przeobrażeń (tab. 69).

W wielu badanych miejscach, np. w Niepołomicach, Rajbrocie, Bochni, Dukli, Nowym Sączu, Zbylitowskiej Górze oraz w Brzesku zaobserwowano skutki wymiany jonowej pomiędzy roztworami podłoża a materią w przestrzeni kości. Stanowiły je zmineralizowane bezpostaciowe związki, przeważnie tleno-wodorotlenki żelaza. Podczas gromadzenia materiału do badań nie pobierano widocznych makroskopowo kości. Być może dlatego nie zaobserwowano wtórnych minerałów strąconych na ścianach, w pustkach i szczelinach kości, między innymi kalcytu. Nie potwierdzono również rekrytalizacji mikrokrystalicznego biogenicznego hydroksyapatytu do wtórnego autogenicznego krystalicznego apatytu.

We wszystkich próbkach pobranych z 9 masowych grobów, niezależnie od ich środowisk, dominuje Si (tab. 71). Jedynie w osadach pochówku w Błoniach wyższe są zawartości C i O (ryc. 47). Nie dotyczy to jednak właściwości osadów w górnej części profilu pionowego ponad pochówkiem (tab. 70). W osadach wszystkich badanych masowych grobów wysokie koncentracje dotyczą Al i O. Szczególnie ma to miejsce w Rajbrocie, Bochni, Dukli, Zbylitowskiej Górze i w Brzesku. Nieznacznie od tego schematu różnią się koncentracje pierwiastków w osadach w pozostałych grobach. Na przykład w Niepołomicach wyższe koncentracje dotyczą Ca, Fe i P. Próbką z tego pochówku była jednak pobrana w sąsiedztwie kości. Podobnie pobrano próbkę w Nowym Sączu.

Na kości natrafiono podczas dokonywania wkopu na terenie kirkutu w pobliżu ogrodzenia prywatnego gospodarstwa (fot. 41). W pobranych próbkach z tego wkopu stwierdzono wysokie zawartości Ca i P. Natomiast próbki z Barwinka zawierały stosunkowo wyższe koncentracje Fe i S. Materiał ten pobrano z otoczenia

masowego grobu położonego na polanie leśnej. Podłoże w tym miejscu przerośnięte było zmineralizowaną grzybnią (ryc. 49), której znaczenie w dekompozycji tkanek ludzkich nie jest znane. Więcej natomiast wiadomo o roli roślin rosnących w miejscu pochówku. Po pierwsze rośliny pobierają różne produkty dekompozycji w postaci roztworów. Po wtóre umożliwiają utlenianie materii organicznej i amoniaku w bezpośrednim otoczeniu korzeni, a szczególnie wtedy, gdy jest wystarczająca ilość tlenu.

Największe koncentracje antropogenicznych pierwiastków P i Ca, które związane są z pochówkiem, stwierdzono w osadach grobów w Niepołomicach, Nowym Sączu i w Brzesku (ryc. 46). Poza wymienionymi pierwiastkami, na uwagę zasługuje także relatywnie wyższa zawartość Fe w osadach kilku grobów z Niepołomic, Rajbrotu, Barwinka i Błoń. Pierwiastek ten występuje w różnych ilościach w całym pobranym materiale. Jego ilości są jednak zmienne w zależności od miejsca poboru próbek. Ponadto w pobranym materiale występują jeszcze i inne pierwiastki o mniejszej koncentracji: Cl, K, Na, Mg, Mn, Ti, Au, Cr, Zn i W (tab. 71).

Nieznane jest pochodzenie stosunkowo wysokiej koncentracji Zn w masowych grobach z okresu I wojny w Rajbrocie i II wojny w Zbylitowskiej Górze. Zdecydowanie jednak więcej rzadkich pierwiastków stwierdzono w osadach grobów z okresu II wojny, np. w Niepołomicach, Dukli i w Barwinku. W próbkach z Niepołomic natrafiono np. na niewielkie ilości Au, Ti i Cr. Prawdopodobnie pierwiastki te pochodzą z przedmiotów, które posiadali pochowani w tym miejscu ludzie oraz pocisków, które ich zabiły. Podobne pierwiastki, Ti i Cr, obecne były także w osadach masowego pochówku w Dukli. Ich obecność w tym miejscu związana jest z uzbrojeniem lub z odłamekami i pociskami, które zabiły żołnierzy radzieckich. Ponadto w miejscu, w którym pobierano próbki, natrafiono na fragment broni (fot. 14). Natomiast w Barwinku w badanych osadach z otoczenia grobu występuje Ti i W (ryc. 48).

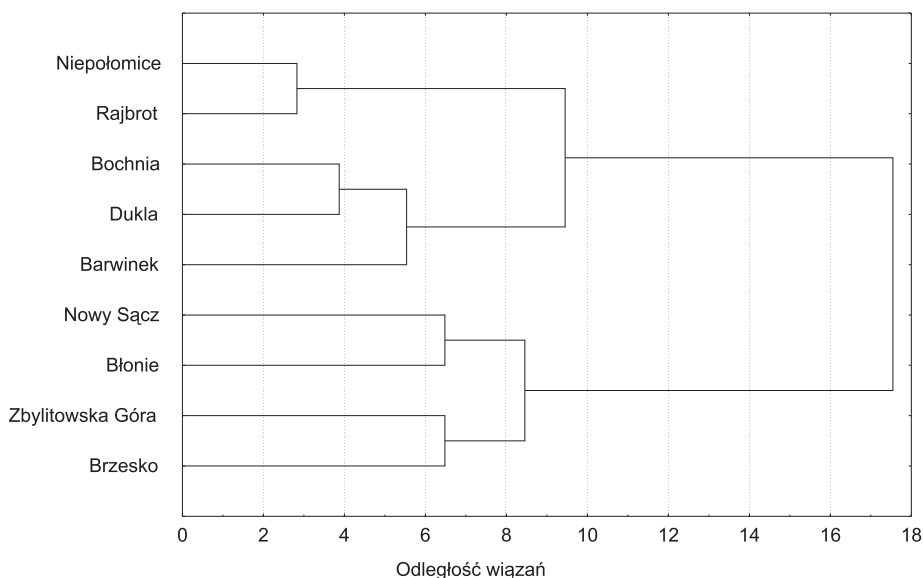
Skład jakościowy badanych próbek, ze względu na występowanie pierwiastków, nie wskazuje na istotne różnice pomiędzy osadami, do których złożono ofiary z I i II wojny światowej. Potwierdza to grupowanie dla 10 podstawowych pierwiastków metodą Warda przy zastosowaniu odległości euklidesowych (ryc. 50). Większe podobieństwo dotyczyło natomiast składu pierwiastków w podobnie wykształconych osadach. Antropogeniczne produkty dekompozycji nie decydują zatem w istotny sposób o zróżnicowaniu zawartych w osadach pierwiastków. Podobne pierwiastki występują w osadach grobów z dużą zawartością minerałów ilastych z grupy illitu w Bochni, Dukli oraz w Barwinku (tab. 69, 70). Pochówki w tych miejscowościach złożono w osadach aleurytowo-pelitowych (tab. 69). W tych gliniastych utworach występują ziarna kwarcu, glinokrzemiany, a nawet okruchy wapienia. Charakterystyczne dla tego typu osadu są smugi substancji organicznych z domieszką piasku. Ponadto w profilu pionowym widoczne były strefy objęte mineralizacją Fe.

Odrębną grupę na diagramie tworzą groby z Rajbrotu i Niepołomic. Pochówki te złożono w osadach psamitowo-aleurytowych ze zmienną domieszką frakcji psefitowej (tab. 69). Piaski terasy w Niepołomicach zdeponowała Wisła w okresie plejstocenu. Są to głównie ostrokrawędziste i słabo obtoczone ziarna kwarcu. W osadach tych charakterystyczna jest także domieszka minerałów ilastych oraz okruchy piaszczowców karpaccyckich (Żychowski i inni 2006a). Ponad pochówkiem

stwierdzono wyraźny poziom orsztynowy, który świadczy o zakresie wahanía wód gruntowych. Natomiast w Rajbrocie występują luźne piaski lub piaski słabo sementowane minerałami ilastymi powstałe w wyniku wietrzenia piaskowców in situ. Na ziarnach kwarcu widoczne są otoczki ilaste z wtórnymi wytrąceniami związków żelaza. W utworach tych występują także okruchy węglanowe. Przeprowadzone grupowanie potwierdza zgodność podobieństwa wykształcenia osadów z ich składem pierwiastkowym (ryc. 50).

Przy odległości wiązań – 9 na diagramie odrębną grupę stanowią masowe groby w: Nowym Sączu, Błoniach, Zbylitowskiej Górze i Brzesku. Mniejsze odległości wiązań wskazują na większe podobieństwo zawartości pierwiastków w grobach w Brzesku i Zbylitowskiej Górze. Pochówek w Zbylitowskiej Górze złożono w żwirkach, w towarzystwie minerałów ilastych z udziałem większych otoczków. Ten rzeczny materiał, zaburzony osuwiskiem, przykrywa w badanym miejscu nieprzepuszczalny osad aleurytowo-pelitowy (tab. 69). Dominuje w nim frakcja pylasta. Ziarna kwarcu, tkwiące w ilastym tle, pokryte były związkami żelaza. Środowisko masowego grobu w Zbylitowskiej Górze jest więc zróżnicowane w profilu pionowym. Ten masowy grób położony jest na skaju lasu, na osuwisku modelującym czoło proggu wysokiej prawej terasy Dunajca. Próbkę do analiz z tego grobu zostały pobrane w sąsiedztwie najniższej położonej kwatery leżącej w dnie parowu. Poniżej tej kwatery, a tym samym i całego masowego grobu, występuje lokalne bezodpływowe zagłębienie.

Podczas większych opadów okresowo wypełnia się ono wodą, a przy większym stanie woda spływa w dół doliny. W najniższej kwaterze tego grobu poziom wody gruntowej najczęściej jest wysoki. Podczas pobierania próbki był on na głębokości około 0,5 m. Natomiast grób z I wojny w Brzesku leży na piaszczystej,



Ryc. 50. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda z zastosowaniem odległości euklidesowej ze względu na skład 10 podstawowych pierwiastków w próbkach z osadów 9 masowych grobów

mało nachylonej wierzchołkowej. Pochówek ten złożono w słabo scementowanych, porowatych, psamitowo-aleurytowych osadach o zmiennej domieszce minerałów ilastych. Skład i uziarnienie tych osadów jest zatem bardzo zróżnicowane. Dlatego też w osadach w poziomie pochówku występują śladowe i zmienne ilości P.

Ostatnią wyróżnioną grupę na diagramie tworzą groby z Nowego Sącza i Błoń (ryc. 50). Badany pochówek na terasie Dunajca złożono w zróżnicowanym osadzie aleurytowym. Dominuje w nim zmienna ilość dobrze obtoczonych składników okruchowych i minerałów ilastych. Miejscami poziomy w profilu pionowym są bardziej zapiaszczone lub wzbogacone w wytrącenia substancji organicznej. Podobny skład pierwiastków występuje w osadach aleurytowo-psamitowo-pelitowych grobu w Błoniach, który jest położony na czole niskiego progu Przedgórze Karpat koło Tarnowa. Osady w tym miejscu są zróżnicowane ze względu na skład mechaniczny, w zależności od miejsca i głębokości profilu pionowego. To duże zróżnicowanie co do wielkości i stopnia obtoczenia dotyczy także ziaren kwarcu. Najslabiej obtoczone są większe ziarna kwarcu, które w mniejszym stopniu pokrywają minerały ilaste. Sorpcja produktów dekompozycji odbyła się również dzięki obecności tleno-wodorotlenków żelaza. Wyprowadzanie tych wtórnych związków poza pochówek odbywa się sporadycznie, podczas długotrwałych lub intensywnych opadów, a szczególnie w związku ze zmianami poziomu wody gruntowej.

W przeprowadzonych badaniach mineralogiczno-petrograficznych uwzględniono groby z I i II wojny światowej. Badania prowadzono w osadach zróżnicowanych podłożu oraz w miejscach z różnymi stosunkami wodnymi. Badane groby położone są w osadach: aleurytowych, aleurytowo-pelitowych, aleurytowo-psamitowo-pelitowych, psamitowo-aleurytowych oraz w żwirkach.

Wybrane miejsca nie uwzględniają wszystkich istniejących rodzajów podłożu, do których składa się zwłoki. Jeszcze bardziej złożone kombinacje będą realne, gdy uwzględni się różne stosunki wodne występujące w grobach. Do badań tych wybrano groby, w których poziom wody gruntowej okresowo sięgał pochówku, np. w Niepołomicach i Zbylitowskiej Górze, zalegał poniżej pochówków, np. w Rajbrocie i Brzesku lub sporadycznie podnosił się np. w Nowym Sączu. W innych badanych miejscach, np. w Błoniu, woda śródpokrywowa zalewa masowy grób położony w dobrze przepuszczalnych osadach na czole progu przedgórze. Natomiast większe zawilgocenie środowiska pochówku występuje sporadycznie w pozostałych badanych miejscach, w Dukli, Barwinku i w Bochni.

W badanych osadach grobów z II wojny światowej potwierdzono także obecność mikrofragmentów ludzkich tkanek miękkich, np. w Niepołomicach i Zbylitowskiej Górze. Natomiast obecność roślinnych tkanek, w postaci żyłek, strzępek, cienkich stref wytrąceń itp., jest powszechna w zdecydowanej większości badanych grobów. W badaniach tych nie uwzględniono stanu zachowania makroskopowo widocznych fragmentów kości. Grobów tych bowiem nie rozkopywano. W prowadzonych wykopach, w pobliżu wyznaczonych granic masowych grobów, natrafiono jednak na ludzkie kości; jedynie w Barwinku ich nie ma. Były one mechanicznie uszkodzone i zmienione mineralnie. Drobne, makroskopowo niewidoczne mikrofragmenty tkanek kostnych uległy przemieszczeniu poza pochówki.

Pomiędzy minerałami kości i otaczającym je osadem zachodzi wymiana substancji chemicznej (Keeley i inni 1977; Lambert i inni 1979; Waldron i inni 1979; Waldron 1983; Nelson, Sauer 1984; Kyle 1986). Nie uczestniczy w niej jednak cały

skład podłoża. Wymianie tej sprzyja mechaniczne rozkruszenie i penetracja wody. W jej obecności składniki najłatwiej rozpuszczalne ulegają rozpuszczeniu i wymyciu. Do roztworów słabiej przechodzą, np. związki Fe, Al, Ti, Mn, a w szczególności te, które występują w formach słabo rozpuszczalnych (Miles, Hutton 1983; Bohn i inni 1985). Mieszaniny jonów w roztworach glebowych reagują również z podstawowymi minerałami kości (tab. 72).

Tabela 72. Podstawowe formy fosforanów wapnia w mineralnej kości, w warunkach opadającej kwasowości i rozpuszczalności oraz wzrostu stabilności termodynamicznej (Neuman, 1980)

Wzór sumaryczny fosforanów	Nazwa fosforanu w języku angielskim oraz powszechnie używane skróty	Stosunek Ca do P
$\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	Dicalcium phosphate dihydrate (DCPD)	1
$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$	Octacalcium phosphate (OCP)	1,33
$\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$ (var.)	Amorphous calcium phosphate (ACP)	1,3–1,5
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Tricalcium phosphate (TCP)	1,5
$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	Hydroxyapatite (HAP)	1,67

Najbardziej trwałym minerałem w kości jest hydroksyapatyt. Podstawowymi pierwiastkami włączonymi w krystaliczną sieć kości są P i Ca (Posner 1985; Pawlikowski, Niedźwiedzki 2002). W procesie demineralizacji kości pierwiastki te migrują do środowiska. Natomiast w miejscach wietrzenia chemicznego – w pustkach lub w powstałych w procesie fizycznym – szczelinach, w zależności od warunków środowiska obserwuje się mineralizację krzemionką, związkami żelaza i manganu (Pawlikowski i inni 2007). Przewaga jednego z tych procesów prowadzi do zaniku kości lub powstania skamieniałości. Destrukcja kości rozpoczyna się od powstania w nich spękań w wyniku naprężeń, które są związane z dekompozycją włók lub ze zmianą warunków środowiska, np. temperatury. Pęknięcia te umożliwiają wymianę jonową pomiędzy kością i środowiskiem. Natomiast proces destrukcji kolagenu rozpoczyna się w centralnych partiach beleczek kostnych, a nie w pobliżu ich powierzchni. Jest on kontynuowany od środka ku ich powierzchni. Selektywna destrukcja tych beleczek związana jest ze spiralno-rurkową strukturą zmineralizowanych apatytem włókien kolagenowych oraz ze słupkowym kształtem dłuższych i bardziej kruchych z wiekiem osobnika kryształów apatyty. W dekompozycji tej uczestniczą wielocukry (mukopolisacharydy) oraz produkty dekompozycji szpiku kostnego. Powodują one zanik struktury włóknisto-rurkowej beleczek kostnych. Zmieniony kolagen przyjmuje formę nieregularną, strzępiastą. Ubywa z niego także wzbogacony różnymi pierwiastkami apatyt kostny, a przede wszystkim związki P i Ca.

Zasadniczy rozkład kości, w tym hydroksyapatytu, rozpoczynają organiczne substancje i kwas węglowy, powstałe w wyniku rozkładu kolagenu przez mikroby. Właściwości podłoża najczęściej sprzyjają ubytkowi kolagenu z kości (Pawlikowski 1987; Stos-Gale 1992). Uwolnione protony zastępują Ca w hydroksyapatycie. Wymiana ta trwa do całkowitego rozkładu kolagenu. Proces może się odwrócić,

jeśli w środowisku występują jony wapnia. Granicznym wskaźnikiem jest stosunek Ca/P wynoszący 2.15. Wyższe wartości tego stosunku promują zachowanie kości (White, Hannus 1983).

Dotychczasowe badania wskazują, że hydroksyapatyty pomiędzy wartościami 7,6 pH i 8,1 pH, w tzw. oknie rekrytalizacji, rozpuszczają się i ponownie ulegają rekrytalizacji (Berna i inni 2004). Ponadto Berna i współpracownicy (Berna i inni 2004) uważają, że poniżej pH 7,5 oryginalny minerał kości może zostać całkowicie zastąpiony przez apatyt autogeniczny. Spadek pH osadu poniżej wartości 7 prowadzi do szybkiego rozpuszczania pierwotnego albo rekrytalizowanego hydroksyapatytu. W badanych miejscach obserwujemy zmienność warunków wodnych oraz odczynu podłoża nawet w ciągu jednego roku. Jest ona charakterystyczna dla klimatu Polski. Dlatego nie stwierdzono w tej pracy wtórnych minerałów w postaci krystalicznej w procesie petryfikacji. Kości natomiast zachowują się dobrze w środowisku zasadowym powyżej 8,1 pH. Takie warunki panują w piaszczystych wydmach, w półsuchym stepie (Bsk według Köppena) na południu Australii, gdzie dominuje jon wapnia i wodorowęglany. W badanych kościach powstaje tam wtórny kalcyt (Pate, Hutton 1988; Pawlikowski i inni 2007). Z kolei hydroksyapatyt w środowisku redukcyjnym, w obecności rozkładającej się organicznej materii i związków żelaza, przy stosunkowo niskim pH i Eh, przemienia się w wiwianit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$ – uwodniony fosforan żelazawy (Maritan, Mazzoli 2004). Natomiast zawadnione środowisko i obecność większych ilości Ca przy wyższym pH i Eh sprzyjają powstaniu autogenicznego minerału mitridatytu $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}_3(\text{PO}_4)_3\text{O}_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ – uwodnionego fosforanu żelaza i innych metali, np. na północ od Jeziora Turkana, w południowo-zachodniej Etiopii (Rogers, Brown 1979). Problem wymiany jonowej dostrzega wielu badaczy kości (Parker, Toots 1980; Hassan i inni 1977; Sillen 1988; Pate, Brown 1985, Pawlikowski i inni 2007). Zmienność warunków panujących w badanych grobach w ciągu roku nie sprzyja powstawaniu postaci krystalicznej minerałów.

Środowisko piaszczyste i żwirowe z małą ilością minerałów ilastych i związków Fe sprzyja odprowadzaniu zanieczyszczeń produktów dekompozycji poza miejsce pochówku. Warunki te są jeszcze bardziej sprzyjające migracji produktów dekompozycji, gdy miejsce pochówku znajduje się na stoku i podlega częstym wahaniom poziomu wody gruntowej. Obecność minerałów ilastych i związków Fe w osadach piaszczystych i żwirowych sprzyja sorpcji P. Migrację produktów dekompozycji ograniczają także osady ilaste i mułowcowe. Dłuższa stagnacja zwierciadła wody podziemnej prowadzi do dobrego uporządkowania strukturalnego tych związków pochodzących z dekompozycji, które znajdują się ponad zwierciadłem wody. Ulegają one krystalizacji, a tym samym są zatrzymywane w miejscu pochówku. Migrację produktów dekompozycji zdecydowanie ogranicza środowisko ze znacznym udziałem minerałów ilastych. Szczególnie ma to miejsce wtedy, gdy il jest jednorodny, bez szczelin oraz gdy w podłożu brak jest rozwiniętego systemu korzeniowego tworzącego ciągły system kanałów powietrznych, w związku z butwieniem korzeni. Jedynie w zasypnym wykopie pod grób podłoże jest wymieszane i spulchnione. Przez pewien czas może więc chłonać wodę atmosferyczną. Barierą dla rozprzestrzeniania się produktów dekompozycji pozostanie nienaruszone ilaste podłoże.

9. Jakość wód gruntowych w otoczeniu masowych grobów

9.1. Wprowadzenie

W miejscach pochówków zgromadzone są duże ilości miękkiej oraz twardej materii organicznej. Wzbogaca ona podłoże grobów w liczne pierwiastki w wyniku jej dekompozycji. Ich ilość wprawdzie gwałtownie wzrasta, z czasem jednak koncentracje tych pierwiastków maleją w środowisku pochówku. Produkty te są bowiem wyprowadzane przez wodę gruntową poza przeznaczone obszary na pochówki. Jest to więc duże potencjalne zagrożenie dla środowiska (Creely 2003; Environmental Agency 1998).

Koncentracje jonów w wodach gruntowych zdecydowanie wzrastają po ulewnych deszczach i są bardzo zmienne w czasie. Natomiast pojawiające się sporadycznie, ale coraz częściej, warunki ekstremalne wpływają na chwilowy, gwałtowny wzrost zanieczyszczeń, który wymaga odrębnych badań. W takich warunkach obserwuje się nawet rozmywanie miejsc pochówku. Prowadzi to w konsekwencji do rozproszenia zanieczyszczeń. Lokalnie w terenie wzrasta ich koncentracja, kosztem przyspieszonego ubywania z dotychczasowych miejsc pochówków. Istotnym zagrożeniem dla środowiska, jak i dla samego człowieka, jest występowanie w dłuższym czasie wysokich koncentracji.

Zakres zmienności tych koncentracji w klimacie umiarkowanym zależy w dużym stopniu od warunków zewnętrznych, głównie pogodowych, które zmieniają się przede wszystkim w zależności od pory roku. W tym samym miejscu możliwe jest wystąpienie zarówno zawartości o mg/l, jak i przekraczającej wielokrotnie dopuszczalne koncentracje (Knight, Dent 1998). Przeprowadzone badania obejmują zatem różne warunki pogodowe. Nawet duża liczba pomiarów przeprowadzonych w tych samych warunkach ogranicza poznanie badanego problemu. W klimacie umiarkowanym na wiosnę i na początku lata występują najwyższe i najintensywniejsze opady oraz wysokie temperatury. Natomiast jesienią i na początku zimy ilość opadów jest zdecydowanie mniejsza bądź występuje często w postaci śniegu, a temperatury wahają się w okolicach 0 °C.

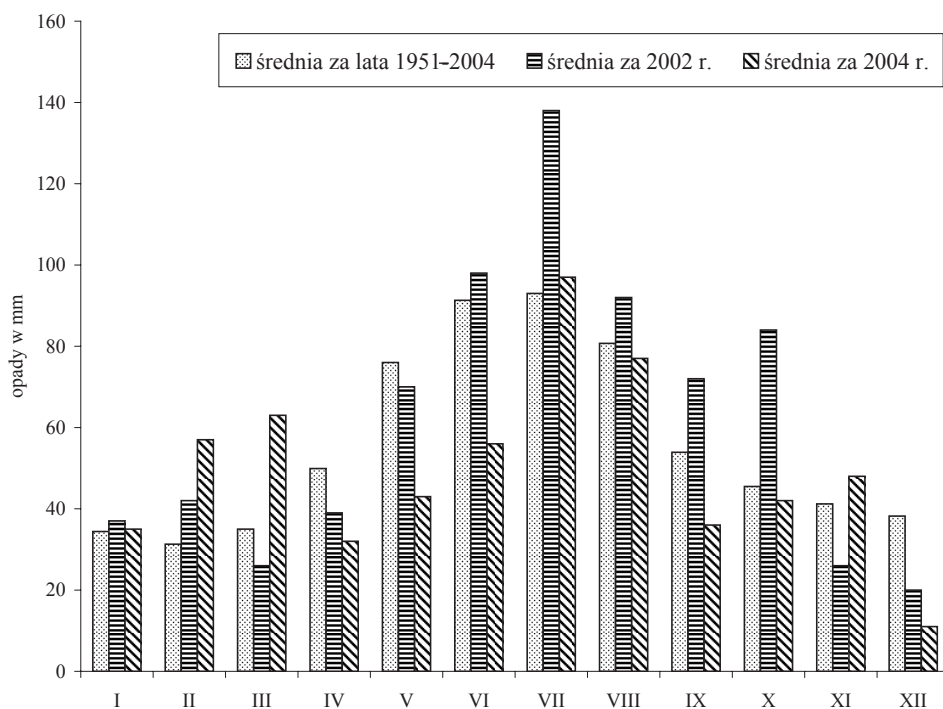
Roczna suma opadów w Krakowie w roku 2002 wyniosła 744 mm i była nieco wyższa od średniej wieloletniej z lat 1951–2004. Natomiast w roku 2004 suma ta nie przekroczyła 600 mm (598 mm) i była nieco niższa od porównywanej – 670,4 mm (*Rocznik Statystyczny Krakowa 2005*). Prób nie pobierano w roku 2003 ze względu na rozległą suszę panującą w badanym terenie. Roczna suma

opadów wyniosła wtedy w Krakowie 567 mm. Ilości opadów w latach 2002, 2003 i 2004 były jednak zmienne w przestrzeni ze względu na opady burzowe w okresie letnim. Procentowy udział opadów z trzech miesięcy (V, VI i VII) w roku 2002 wyniósł 41% i był nieznacznie wyższy od tego z wielolecia – 39%.

Natomiast w roku 2004 udział opadów z trzech miesięcy (X, XI i XII) był nieco niższy – 17% od tego w wielolecia – 18,5% (ryc. 51). Pierwsze przymrozki w roku 2004 miały miejsce 10 października nad ranem i pojawiały się przez kolejne 5 dni. Po 23 października temperatury powietrza w ciągu dnia wzrastały powyżej 20 °C. Opady występujące w tym miesiącu przez około 15 dni były lokalne, okresowe, mało intensywne oraz krótkotrwałe. Ich łączna suma – 42 mm była nieco niższa od średniej wieloletniej – 45,5 mm. Pierwsze opady śniegu wystąpiły na badanym terenie 19, 20 i 21 listopada. Nocą temperatura powietrza w tych dniach spadała, w zależności od miejsca w południowo-wschodniej Polsce, do wartości od (-10 °C) do (-7 °C). Temperatura poniżej zera, do (-3 °C) utrzymywała się także w ciągu dnia. Dopiero po 21 listopada nie obniżyła się już poniżej 0 °C. Opady w listopadzie występowały w ciągu około 20 dni. Był to mało intensywny deszcz do 19 listopada, a później śnieg. Łącznie spadło w listopadzie więcej opadów niż wynosi wieloletnia średnia miesięczna z 54 lat (ryc. 51). Pokrywa śnieżna utrzymywała się krótko i miała miąższość około 10 cm w Krakowie i 4 cm w Tarnowie. Lokalnie w Beskidach miąższość jej była większa. W grudniu wystąpiło tylko 11 mm opadów i to głównie deszczu. Jest to trzy razy mniej w porównaniu ze średnią dla grudnia z wielolecia – 38,2 mm. Opady w grudniu wystąpiły średnio przez 12 dni. Było to zależne od położenia miejscowości, gdzie prowadzono badania na cmentarzach. Średnia miąższość pokrywy śnieżnej w Krakowie i Tarnowie wynosiła zaledwie 3 cm. Temperatura powietrza w ciągu dnia obniżała się nieznacznie poniżej zera tylko w około 5 dniach. Średnia dobową temperaturą powietrza w grudniu 2004 roku w Krakowie wyniosła – (0,8 °C) i była wyższa niż ta z lat 1825–1988 (-1,6 °C). Rok 2004 w zlewniach Wisły, Skawy i Raby był zbliżony swoimi charakterystykami do lat suchych. Jedynie w zlewni Dunajca był to rok mokry, z powodu letnich wezbrań powodziowych.

Duże wahania zwierciadła wody gruntowej, związane z licznymi burzami, miały miejsce w drugim okresie badań w roku 2004. Maj tego roku był wyjątkowo ciepły. Średnia temperatura powietrza wyniosła 17,1 °C i była wyższa od średniej z lat 1825–1988, kiedy to wynosiła 13,3 °C. W każdym dniu maja temperatura w południe sięgała ponad 20 °C, maksymalnie nawet 28 °C w ciągu 5 dni. Natomiast nocą temperatura obniżała się do temperatury powyżej 10 °C lub nieco poniżej w zależności od miejscowości. Opady deszczu były na poziomie nieco niższym – 70 mm, niż średnia w wielolecia – 76 mm. Miały one charakter burzowy. Prognozy dopuszczały wystąpienie po południu burzy w ciągu około 17 dni. Ilości tych burz były różne w zależności od miejsca. Opady deszczu nie wystąpiły tylko średnio w 8 dniach. Również w czerwcu było cieplej, niż średnio w wielolecia. Ale różnica ta była już mniejsza i wynosiła tylko 1 °C. Wysokie temperatury powietrza wystąpiły po 15 czerwca. Najcieplej było od 18 do 23 czerwca 2002 roku. W południe temperatury powietrza miejscami przekraczały 30 °C. Natomiast nocą spadały do 15 °C lub rzadziej do 18 °C. W pozostałe dni, o tej samej porze, rzadko obniżały się one poniżej 10 °C. Temperatury te sprzyjały występowaniu burz. W czerwcu nie padało tylko średnio około 6 dni. W pozostałych dniach wystąpił przelotny deszcz

lub burza. Zdarzały się również burze intensywne, np. 6 i 11 czerwca. W sumie w Krakowie w czerwcu spadło 98 mm opadu, czyli nieco tylko więcej niż wynosi średnia wieloletnia – 91,3 mm (obliczenia własne ze średnich miesięcznych za lata 1951–2004). Lipiec tego roku był jeszcze cieplejszy – 20,4 °C, nawet w stosunku do wielolecia – 18,3 °C. W ciągu każdego dnia maksymalne temperatury powietrza sięgały ponad 20 °C. Natomiast w 11 dniach przekroczyły one nawet 30 °C. Nocą tylko lokalnie temperatura powietrza obniżała się w okolice 15 °C, sporadycznie do 10 °C. Temperatury sprzyjały licznym burzom, które wystąpiły w około 15 dniach. Pojawiały się najczęściej po południu; często poprzedzał je przelotny deszcz. Deszcz tego typu nie zawsze jednak kończył się burzą. Tylko kilka dni było bez deszczu. Miesięczna suma opadów wyniosła w Krakowie 138 mm i była znacznie wyższa od średniej z wielolecia – 93 mm (*Rocznik Statystyczny Krakowa*, 2005). Lokalnie jednak sumy miesięczne opadów były bardzo zróżnicowane. Roczna suma opadów w roku 2002 w Szymbarku koło Gorlic wyniosła 901 mm. Najwyższą sumę zanotowano w sierpniu – 136 mm. Natomiast w lipcu wystąpiło nieco mniej opadów, niż wynosi średnia z wielolecia. Warunki termiczno-opadowe w roku 2002 odbiegały od wielkości przeciętnych dla wielolecia. W Europie w tym roku zanotowano 15 dużych powodzi na terenie Austrii, Czech, Niemiec, Węgier i Federacji Rosyjskiej. W Polsce opady nie wywołały większych powodzi, a jedynie lokalne podtopienia.

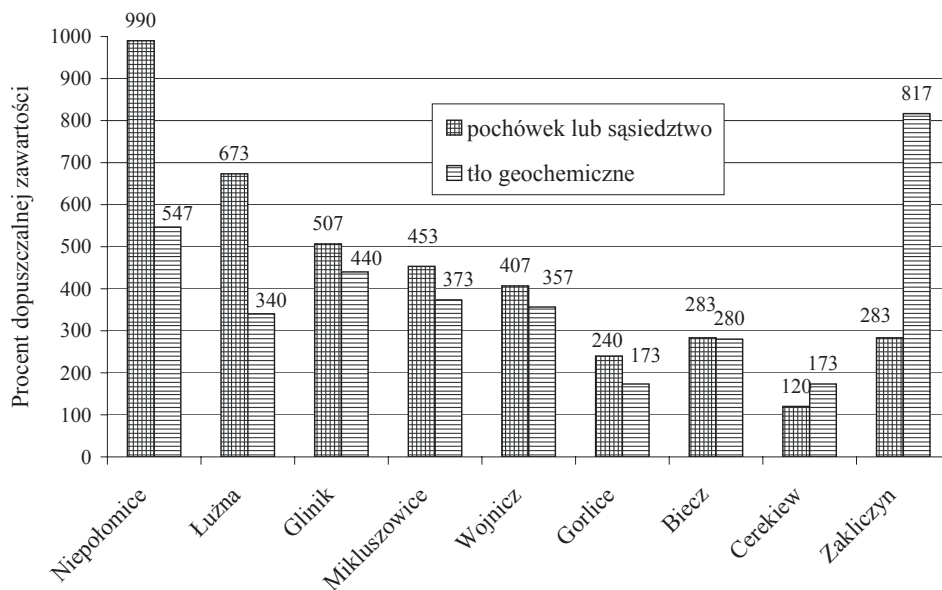


Ryc. 51. Porównanie średnich miesięcznych opadów dla Krakowa za lata 1951–2004 z opadami z lat 2002 i 2004 (średnio opady miesięczne obliczono na podstawie *Rocznika Statystycznego Krakowa* i innych źródeł)

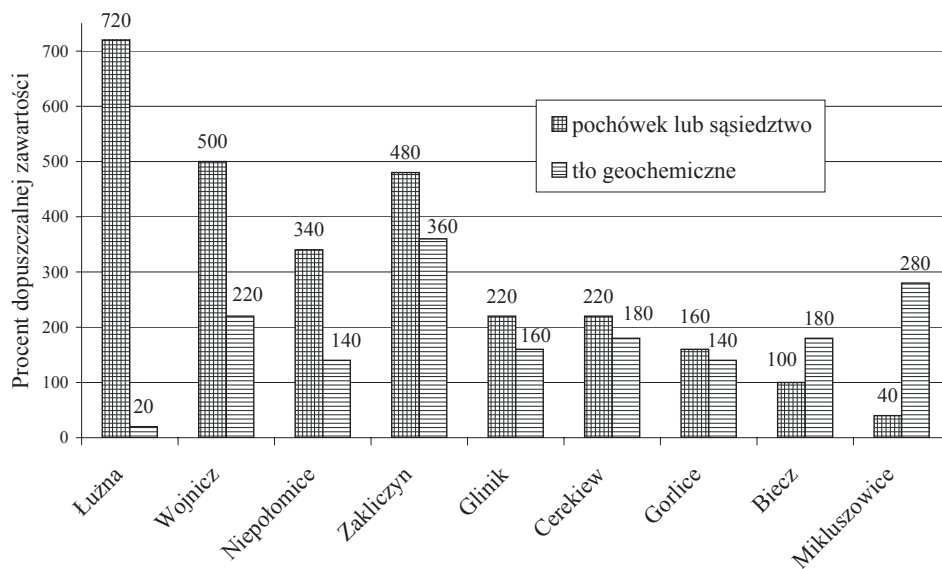
9.2. Porównanie stężeń badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków z miejscami porównawczymi

Istotną oceną jakości wody podziemnej na terenie grobów lub w ich sąsiedztwie jest porównanie składu chemicznego tej wody z wodą pobraną w miejscach porównawczych, określanych jako tło geochemiczne. Wybrane miejsca są na tyle odległe od grobów, by nie podlegać wpływowi pochówków. Ponadto ich cechy środowisk wykazują duże podobieństwo do środowisk miejsc pochówku.

Najwyższe przekroczenia dopuszczalnej zawartości oraz znaczne różnice pomiędzy jakością wody podziemnej pod grobami a miejscami porównawczymi dotyczą jonów żelazowych i manganowych. Większość z nich pochodzi z naturalnego środowiska. Szczególnie Fe odgrywa istotną rolę w procesach dekompozycji. Część tych jonów pochodzi z korozji pocisków, łusek, wyposażenia żołnierza, odłamków pocisków, korodujących krzyży, części ubrań itp. Ustalenie procentowego udziału pochodzenia jonów jest trudne do przeprowadzenia, a ponadto nie jest celem tej pracy. Najbardziej istotne w dekompozycji są te przedmioty, które znalazły się najbliżej ciała, a przede wszystkim te, które tkwią w ciele. Pełnią one rolę katalizatorów procesów rozkładu. Uwalniające się w procesie dekompozycji aktywne gazy łączą się z metalami i tworzą związki wyprowadzane ze środowiska przez wodę. Żelazo w środowisku pochówku występuje w różnej postaci: związków kompleksowych z materią organiczną (helaty), bezpostaciowych otoczek cząstek glebowych, w formie minerałów wtórnych oraz jest związane z kompleksem sorpcyjnym gleby. O pochodzeniu większości tych jonów z naturalnego środowiska świadczą duże ich ilości w miejscach porównawczych. Nie jest celowe badanie różnic tych zawartości, ponieważ środowiska – pochówku i porównawcze – nie są jednorodne ze względu na duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości związków Fe w osadach. To zróżnicowanie można obserwować nawet makroskopowo w odkrywkach, np. w Zbylitowskiej Górze, Niepołomicach, Barwinku i Błoniu (fot. 38, 42, 43, 44). W dwóch miejscach zawartość jonów żelaza w wodzie gruntowej jest wyższa w miejscach porównawczych, w sąsiedztwie cmentarza, tj. odpowiednio w Cerekwi – 0,52 mg/l Fe^{3+} i 0,36 mg/l Fe^{3+} oraz w Zakliczynie – 2,45 mg/l Fe^{3+} i 0,85 mg/l Fe^{3+} (ryc. 63). Studnia porównawcza w Zakliczynie położona jest na terasie Dunajca. Natomiast ta na cmentarzu została wykopana na stoku w utworach pylastych. Podobną relację stwierdzono także w przypadku jonów manganu w Bieczu, gdzie w próbce wody z miejsca porównawczego było 0,09 mg/l Mn^{2+} , a z cmentarza tylko 0,05 mg/l Mn^{2+} (ryc. 64). Najwyższe koncentracje jonów żelaza w roku 2004 mają miejsce na terasach rzek w: Niepołomicach, Mikłuszowicach, Wojniczu, Gliniku i Zakliczynie oraz na terenie osuwiska w Łuźnej. Przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w wodach podziemnych na gliniastych stokach w Karpatach są tylko dwukrotne – w Gorlicach i Zakliczynie (ryc. 52). Generalnie większe przekroczenia dotyczą jonów żelaza niż manganu, poza przypadkiem Cerekwi (ryc. 52, 53).

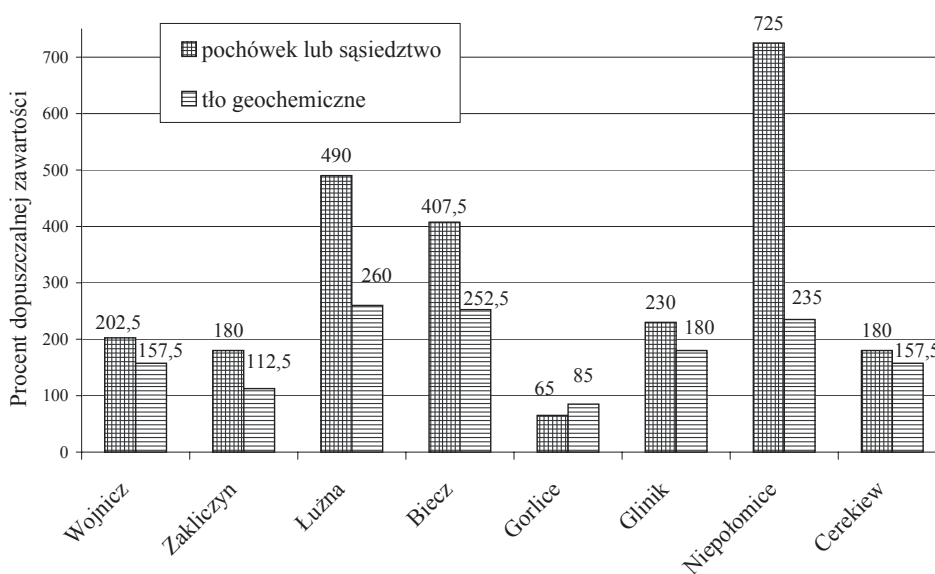


Ryc. 52. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów żelaza w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku



Ryc. 53. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów manganu w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku

Największe różnice pomiędzy koncentracją jonów fosforanowych w wodach podziemnych na i w pobliżu grobów w stosunku do miejsc porównawczych dotyczyły masowego grobu z II wojny w Niepołomicach, gdzie stwierdzono odpowiednio – 2,9 mg/l PO_4^{3-} i 0,94 mg/l PO_4^{3-} (ryc. 54, 55). Znacznie mniejsze tego typu różnice stwierdzono w grobach z I wojny położonych na osuwisku w Łużnej, odpowiednio – 1,96 mg/l PO_4^{3-} i 1,04 mg/l PO_4^{3-} oraz w Bieczu, odpowiednio – 1,63 mg/l PO_4^{3-} i 1,01 mg/l PO_4^{3-} (tab. 73). Natomiast na stokach w Karpatach i terasach rzecznych badane różnice zawartości tych jonów były relatywnie tylko około dwukrotnie wyższe pod pochówkami w wodach podziemnych. Koncentracje te były nieznacznie wyższe w stosunku do miejsc porównawczych i wynosiły odpowiednio w: Gliniku – 230% i 180%, Zakliczynie – 180% i 113%, Wojniczu – 203% i 158% oraz Cerekwi – 180% i 158% (ryc. 54). Jedynie w Mikłuszowicach wystąpiły duże różnice w zawartości jonów w próbkach pobranych w różnym czasie.

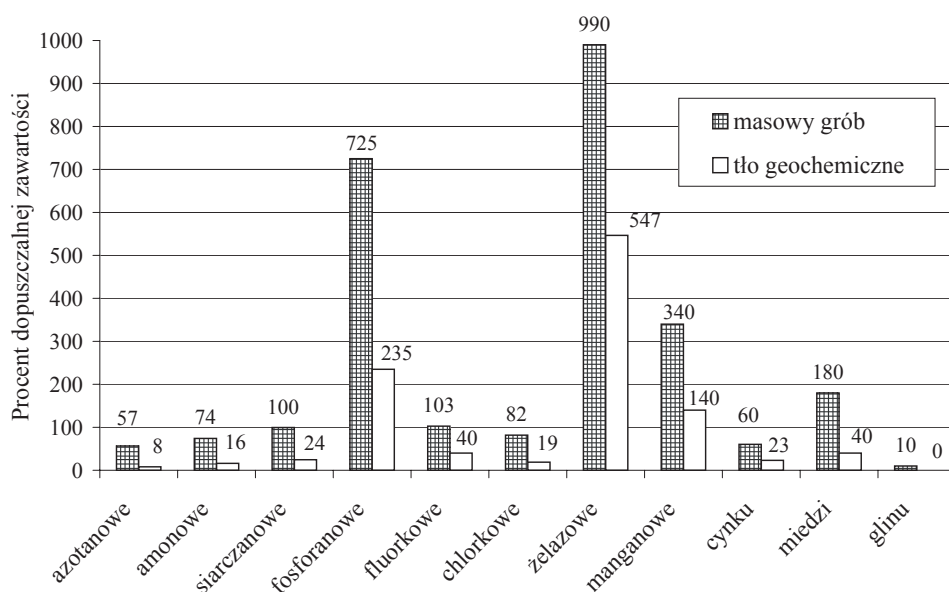


Ryc. 54. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku

Tabela 73. Zawartości badanych jonów w próbkach wody gruntowej pobranych na lub w pobliżu masowych grobów oraz cmentarzy w porównaniu z ich koncentracją w tle geochemicznym

Studnie w wybranych miejscowościach	Zawartości wybranych jonów w mg/l										
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Cl ⁻	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Al ³⁺
Cerekiew (cm.)	12,32	1,02	185,32	0,72	0,56	89,36	0,36	0,11	1,25	0,05	0,0
Cerekiew (por.)	5,21	0,52	115,21	0,63	0,22	85,21	0,52	0,09	1,32	0,01	0,01
Mikuszowice (cm.)	14,21	2,36	56,32	0,15	1,25	156,36	0,96	0,15	0,52	0,07	0,02
Mikuszowice (przy cm.)	5,22	2,03	60,22	0,75	0,52	110,21	1,36	0,02	0,75	0,01	0,05
Mikuszowice (por.)	9,21	1,52	62,21	0,85	0,36	158,32	1,12	0,14	0,63	0,06	0,12
Wojnicz (cm.)	8,36	5,23	82,21	0,81	0,72	56,36	1,22	0,25	1,02	0,01	0,02
Wojnicz (por.)	4,52	2,22	77,21	0,63	0,56	53,33	1,07	0,11	1,11	0,01	0,02
Zakliczyn (cm.)	10,01	1,12	45,21	0,72	1,02	100,52	0,85	0,24	2,11	0,02	0,0
Zakliczyn (por.)	1,85	1,36	13,32	0,45	0,96	100,99	2,45	0,18	1,36	0,03	0,0
Łuzna (przy mas.)	19,52	2,03	119,32	1,96	0,82	225,21	2,02	0,36	0,85	0,09	0,16
Łuzna (por.)	8,22	2,24	156,32	1,04	0,75	203,21	1,02	0,01	0,72	0,05	0,24
Biecz (cm.)	10,55	1,96	203,32	1,63	1,71	75,21	0,85	0,05	0,25	0,04	0,0
Biecz (por.)	11,41	2,33	112,31	1,01	1,14	82,12	0,84	0,09	0,15	0,03	0,0
Gorlice (przy mas.)	8,26	1,05	89,36	0,26	0,21	75,22	0,72	0,08	1,02	0,02	0,14
Gorlice (por.)	7,36	1,14	92,32	0,34	0,09	72,21	0,52	0,07	1,15	0,04	0,08
Glinik (przy mas.)	5,21	2,21	100,11	0,92	0,22	56,33	1,52	0,11	0,38	0,0	0,0
Glinik (por.)	4,25	0,85	52,21	0,72	0,14	45,21	1,32	0,08	0,23	0,0	0,0
Niepołomice (mas.)	28,27	1,11	248,8	2,9	1,54	204,31	2,97	0,17	1,81	0,09	0,02
Niepołomice (por.)	4	0,24	61,17	0,94	0,6	47,21	1,64	0,07	0,69	0,02	0,0

* cm. – studnia na cmentarzu; por. – studnia porównawcza; przy cm. – studnia w pobliżu cmentarza; przy mas. – studnia w pobliżu masowego grobu; mas. – piezometr na masowym grobie



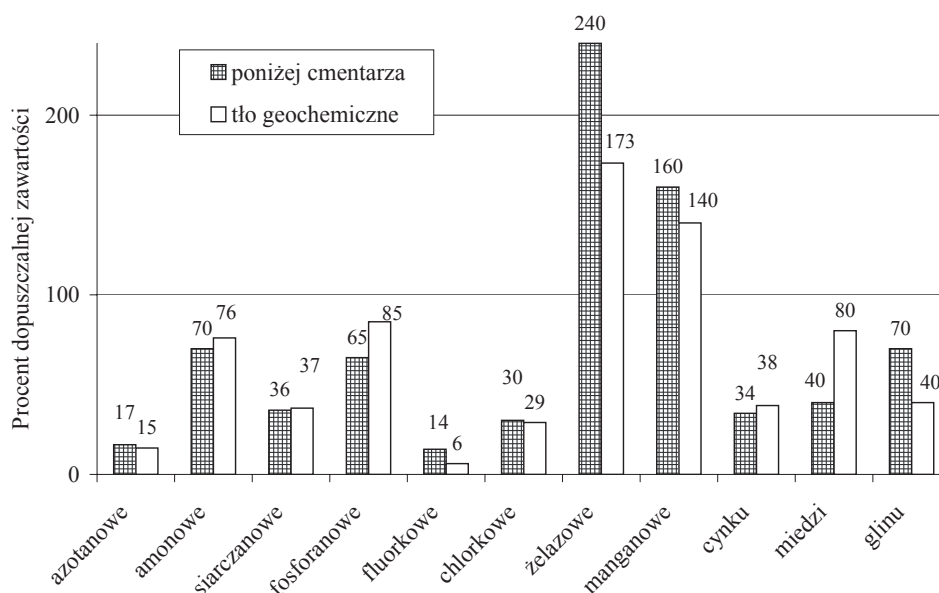
Ryc. 55. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z masowego grobu z II wojny i z miejsca porównawczego w Niepołomicach w dniu 8.10.2004 roku

Dużą amplitudę wahań zawartości jonów fosforanowych stwierdzono także na cmentarzu i poniżej jego granicy w Adelaide (Knight, Dent 1998). Ich koncentracje na tym cmentarzu wahały się w okresie od 12.02. do 30.09.1997 roku od 0 do 7,0 mg/l PO_4^{3-} , a poniżej niego od 0 do 6,2 mg/l PO_4^{3-} (tab. 71). W tym miejscu poziom jonów oceniono na wyższy niż inne porównywalne wyniki w Australii. Zawartość jonów fosforanowych w piaskach cmentarza Danescourt w Wolverhampton – w okresie suchszym o niższych temperaturach, które panowały w styczniu 2001 roku – jest niższa i wynosi od 0,057 mg/l PO_4^{3-} do 0,093 mg/l PO_4^{3-} w porównaniu z okresem wilgotniejszym o wyższych temperaturach, odpowiadających czerwcowi z roku 2000, kiedy to koncentracja zmieniała się w granicach od 0,06 mg/l PO_4^{3-} do 0,66 mg/l PO_4^{3-} (Trick i inni 2001). W okresie wilgotniejszym ze środowiska są wyprowadzane przez wodę bardziej rozpuszczalne związki: węglany, siarczany oraz chlorki wapnia, magnezu, potasu i sodu (Brower, Wilcox 1965; Isbell i inni 1983).

Przekroczeń dopuszczalnych zawartości jonów fosforanowych nie stwierdzono tylko w próbkach wody pobranych ze studni położonej poniżej grobu z I wojny w Gorlicach. W tym miejscu przekroczenia dotyczyły tylko jonów żelaza oraz manganu, podobnie jak i w miejscu porównawczym. Skład chemiczny wód gruntowych w obu tych studniach jest podobny (ryc. 56). W miejscu porównawczym kilka badanych jonów: amonowych, siarczanowych, fosforanowych, cynku i miedzi posiada nieznacznie wyższe koncentracje niż w wodzie ze studni leżącej 60 m poniżej grobu z I wojny. Ten masowy grób w Gorlicach położony jest na wierzchołku Góry Cmentarnej. Odpływ wód gruntowych odbywa się więc tutaj we wszystkich kierunkach. Pokrywa gliniasta na stokach tego wzniesienia jest stosunkowo płyt-

ka. Nie stwierdzono w niej procesów osuwiskowych. Wody gruntowe, a właściwie wgłębne, zalegają tu w strukturach fliszowych jednostki śląskiej na głębokości 5 m od powierzchni terenu (tab. 8).

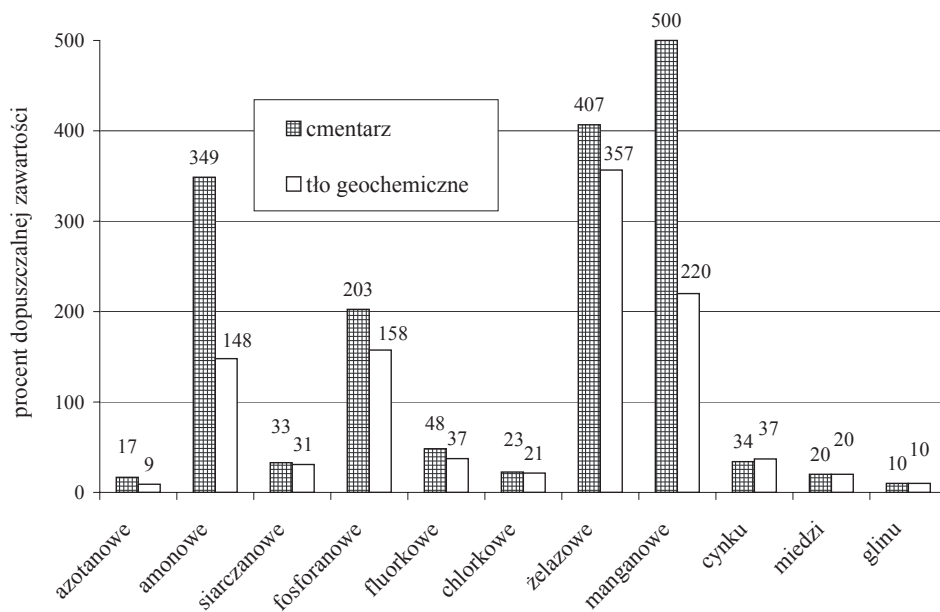
Mniejsze i mniej liczne przekroczenia dopuszczalnej zawartości dotyczą także jonów amonowych. Duże przekroczenia oraz znaczne różnice w koncentracji tego jonu pomiędzy badaną wodą z cmentarza a pobraną ze studni mają miejsce przede wszystkim na terasach. W wodzie gruntowej terasy Dunajca, na cmentarzu w Wojniczu, zmierzono $5,23 \text{ mg/l NH}_4^-$. Tło geochemiczne dla tego cmentarza wynosi $2,22 \text{ mg/l NH}_4^-$ (tab. 71). Podobne relacje wystąpiły na grobie z I wojny w Gliniku, gdzie zawartość w pobliżu wynosiła $2,21 \text{ mg/l NH}_4^-$ oraz w odległości około 200 m – $0,85 \text{ mg/l NH}_4^-$ (ryc. 57, 58).



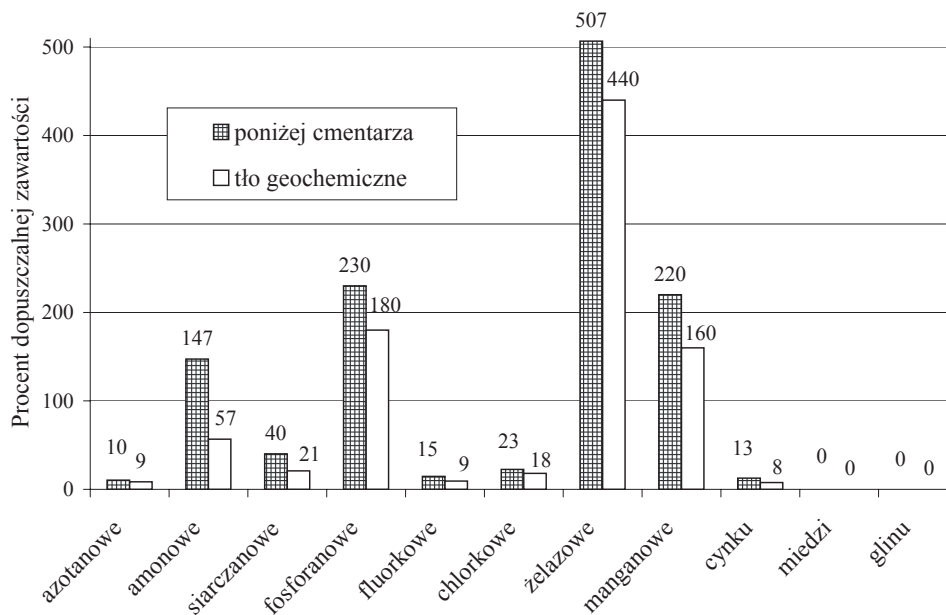
Ryc. 56. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Gorlicach w dniu 14.11.2004 roku

Tego rodzaju mniejsze przekroczenia występują w wodzie ze studni położonych poniżej pochówków, na karpackich, osuwiskowych stokach w Łużnej – 135% oraz w Bieczu – 131%. Natomiast badane przekroczenia jonów amonowych w próbkach wody z miejsc porównawczych dla tych studni są nawet wyższe i wynoszą w Łużnej – 149% oraz w Bieczu – 155% (ryc. 59, 60). Podobną prawidłowość stwierdzono w wodach ze studni położonych na stokach w Zakliczynie i Gorlicach (ryc. 56, 61). Studnia wykorzystana do porównań w Łużnej była tylko częściowo zakryta.

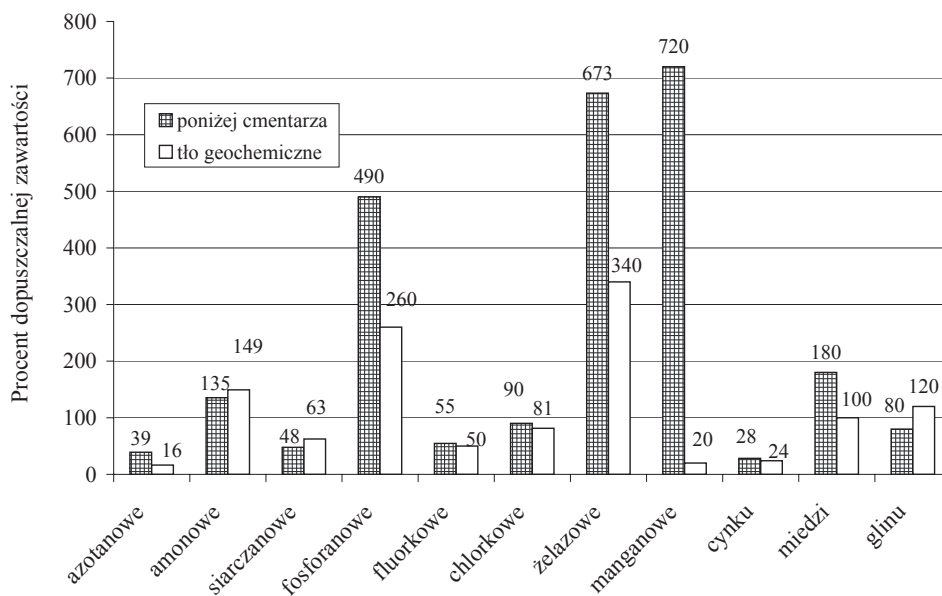
Uzupełniające obserwacje potwierdziły możliwość jej zanieczyszczenia substancją organiczną z zewnątrz. Natomiast studnia porównawcza w Bieczu leży na sąsiednim osuwiskowym zboczu powyżej zabudowań. Wody gruntowe tego zbocza nie mają kontaktu z wodami spływającymi z masowego grobu. Z kolei studnia



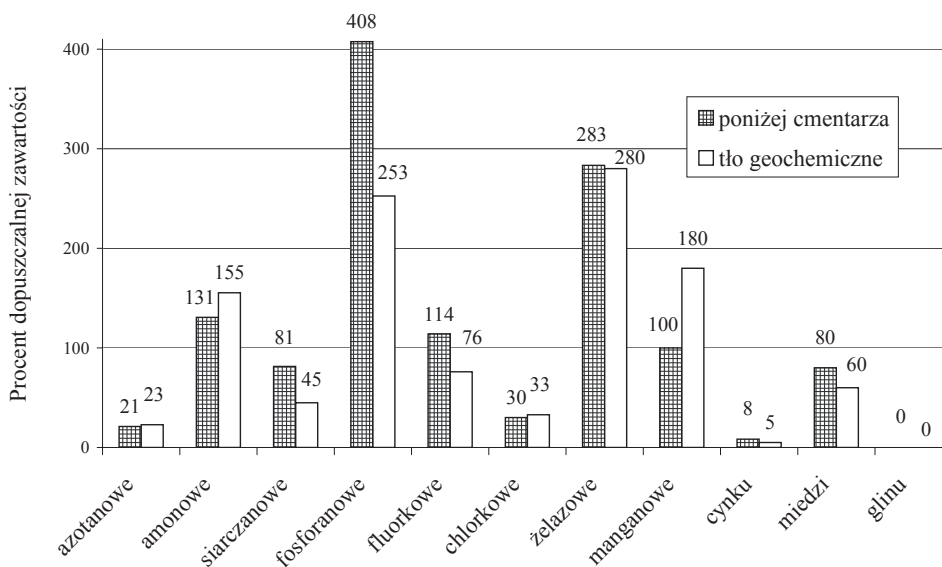
Ryc. 57. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Wojniczu w dniu 14.11.2004 roku



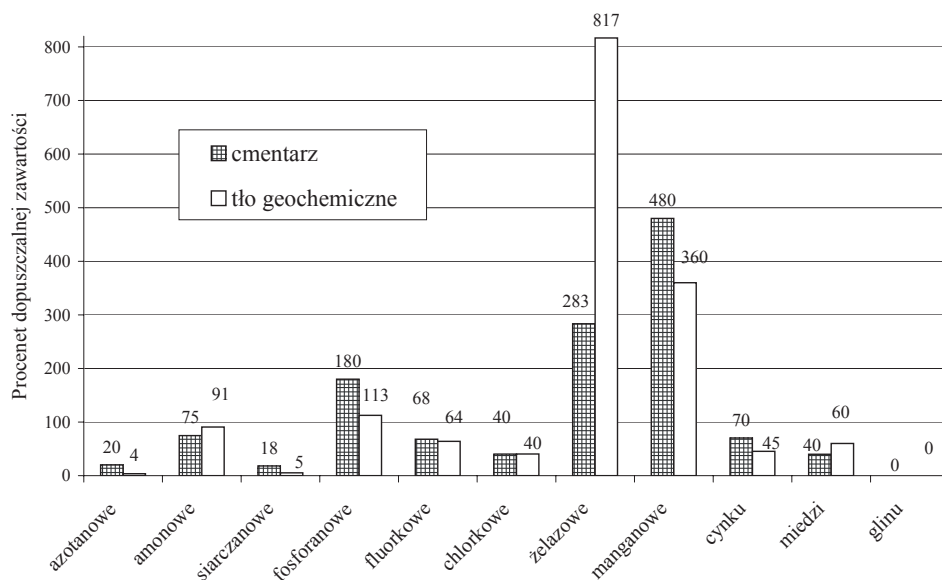
Ryc. 58. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Gliniku w dniu 14.11.2004 roku



Ryc. 59. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Łużnej w dniu 14.11.2004 roku



Ryc. 60. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Bieczu w dniu 14.11.2004 roku

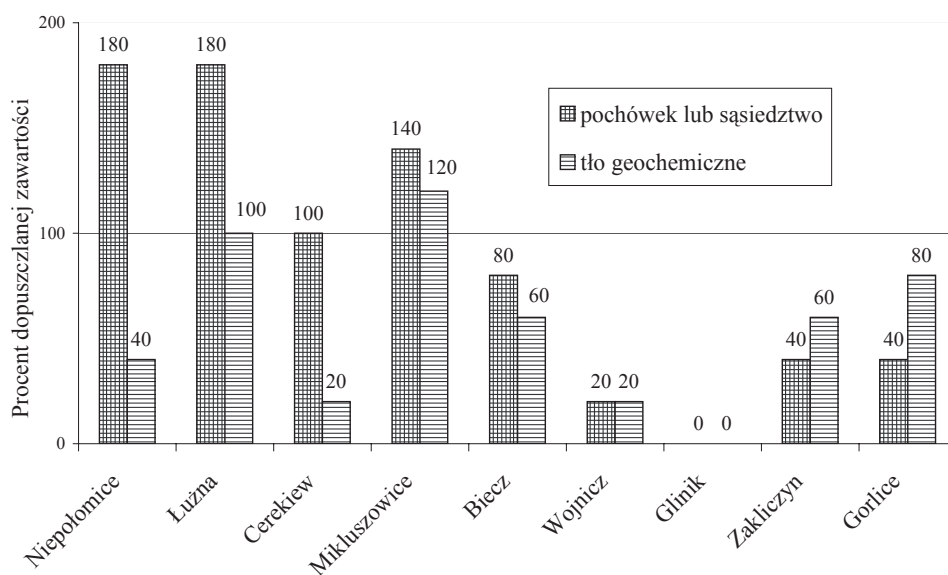


Ryc. 61. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Zakliczynie w dniu 14.11.2004 roku

porównawcza w Zakliczynie leży na terasie w pobliżu drogi i jest tylko częściowo zakryta drewnianą pokrywą. Ponadto woda z tej studni pobierana jest wiadrem, które użytkownicy czasami kładą obok na trawniku. Natomiast górna krawędź przypowierzchniowego kręgu studni porównawczej w Gorlicach jest co prawda przykryta betonową płytą, ale znajduje się ona na wysokości trawnika. Podczas większych opadów spływająca po lekko nachylonym stoku woda przesącza się w małej ilości do studni.

Z pozostałych badanych jonów wyróżniają się jony miedzi (ryc. 62). Zdecydowanie wyższe zawartości tych jonów występują w próbkach wody z masowych grobów lub ich sąsiedztwa w stosunku do stężeń w miejscach porównawczych. Relacje te wynikają z obecności w miejscach pochówku: wyposażenia grzebanych żołnierzy i ludności cywilnej, pocisków w ich ciałach, łusek porzucanych na polach bitew, okuć trumien itp. Ilości jonów miedzi nie są obecnie już tak duże, by we wszystkich badanych miejscach wystąpiły przekroczenia dopuszczalnych zawartości. Istotne odchylenia od dopuszczalnych stężeń i jednocześnie duże różnice w zawartościach tych jonów w wodzie gruntowej pobranej z terenu masowych grobów i z miejsc porównawczych miały miejsce w Niepołomicach oraz w Łużnej. Koncentracje tych jonów wynosiły odpowiednio: w Niepołomicach $0,09 \text{ mg/l Cu}^{2+}$ i $0,02 \text{ mg/l Cu}^{2+}$ oraz w Łużnej $0,09 \text{ mg/l Cu}^{2+}$ i $0,05 \text{ mg/l Cu}^{2+}$ (ryc. 55, 59). Masowy grób w Łużnej zlokalizowany jest na stoku, na którym rozegrała się jedna z krwawych bitew I wojny, zaliczanych do tzw. bitwy gorlickiej. Na polu walki pozostało między innymi mnóstwo pocisków, odłamków, łusek, zawierających także Cu. Istotna różnica w koncentracji badanych jonów względem tła geochemicznego wystąpiła także w Cerekwi, gdzie stwierdzono odpowiednio: na cmentarzu para-

fialnym – 0,05 mg/l Cu^{2+} i w miejscu porównawczym – 0,01 mg/l Cu^{2+} (tab. 71). Stężenia te nie są jednak wysokie. Pochówki miejscowej ludności zawierają zatem mało przedmiotów zawierających Cu. Natomiast podobne zawartości miały jony miedzi w miejscach porównawczych oraz w sąsiedztwie grobu z I wojny w Gliniku oraz na cmentarzu w Wojniczu (ryc. 62). Z kolei na cmentarzu w Zakliczynie i poniżej masowego grobu w Gorlicach koncentracje tych jonów były niższe niż ich tło geochemiczne. Już wcześniej zwracano uwagę na brak kontaktu wód spływających z grobów z wodami gruntowymi terasy w Zakliczynie lub wgłębnymi w Gorlicach.

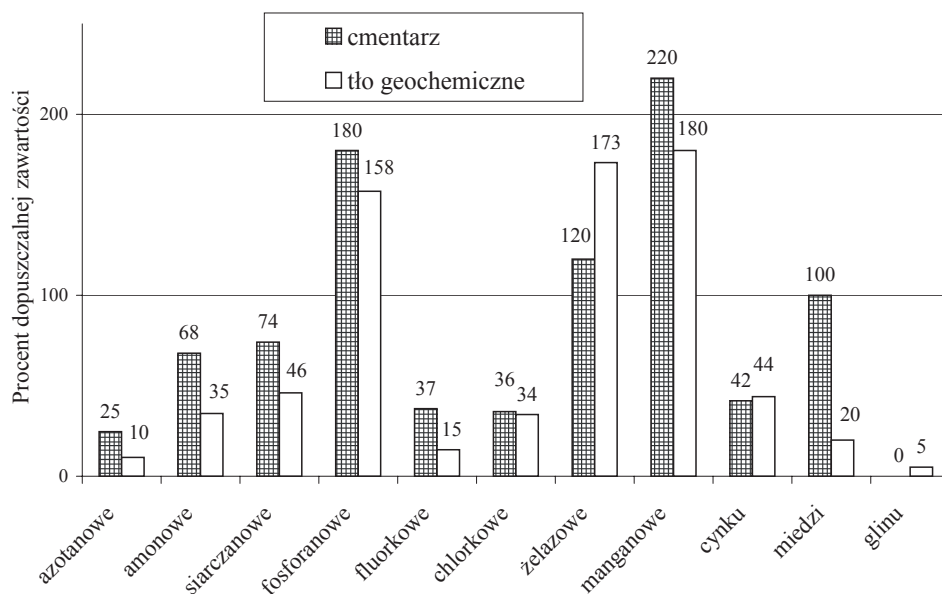


Ryc. 62. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów miedzi w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówków lub w ich sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku

W Puszczy Niepołomickiej na skraju lasu rozstrzelano w okresie II wojny około 700 osób. Ich zwłoki złożono do piasku w płytkiej masowej mogile. Zapewne część ofiar posiadała przy sobie osobiste drobiazgi. Po wojnie w Oświęcimiu złodzieje nocami wywozili z masowego grobu worki ziemi. Po jej przesianiu prawdopodobnie odzyskiwali cenne drobiazgi. Ponadto w zastrzelonych tkwiły pociski, którymi ich zabito. Dla środowiska nie bez znaczenia są łuski po nabojach, które pozostały w miejscach zbrodni. Niemcy pod koniec wojny zbierali te łuski. Masowy grób w Łuznej to z kolei jeden z największych grobów z I wojny światowej na terenie Polski. Pochówek ten jest rozrzucony po stoku wzniesienia zwanego Góra Pustki. Na tym polu bitwy, jak wspomniano wcześniej, pozostało wiele metalowych fragmentów uzbrojenia i wyposażenia żołnierzy. Ponadto stok został przed bitwą poprzecinany licznymi okopami, a później po bitwie dodatkowo spaluchniły go ludzkie ręce drążące grobowe doły. W miejscach tych zwiększył się przepływ podpowierzchniowy i wilgotność gruntu (Dent 1995). Na grobach żołnierzy postawiono setki żeliwnych krzyży i zamontowano mnóstwo żelaznych tabliczek. Większość

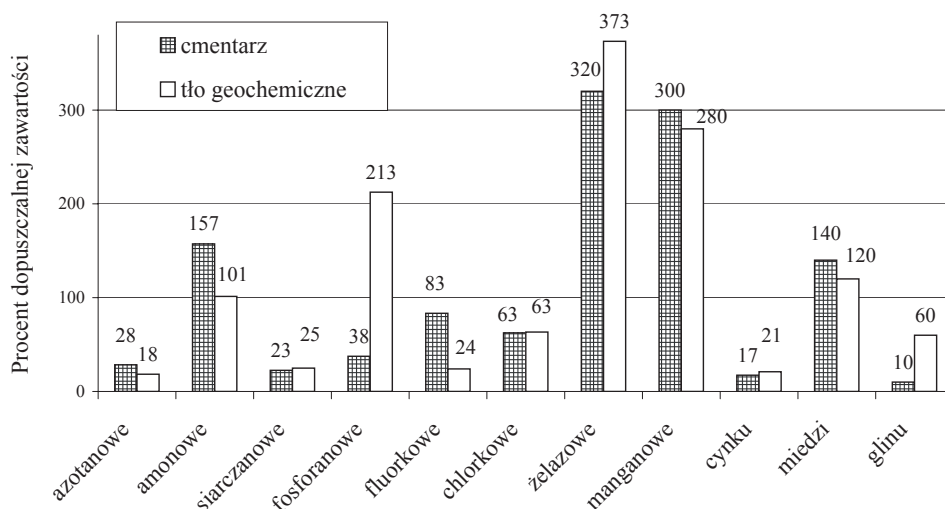
z nich do dziś skorodowała. W części środkowej i dolnej tego cmentarnego stoku postawiono nowe krzyże, np. na grobach żołnierzy węgierskich.

Wymienione okoliczności sprzyjają obecności jonów metali w wodach gruntowych. Dotyczy to również jonów glinu i cynku stwierdzonych w wodach podziemnych pod grobami z I wojny w Gorlicach i II wojny w Niepołomicach (ryc. 55, 56). Badane jony są obecne także w tego rodzaju wodach na cmentarzach w Wojniczu, Zakliczynie, Cerekwi i Mikłuszowicach (ryc. 57, 61, 63, 64). Ich obecność związana jest z metalowymi krzyżami na powierzchni oraz z drobnymi osobistymi przedmiotami zakopanymi wraz z pochówkiem.

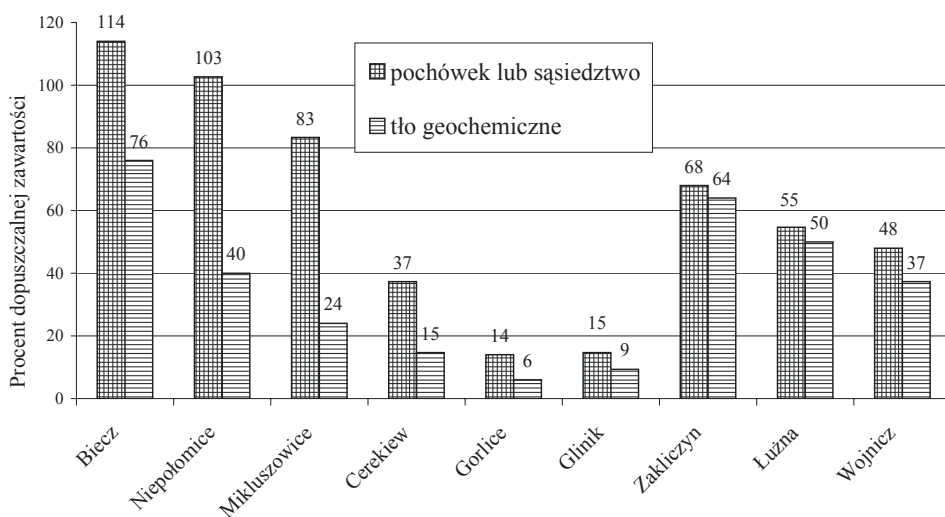


Ryc. 63. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Cerekwi w dniu 27.10.2004 roku

Z pozostałych badanych jonów na uwagę zasługują jony fluorkowe (ryc. 65). Jony te były obecne we wszystkich badanych próbkach. Jednak tylko w dwóch miejscach ich koncentracja nieznacznie przekroczyła dopuszczalne zawartości dla wody pitnej w Niepołomicach – 103% i Bieczu – 114% (ryc. 55, 60). W tych miejscowościach oraz w Mikłuszowicach stwierdzono również największe różnice pomiędzy zawartościami jonów w próbkach wody gruntowej pobranych z miejsc pochówków i w ich pobliżu a tłem geochemicznym. Na cmentarzu w Mikłuszowicach pomierzono – 1,25 mg/l F⁻ i odpowiednio w miejscu porównawczym – 0,36 mg/l F⁻ (tab. 73). Podobne relacje odnotowano w Niepołomicach, gdzie w wodzie na masowym grobie z II wojny było 1,54 mg/l F⁻, a w tle geochemicznym – 0,6 mg/l F⁻. Mniejsze różnice wystąpiły poniżej masowego grobu z I wojny w Bieczu, odpowiednio – 1,71 mg/l F⁻ i 1,14 mg/l F⁻ (ryc. 65). Zdecydowanie mniejsze koncentracje tych jonów, ale względnie duże dla tego rodzaju związków różnice, stwierdzono także na: cmentarzu w Cerekwi – odpowiednio 0,56 mg/l F⁻



Ryc. 64. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Mikłuszowicach w dniu 27.10. 2004 roku



Ryc. 65. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów fluorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku

i 0,22 mg/l F⁻, poniżej masowych grobów z I wojny w: Gorlicach – odpowiednio 0,21 mg/l F⁻ i 0,09 mg/l F⁻ oraz w Gliniku – odpowiednio 0,22 mg/l F⁻ i 0,14 mg/l F⁻ (tab. 73). Natomiast w pozostałych badanych miejscach – na cmentarzach w Zakliczynie i Wojniczu oraz poniżej masowego grobu w Łużnej, stężenia badanych jonów są tylko nieznacznie wyższe od ich tła geochemicznego (ryc. 65). Niskie stężenia jonów fluorkowych, od 0,05 mg/l F⁻ do 0,15 mg/l F⁻, występują także na współcześnie funkcjonującym cmentarzu Danescourt w Wolverhampton

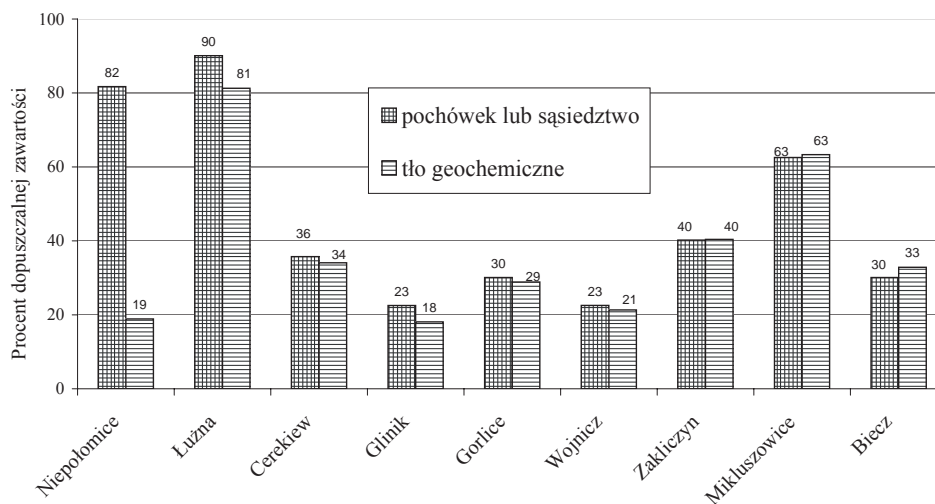
w Anglii (Trick i inni 2001). Wyniki te nie wskazują na zależność badanych różnic od daty pochówku, morfologii terenu oraz podłoża. Problem ten wymaga dalszych badań, które ze względu na relatywnie małe koncentracje badanych jonów należy rozszerzyć o inne miejsca pochówku.

Pozostałe badane jony: azotanowe, siarczanowe i chlorkowe występują we wszystkich analizowanych próbkach w ilościach, które nie zagrażają wodzie pitnej (ryc. 66). Jednak w przypadku jonów azotanowych stwierdzono ich istotnie wyższe koncentracje w wodach podziemnych na miejscu lub w pobliżu pochówków (ryc. 67). Dotyczy to zwłaszcza masowego grobu z okresu II wojny w Niepołomicach, gdzie w próbce wody z piezometru odnotowano 28,3 mg/l NO_3^- i odpowiednio w miejscu porównawczym 4 mg/l NO_3^- . Również Dent (1998) zaobserwował duże tego rodzaju różnice w okresie o mniejszej wilgotności, w środowisku gliniastych i mulistych piasków oraz czystych piasków na cmentarzu Guildford w Perth w Australii. Najwyższe stężenia pomierzył na cmentarzu – 33,2 mg/l NO_3^- . Natomiast tło geochemiczne wykazywało w tym miejscu maksymalną zawartość – 6,3 mg/l NO_3^- . Według niego związki azotowe „giną” w czasie i przestrzeni (Dent 2000a). Na cmentarzu Botany w Sydney poniżej ostatnich pochówków występuje trzy razy więcej N całkowitego niż poniżej granicy tego cmentarza. Jeszcze większe tego typu różnice w stężeniach jonów wykazano dla cmentarza Cheltenham w Adelaide. Tam w wodzie gruntowej było od 0 do 11,4 mg/l NO_3^- . Natomiast ich koncentracja poniżej granicy cmentarza wynosiła dwukrotnie mniej, od 0 do 0,6 mg/l NO_3^- (Knight, Dent 1998). Niewiele mniejsze podobne różnice występują również na cmentarzach w Milkuszowicach, Cerekwi, Zakliczynie i Wojniczu oraz na jednym grobie z I wojny w Łużnej (tab. 74). Na pozostałych grobach z I wojny światowej w: Gorlicach, Gliniku i Bieczu stężenia jonów azotanowych w wodach pobranych z użytkowanych studni położonych poniżej grobów są podobne do tła geochemicznego.

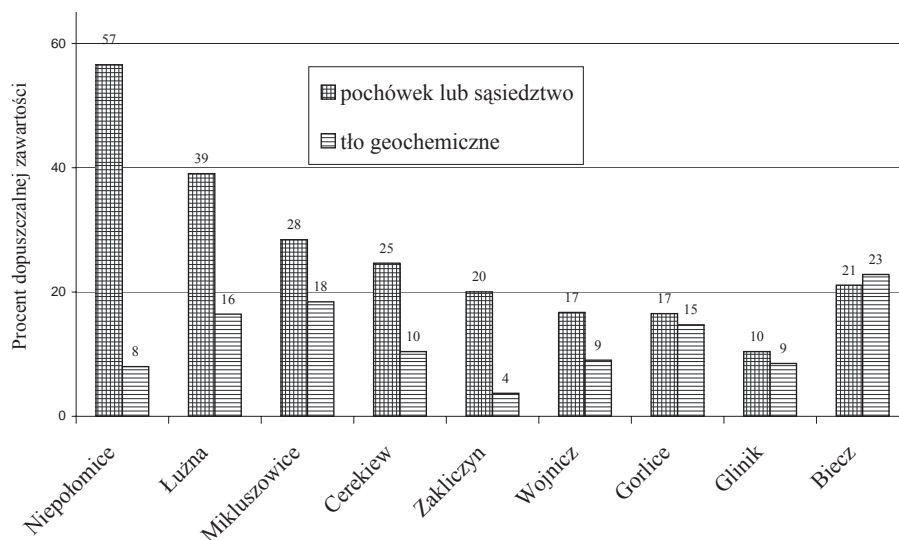
Największe różnice pomiędzy zawartością jonów siarczanowych na terenie lub w sąsiedztwie pochówków a tłem geochemicznym dotyczą jednak przeważnie innych grobów niż w przypadku jonów azotanowych, np. w Wojniczu, Mikłuszowicach, Gorlicach oraz Łużnej. Tło geochemiczne dla badanych jonów najbardziej różni się od ich koncentracji w masowym grobie w Niepołomicach, gdzie wynosi 248,8 mg/l SO_4^{2-} , gdy tymczasem w miejscu porównawczym – 61,17 mg/l SO_4^{2-} (ryc. 68). Nieco mniejsze tego rodzaju różnice w koncentracjach jonów pomierzonych w porównywanych miejscach dotyczą grobów z I wojny w Bieczu i Gliniku oraz cmentarzy w Cerekwi i Zakliczynie (tab. 74).

Jony chlorkowe wykazują największe podobieństwo pomiędzy ich zawartością w wodach gruntowych na wszystkich badanych cmentarzach i grobach z I wojny a ich tłem geochemicznym (ryc. 66). Wyjątkiem jest grób z II wojny w Niepołomicach, gdzie współcześnie odprowadzane są w głąb profilu jony chlorkowe (tab. 74). Podobną prawidłowość zauważył van Haaren w Holandii (1951). Jony te w towarzystwie Na^+ w dużej ilości odprowadzane były do wód gruntowych. Również Dent (1995) potwierdza występowanie w wodach gruntowych pobranych w pobliżu niedawnych pochówków w Australii, szczególnie na cmentarzu Cheltenham, relatywnie wyższe stężenia wielu jonów: azotanowych, azotynowych, amonowych, fosforanowych, żelaza, sodu, potasu, magnezu oraz chlorkowych. Ich koncentracje mieściły się w przedziale od 52 mg/l do 1120 mg/l. Wyniki te

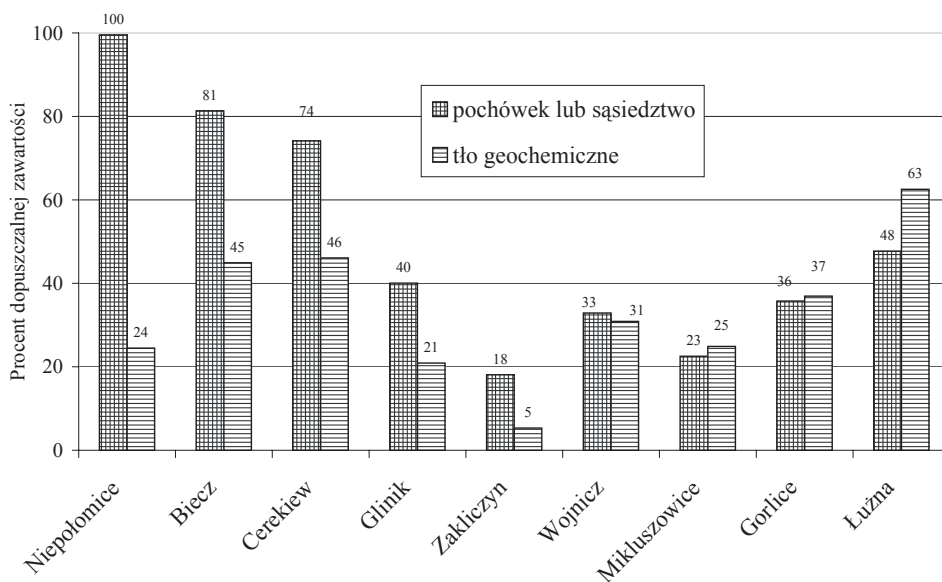
potwierdzają badania Gray i współpracowników (1974), którzy także pomierzyli najwyższe stężenia tych jonów w osadach pochówku oraz pod pochówkiem. Koncentracje te, według nich, zmniejszają się istotnie w odległości od 100 m do 200 m, i jeszcze gwałtowniej w dalszych odległościach od pochówków. Wysokie zawartości wielu jonów utrzymują się współcześnie również w wodach gruntowych pod starymi cmentarzami z XIX wieku, np. w Nottingham (Trick i inni 1999).



Ryc. 66. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów chlorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku



Ryc. 67. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów azotanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku



Ryc. 68. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów siarczanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku

Jony siarczanowe i chlorkowe, w kilku przypadkach, mają wyższe stężenia w próbkach pobranych z miejsc porównawczych niż z grobów (ryc. 66, 77, 68, 79). Takie relacje dotyczą przeważnie grobów z I wojny w Bieczu, Łużnej i w Gorlicach. Groby te wykopano w podłożu gliniastym na lokalnych spłaszczeniach lub stokach. Ponadto w Wojniczu i Mikluszowicach występują zbliżone koncentracje danych jonów w porównywanych miejscach. Na problem ten zwrócili uwagę również inni badacze (Dent 1998). Podobny przypadek miał miejsce na cmentarzu Cheltenham w Adelaide, gdzie poniżej grobów stwierdzono wyższe zawartości tych jonów niż na cmentarzu (Knight, Dent 1998). Zanieczyszczona woda spływa z cmentarzy śródpokrywowo zgodnie ze spadkiem hydraulicznym zwierciadła wody gruntowej. Z czasem zanieczyszczenie to zostaje przetransportowane poza cmentarz. Proces ten odbywa się etapami w zależności od ilości wody. Problem ten nie jest jeszcze dobrze poznany. Nie wiadomo, jakie nowe związki chemiczne powstają i jak długo mogą one pozostawać w naturalnym środowisku. Prawdopodobnie jony te szybko przedostają się do strefy saturacji i zostają wyprowadzone przez wodę poza cmentarz. Są to jony najbardziej charakterystyczne dla strefy saturacji (Dent 2003). Przy braku wody bądź jej ruchu łatwo tworzą liczne nowe związki chemiczne. Niektóre z nich są już znacznie gorzej rozpuszczalne. Chlor i siarka należą do bardzo aktywnych chemicznie pierwiastków. Ich jony dominują więc w wodach pobranych najbliżej pochówków, a nie poza cmentarzami, np. w Mikluszowicach, Sydney i Perth (Dent 2000a). Dent, poza wspomnianymi jonami, uwzględnia w badaniach również inne wskaźniki: zawartość węgla organicznego, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu w wodzie, pH i przewodność elektryczną.

Tabela 74. Zawartości wybranych jonów w wodach gruntowych pod wybranymi masowymi grobami i cmentarzami oraz ich tło geochemiczne

Miejscowości z badanymi pochówkami	Zawartości wybranych jonów w mg/l w wodach gruntowych pod masowymi grobami i cmentarzami oraz ich tło geochemiczne					
	azotanowe		siarczanowe		chlorkowe	
	groby	tło	groby	tło	groby	tło
Niepołomice (mas., II w.) [*]	28,27	4	248,8	61,17	204,31	47,21
Glinik (mas., I w.)	5,21	4,25	100,11	52,21	56,33	45,21
Biecz (mas., I w.)	10,55	11,41	203,32	112,31	75,21	82,12
Cerekiew (cm.)	12,32	5,21	185,32	115,21	89,36	85,21
Wojnicz (cm., I w.)	8,36	4,52	82,21	77,21	56,36	53,33
Mikłuszowice (cm., I w.)	14,21	9,21	56,32	62,21	156,36	158,32
Zakliczyn (cm., I w.)	10,01	1,85	45,21	13,32	100,52	100,99
Łużna (mas., I w.)	19,52	8,22	119,32	156,32	225,21	203,21
Gorlice (mas., I w.)	8,26	7,36	89,36	92,32	75,22	72,21

^{*} mas., II w. lub I w. – masowy grób z II lub I wojny światowej; cm. – cmentarz; cm., I w. – masowy grób położony na cmentarzu

Przedstawione wyżej różnice w koncentracjach jonów względem tła geochemicznego wskazują na:

- większe koncentracje i znacząco większe badane różnice w przypadku grobów z II wojny, np. w Niepołomicach,
- w zależności od rodzaju jonu w innych grobach, występują istotne różnice pomiędzy koncentracją jonów w wodach podziemnych pod grobami a ich tłem geochemicznym,
- środowisko masowych grobów oraz cmentarzy w pierwszej kolejności opuszczają jony chlorkowe, następnie siarczanowe, a na końcu azotanowe. Spośród trzech badanych jonów: azotanowych, siarczanowych i chlorkowych, wspólnie wyprowadzane są z grobów z okresu I wojny jony:
 - siarczanowe z grobów z I wojny w Bieczu i Gliniku,
 - azotanowe z cmentarzy w Mikłuszowicach i Wojniczu,
 - azotanowe i siarczanowe z cmentarzy w Zakliczynie i Cerekwi,
 - chlorkowe i azotanowe z grobu z I wojny w Łużnej.

Uzyskane wyniki wskazują na niewielką współczesną migrację jonów siarczanowych, chlorkowych i azotanowych z masowych grobów z okresu I wojny. Podobnie w małych ilościach obecnie odprowadzane są jony azotanowe i siarczanowe z czynnych małych cmentarzy. Natomiast woda głębinowa zalegająca w strukturach fliszowych w sąsiedztwie masowego grobu, np. z okresu I wojny w Gorlicach, nie jest zanieczyszczona produktami dekompozycji. Potencjalna szybkość rozkładu ciała trwa od 10 do 12 lat. Połowa ładunku zanieczyszczenia migruje w pierwszym roku rozkładu i przepoławia się co roku, czyli po 10 latach pozostaje od 0,01% do 0,001% oryginalnych zanieczyszczeń (Environment Agency 2002). Potencjalnie najdłużej, bo aż 10 lat, krążą w środowisku: węgiel

organiczny, jony amonowe oraz jony wapnia. Po tylu latach pozostają one w środowisku na poziomie 0,01%. Tylko 0,001% produktów dekompozycji zanieczyszcza środowisko po: 4 latach – jonami magnezu, 5 latach – jonami żelaza, 7 latach – jonami chlorkowymi, potasu i sodu, 8 latach – jonami siarczanowymi oraz 9 latach – jonami fosforanowymi (Environment Agency 2002). Nieco inaczej proces ten postrzega Trick i współpracownicy (Trick i inni 1999). Według nich wszelkie substancje rozpuszczone, w tym produkty dekompozycji, docierają do poziomu wody gruntowej po 50 latach. Proces ich przemieszczania ma charakter wygasającego sinusoidalnego impulsu o 5-letnim okresie wzrostu zanieczyszczeń. Wnioski te dotyczą środowiska jednego cmentarza, na którym przeprowadzono krótkie badania w panujących wówczas warunkach. Ponadto odnoszą się one do materii miękkiej. Uzyskanie ogólniejszych wyników związane jest z przeprowadzeniem podobnych badań na dużej liczbie cmentarzy i masowych grobów, zlokalizowanych w różnych środowiskach i podlegających różnym czynnikom.

Największy wpływ masowego pochówku na właściwości chemiczne wód podziemnych wywiera masowy grób z II wojny w Niepołomicach. W pobranych próbkach wody z piezometru zlokalizowanego na grobie stwierdzono wszystkie badane jony. Ich koncentracje były zawsze relatywnie wysokie i zdecydowanie większe w masowym grobie niż w miejscu porównawczym (ryc. 55). Próbki z masowego grobu zawierały typowe dla tego środowiska duże ilości jonów żelaza i manganu. Były one jednak zdecydowanie większe w wodzie spod grobów. Znaczna ich część jest związana z naturalnym środowiskiem, które pod tym względem jest bardzo zróżnicowane (Żychowski i inni 2006a). Trick i współpracownicy (1999) łączą występowanie Mn z redukcją piaskowców triasowych. Te naturalnie występujące pierwiastki zostają zatrzymane w miejscu pochówku w związku z połączeniem z produktami dekompozycji. Tworzą się wówczas trudno rozpuszczalne związki chemiczne.

Szczególnie wysokie zawartości jonów fosforanowych stwierdzono w Niepołomicach (ryc. 55). Ich ilość w próbce z grobu z II wojny była kilkakrotnie większa niż w miejscu porównawczym. Podobna prawidłowość dotyczyła jonów miedzi, ale przy ich mniejszej koncentracji. Procesom dekompozycji sprzyja środowisko zailonych piasków z dużymi wahaniami poziomu wody gruntowej sięgającej pochówku (Dent 2000b; Żychowski i inni 2006c). Procesy te wspomagają także i inne czynniki.

Względnie wysokie przekroczenia dopuszczalnych zawartości kilku jonów: fosforanowych, amonowych, fluorkowych (tylko w Bieczu), miedzi, żelaza i manganu odnotowano poniżej dwóch masowych grobów z okresu I wojny światowej, położonych na osuwiskach w Łużnej i Bieczu (ryc. 59, 60). Z jonów tych tylko jony amonowe, żelaza i manganu mogą pochodzić z innych jeszcze źródeł niż z dekompozycji pochówku. Studnia porównawcza w Łużnej była tylko częściowo zakryta i umiejscowiona na osuwisku. Zanieczyszczenie organiczne mogło zatem dostać się do wody w studni z powierzchni terenu. Natomiast jony żelaza i manganu są charakterystyczne dla badanych środowisk.

W innym grobie, też z okresu I wojny w Gliniku, przekroczenia dopuszczalnych zawartości dotyczyły jonów fosforanowych – 230% i amonowych – 147% oraz tych, związanych ze środowiskiem terasy, jonów żelaza i manganu (ryc. 58). Nie są to jednak duże odchylenia od dopuszczalnych przekroczeń. Ten niewiel-

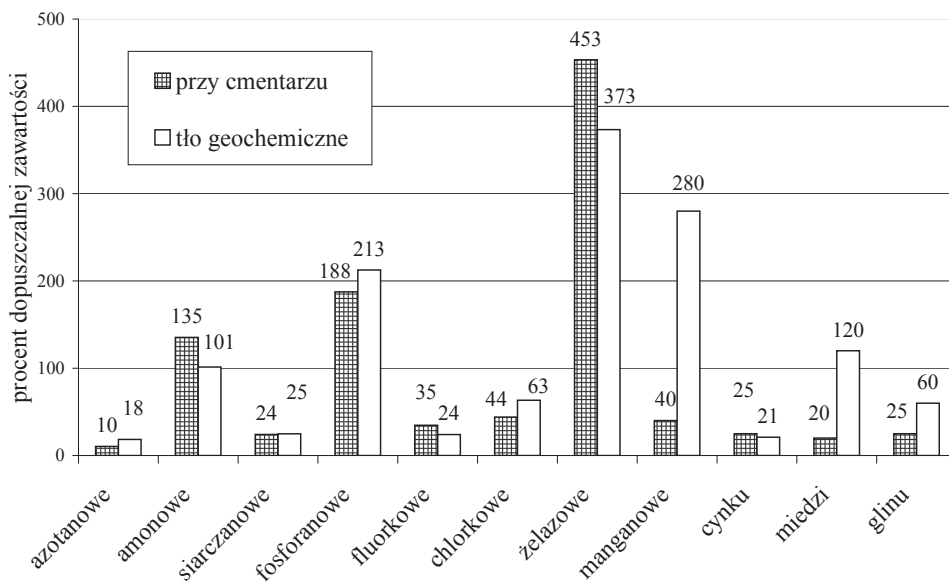
ki masowy grób położony jest w zróżnicowanym środowisku osadów terasy rolnej Ropy. Wodę do badań pobierano ze studni zlokalizowanej w sąsiedztwie tego grobu w odległości około 15 m. Odpływ wody gruntowej z tego grobu odbywa się głównie w kierunku rzeki. Badana studnia leży jednak z boku cmentarza, czyli od kierunku prostopadłego do rzeki pod kątem około 70°.

W studni leżącej poniżej masowego grobu na Górze Cmentarnej w Gorlicach obecne są w wodzie wszystkie badane jony. Relatywnie wyższe zawartości dotyczą jednak wyłącznie jonów żelaza i manganu (ryc. 56). Wody podziemne zasilające tę studnię krążą w utworach fliszowych. Ten duży masowy grób z okresu bitwy gorlickiej leży w gliniastych pokrywach na rozległej wierzchołku Góry Cmentarnej. Jej odwodnienie odbywa się we wszystkich kierunkach. Dopływ wody do studni z tego grobu mógł być prawdopodobnie tylko sporadyczny. Można tego oczekiwać w okresie katastrofalnych opadów w postaci spływów śródpokrywowych.

Stosunkowo najniższe przekroczenia dopuszczalnych zawartości dotyczą próbek wody pobranych ze studni na cmentarzach, na których zlokalizowane były również masowe groby w Wojniczu, Zakliczynie i Mikłuszowicach (ryc. 57, 61, 64). Stosunkowo niewielkie przekroczenia – około dwukrotne, dotyczyły jonów fosforanowych w Wojniczu, Cerekwi i Zakliczynie. Natomiast stężenia jonów amonowych były wysokie w Wojniczu i nieznaczne w Mikłuszowicach (ryc. 57, 64). Analiza porównawcza składu jonowego wody z cmentarza i z miejsca porównawczego w Mikłuszowicach wskazuje na wyższe koncentracje jonów fosforanowych, manganu i miedzi w próbkach pobranych z nekropolii. Ponadto w dniu 9.06.2002 roku stwierdzono tu bardzo wysokie koncentracje jonów fosforanowych – 12,02 mg/l PO_4^{3-} . Zawartość tych jonów, jak wynika z prowadzonych badań, jest bardzo zmienna w czasie. Potwierdza to analiza wykonana 28.10.2004 roku, kiedy to w tym samym miejscu stwierdzono tylko 0,15 mg/l PO_4^{3-} . Natomiast pozostałe badane jony, np. manganu, miedzi i glinu wykazywały zdecydowanie wyższe zawartości w miejscu porównawczym (ryc. 69). Takie zróżnicowanie koncentracji jonów wynika z kilku przyczyn. Cmentarz w Mikłuszowicach położony jest na piaszczystej wydmy terasy Raby w odległości około 1 km od rzeki. Natomiast przydomowa studnia porównawcza leżała w odległości 500 m od cmentarza, w utworach pylasto-żwirowych na tej samej terasie Raby, ale bliżej koryta i nie na wydmy. W miejscu porównawczym jest dużo większe zróżnicowanie osadów. Pochodzą one z innej dostawy niż osady pod cmentarzem. Ich skład chemiczny jest więc również inny. Pomiedzy studnią porównawczą a rzeką znajdują się głębsze rowy odwadniające terasę. Odprowadzają one wodę równolegle do rzeki na tym odcinku Raby, gdzie utwory podłoża są słabo przepuszczalne. Problem zróżnicowania jakości wód gruntowych w pobliżu cmentarza związany jest również z kierunkami odpływu wód w terenie płaskim. Potwierdzeniem tego wniosku jest analiza próbek wody pobranych ze studni położonej u podnóża wydmy w sąsiedztwie cmentarza w Mikłuszowicach, w odległości 25 m od ogrodzenia, w kierunku północnym. Natomiast Raba płynie na wschód od cmentarza. Kierunki ku rzece i porównawczej studni są zatem odchyłone o kąt 90°. Skład chemiczny wody pobranej z tych dwóch studni leżących poza cmentarzem jest bardzo podobny. Jedynie kilka jonów: manganu, miedzi i glinu posiada zdecydowanie wyższe koncentracje w próbce z miejsca porównawczego niż w próbkach z cmentarza i z jego sąsiedztwa (ryc. 69). Podłoże cmentarza i jego sąsiedztwa są więc bardziej wzajemnie podob-

ne niż studni porównawczej, odległej o około 500 m. Problem ten wymaga jednak szczegółowych badań.

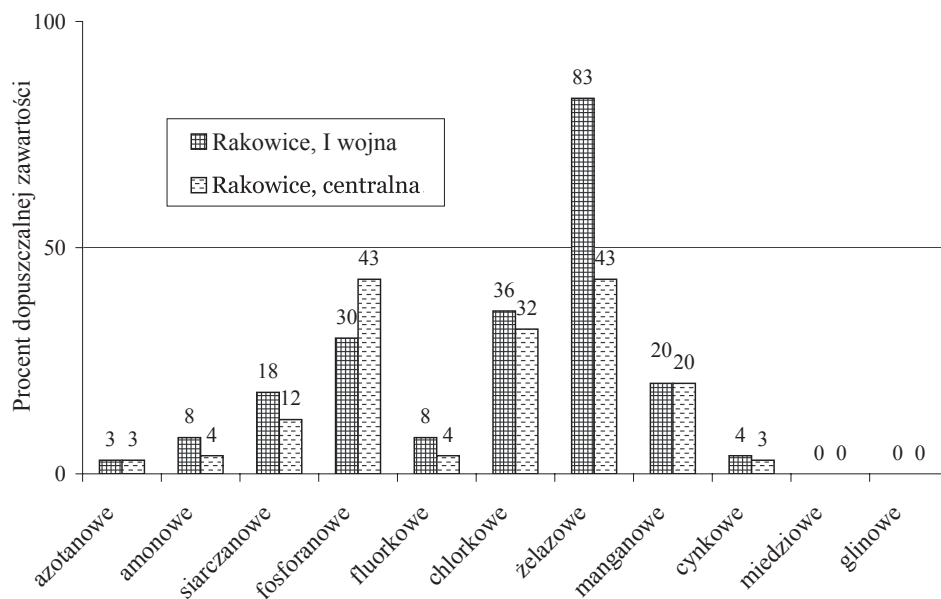
Koncentracje badanych jonów w wodach gruntowych są zróżnicowane nawet w tym samym czasie na tym samym cmentarzu. Próby pobrane w dniu 28.10.2004 roku na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie w pobliżu masowego pochówku z I wojny oraz w odległości około 300 m, w centralnej części cmentarza, nie wykazywały przekroczeń dopuszczalnej zawartości (ryc. 70). Na tym cmentarzu poniżej pochówków zalega grubej miąższości strefa aeracji. Jednak kilka jonów: amonowych, siarczanowych, fluorkowych, chlorkowych i żelaza miało wyższe stężenia w wodzie gruntowej w pobliżu masowego grobu. Natomiast w centralnej części cmentarza stwierdzono zdecydowanie wyższą zawartość jonów fosforanowych. Prawidłowość taką dostrzegł także Dent (2000a) na cmentarzu Guildford w Perth w Australii. Osady na cmentarzu w Krakowie i w Perth są przestrzennie zróżnicowane. Zawierają one zmienne w profilach ilości związków żelaza i minerałów ilastych. Sorbenty te w różnym stopniu wiążą P (Żychowski i inni 2006a). Takiej prawidłowości nie odnotowano na cmentarzu w Milkuszowicach i Botany w Sydney.



Ryc. 69. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranej w pobliżu cmentarza i z miejsca porównawczego w Milkuszowicach w dniu 27.10.2004 roku

Oba te cmentarze zlokalizowane są na piaszczystych wydmach. Ich podłoże nie zawiera większych ilości minerałów ilastych i związków żelaza. Natomiast na terenie cmentarza w północnym Ohio w USA, w dnie małej, często zalewanej kotlinki, w zamulonych glinach ilastych koncentracje kilku pierwiastków były relatywnie niższe w poziomie grobu: Cu, Pb i Zn. Z kolei żelaza było więcej w tym poziomie, w profilu położonym wyżej i relatywnie mniej przy powierzchni (Spongberg, Becks 2000a). W profilu położonym niżej na stoku, przy powierzchni, było więcej Fe

i mniej Cu, Pb i Zn. Jony żelaza migrują zgodnie z nachyleniem i wytrącają się poniżej, ale tworzą mało związków z Cu, Pb i Zn. Przyszłe badania profili pionowych pochówku powinny określić dominujące związki chemiczne, w których występuje Fe.



Ryc. 70. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych przy pochówku z I wojny i w centralnym miejscu cmentarza Rakowickiego w Krakowie w dniu 28.10.04 roku

Koncentracje jonów miedzi w omawianej grupie cmentarzy były wyższe lub na granicy dopuszczalnej zawartości dla wody pitnej tylko w Cerekwi – 0,05 mg/l Cu^{2+} i Mikuszowicach – 0,07 mg/l Cu^{2+} (ryc. 63, 69). W podłożu tych cmentarzy występują dobrze przepuszczalne osady. Wiele nagrobków jest zapadniętych pomimo zastosowania przy budowie betonowych opasek. W osadach tego typu występuje duża zmienność koncentracji jonów w wodach gruntowych w zależności od warunków pogodowych. W strefie umiarkowanej w Australii poza cmentarzami zaobserwowano jedynie małe ilości produktów dekompozycji (Dent 2000b).

Problem ten jest bardzo złożony ze względu na dużą liczbę czynników, które mogą wpływać na obieg wody w środowisku, np. zróżnicowanie opadów i temperatury powietrza w czasie, wahania zwierciadła wody podziemnej, zmienność wykształcenia gruntu w profilu pionowym, morfologię terenu, pobór wody przez ludzi, działalność zwierząt w gruncie itp. Badacze szczególną uwagę zwracają na warunki termiczne powietrza (Rodriquez, Bass 1985; Mann i inni 1990) i występowanie opadów (Santarsiero i inni 2000).

9.3. Zawartości badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków względem dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń

Największe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów dla wody pitnej spośród badanych jonów w wodach podziemnych na cmentarzach lub w ich pobliżu wykazują jony fosforanowe (ryc. 71). Jest to jedna z licznych form P w tym środowisku. W badaniach nie uwzględniono mniej licznych jonów ortofosforowych, np. H_2PO_4^- i HPO_4^- . Ilości tych jonów w środowisku zmieniają się w zależności od panujących warunków. Są one różnie wykorzystywane w badaniach. Jon HPO_4^- jest wskaźnikiem zanieczyszczenia wody ściekami. W Nottingham jony te wykorzystano do oceny zanieczyszczeń fosforowych w wodach porowych, występujących w strefie aeracji na wiekowym cmentarzu (Trick i inni 1999). Ich zawartość w jednym z piezometrów zmieniała się od 0,85 mg/l HPO_4^- do 10,9 mg/l HPO_4^- . Badacze sugerują jednak, iż znaczna ich część pochodzi z przecieku ścieków miejskich.

Część jonów fosforanowych powstających w procesie dekompozycji ulega strąceniu, np. pod wpływem jonów wapnia i magnezu, które są obecne w środowisku masowych grobów (Żychowski i inni 2006a). Bliżej nieokreślona, ale zapewne niewielka ilość P, zależna od panujących warunków, uwalniana jest w postaci gazu, np. P_2H_4 , PH_3 itp (Żychowski 2006c). Część jonów fosforanowych zostaje zaadsorbowana na powierzchni uwodnionych tlenków żelaza i glinu lub na powierzchni minerałów ilastych. Fosfor w tej postaci jest niedostępny dla roślin. Trudno wypłukuje go woda. Jednak wiele świeżo wytrąconych fosforanów jest pobierane przez rośliny, np.: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{H}_2(\text{PO}_4)$, CaHPO_4 itd. Fosfor kumulują również bakterie z rodzaju *Acinetobacter* i *Arthrobacter*. Posiadają one zdolność cyklicznego gromadzenia skondensowanych metafosforanów oraz liniowych i usieciowanych polifosforanów. Tego typu kumulacji sprzyjają warunki panujące w badanych środowiskach pochówku. W badanych podłożach występuje nadmierna kompensacja fosforanów i duża zmienność ich stężeń, która wynika z przemiennego występowania warunków beztlenowych i tlenowych. Natomiast w strefie saturacji bakterie fosforowe pobierają związki organiczne, np. lotne kwasy tłuszczowe. Ponadto bakterie te hydrolizują zmagazynowane w cytozolu polifosforany i wydzielają do środowiska ortofosforany. Uzyskaną z hydrolizy energię wykorzystują do wytwarzania kwasu poli- β -hydroksymasłowego. Zmagazynowany kwas jest dla nich źródłem energii i węgla, które wykorzystują do budowy komórek w warunkach aerobowych. Takie warunki powstają wtedy, gdy znacznie opadnie zwierciadło wody podziemnej w miejscu pochówku. Wpływają one korzystnie na pobierane przez rośliny ze środowiska pochówku ortofosforanów i magazynowaniu polifosforanów. Szczegółowe badania powinny ocenić zakres występowania tych procesów w miejscach pochówku.

Bakterie poprzez oddychanie lub fermentację bezspornie rozkładają materię organiczną do prostych elementów, nawet pierwiastków (Vass 2004). To właśnie bakterie w dużym stopniu odpowiadają za obieg w środowisku szeregu pierwiastków, np. azotu, siarki, węgla itp.

Najwyższe zawartości jonów fosforanowych stwierdzono w próbkach wody pobranych na wiosnę 2002 roku w pobliżu masowych grobów z II wojny w: Oświęcimiu – 100,23 mg/l PO_4^{3-} , Nowym Sączu – 26,33 mg/l PO_4^{3-} , Zbylitowskiej Górze – 21,21 mg/l PO_4^{3-} oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie – 42,36 mg/l PO_4^{3-} . Te masowe groby z okresu II wojny położone są na terasach rzek: Wisły, Raby i Dunajca. W tych miejscach poziom wody gruntowej zalega płytko lub okresowo podnosi się. Studnie, z których pobierano próbki wody leżą poniżej, w linii spływu wody z miejsca pochówku, czyli miejsca, gdzie badano podłoże (tab. 6). Próbki w Baczkowie pobierano z cieku płynącego w pobliżu szkółki leśnej, z której podłoża także pobierano próbki. Przeważnie pochówki składano do utworów pylastych, poniżej których zalegają żwirny rzeczne, np.: w Nowym Sączu i Zbylitowskiej Górze (tab. 62). Koncentracje tych jonów są również relatywnie wysokie w pobliżu masowych grobów z okresu I wojny w: Bieczu – 20,1 mg/l PO_4^{3-} i Gliniku – 14,02 mg/l PO_4^{3-} . Nieco mniejsze koncentracje jonów fosforanowych występowały na niektórych cmentarzach w: Dukli – 13,2 mg/l PO_4^{3-} , Mikuszowicach – 12,02 mg/l PO_4^{3-} , Rymanowie – 11,25 mg/l PO_4^{3-} i Gręboszowie – 10,02 mg/l PO_4^{3-} na wiosnę 2002 roku.

Najmniejsze przekroczenia zawartości tych jonów lub ich brak stwierdzono w osadach plejstocenijskich teras rzek, gdzie wody gruntowe zalegają głęboko, np. na Rakowicach i przy ulicy Prandoty w Krakowie oraz w Wojniczu. Głęboki poziom zwierciadła wody, a szczególnie występowanie strefy aeracji o grubości ponad 0,7 m (Schraps 1972) lub 1 m (www.sepa.org.uk; Ucisik, Rushbrook 1998) pod pochówkiem, w osadach o średniej granulacji, gwarantować ma ograniczoną migrację produktów dekompozycji. Ponadto jest wskazane, by dno wykopu było co najmniej 1 m ponad litą skałą i pod tym dnem powinno być minimum 1 m osadu (Ucisik, Rushbrook 1998). Migrację produktów dekompozycji ogranicza także płytszy pochówek złożony na głębokości od 0,8 m do 1,5 m od powierzchni. Taka głębokość grobu zwiększa miąższość strefy aeracji pod pochówkiem (Hanzlick 1994). Jednak ponad pochówkiem musi być co najmniej 1 m osadu, licząc od powierzchni (Ucisik, Rushbrook 1998). Badania prowadzone w Niemczech potwierdzają obecność zanieczyszczeń wody gruntowej na głębokości 50 cm poniżej poziomu grobu (Schraps 1972; Bouwer 1978). Ze wzrostem grubości warstwy aeracji, jak wskazują badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii, maleje dostawa produktów dekompozycji do wody gruntowej (Lewin i inni 1997). Pod warstwą aeracji grubości 50 m nie stwierdzono w Burntstump zanieczyszczenia wód gruntowych. Podobne stanowisko zajął wcześniej Mather (1989), wskazując na znaczenie grubości i rodzaju warstwy aeracji na pochłanianie i ograniczanie transportu produktów organicznego rozkładu.

Niskie koncentracje jonów fosforanowych stwierdzono również w wodach podziemnych pod cmentarzami położonymi na wysoczyźnie w Kotlinie Sandomierskiej w Niedzieliskach – 1,96 mg/l PO_4^{3-} i Rudach Rysiach – 2,36 mg/l PO_4^{3-} . Odpływ wody z tych małych cmentarzy odbywa się w różnych kierunkach. Poziom wody gruntowej nie podnosi się tutaj nawet w ekstremalnych warunkach ponad wysokość przedpola wypukłej formy terenu, na której zlokalizowano cmentarz. Przy takim położeniu pod pochówkiem występuje zawsze strefa aeracji. Jej obecność ogranicza ilość produktów dekompozycji w wodach podziemnych na badanych cmentarzach. Wniosek ten potwierdzają wyniki uzyskane na innych cmen-

tarzach, np. w Australii (Dent 1998). Relatywnie mniejsze koncentracje jonów fosforanowych występują w wodach gruntowych zalegających zdecydowanie poniżej poziomu pochówku nawet w zróżnicowanych podłożach, np. w piaszczystych glinach na cmentarzu Woronora w Sydney oraz w nieprzepuszczalnych glinach z domieszką piaszczystych mułków na cmentarzu The Necropolis w Melbourne. Natomiast relatywnie większe zawartości tych jonów – do 4,7 mg/l PO_4^{3-} pomierzył Dent na głębokości od 1,8 m do 4,5 m w wodach zalegających w gliniastych i mulistych piaskach oraz czystych piaskach na cmentarzu Guildford w Perth.

Niewielkie przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych stwierdzono także w wodach gruntowych zalegających w terasach plejstocénskich, w miejscach znacznie oddalonych od koryt rzecznych, np. w Cerekwi – 2,96 mg/l PO_4^{3-} i Radłowie – 1,74 mg/l PO_4^{3-} oraz pod grobami z I wojny, położonymi na gliniastych karpackich stokach w: Ryglicach – 2,98 mg/l PO_4^{3-} , Łużnej – 1,96 mg/l PO_4^{3-} i na cmentarzu koło Tarnowa w Szczepanowicach – 1,82 mg/l PO_4^{3-} . Jeszcze niższe koncentracje, o wartościach od 0,07 mg/l PO_4^{3-} do 0,66 mg/l PO_4^{3-} , występują w piaskach cmentarza Danescourt w Wolverhampton (Trick i inni 2001).

Na niektórych cmentarzach oraz masowych grobach z I wojny występują stosunkowo wysokie koncentracje sięgające ponad 10 mg/l PO_4^{3-} . Dotyczą one wód podziemnych zalegających w:

- piaskach kotliny, w Mikłuszowicach i Gręboszowie,
- glinach, na cmentarzach w Dukli, Rymanowie i Zakliczynie oraz poniżej pochówków z I wojny na terasie w Gliniku, obecnie w granicach Gorlic i w Bieczu (fot. 45).

Istotna część właściwości środowiska każdego z tych grobów sprzyja zanieczyszczeniu wód gruntowych. Są jednak i takie, które go ograniczają. Większemu zanieczyszczeniu wody sprzyja, np. w Bieczu, płytki poziom zwierciadła wody, zaburzone struktury geologiczne, wielkość i koncentracja pochówków oraz położenie studni w linii spływu wody z masowego grobu. Zanieczyszczenie to musi być jednak mniejsze ze względu na długi okres od momentu złożenia pochówków. W środowisku grobów z I wojny światowej nie występuje już materia miękka. Zaawansowanemu rozkładowi podlegają obecnie jedynie fragmenty kości. Ponadto przepływ wody w gruncie na stokach w Karpatach, np. w Dukli, Rymanowie i Zakliczynie, ułatwia większe nachylenie stoku oraz położenie studni w centralnej części cmentarza (fot. 46). Sprzyja to dopływowi do studni produktów dekompozycji z cmentarza. Jedynie gliniaste pokrywy zwietrzelinowe ograniczają szybkość przemieszczania jonów. Jony te w mniejszym stopniu, ale jednak wędrują z wodą wzdłuż nieciągłości warstw kanalikami powstałymi po butwiejących korzeniach oraz korytarzami drażnionymi przez zwierzęta. Podobne badania prowadzone na trzech brazylijskich cmentarzach o zróżnicowanym podłożu wskazują także na ograniczone wypłukiwanie produktów dekompozycji w osadach o drobnej granulacji, a zwłaszcza w pokrywach gliniastych (Pacheco i inni 1991). W takim podłożu Spongberg i Becks obserwowali wzrost koncentracji pierwiastków wraz z głębokością, np. metali ciężkich w miejscu pochówku (Spongberg, Becks 2000a).

W miejscach, w których stwierdzono najwyższe zawartości jonów fosforanowych, występują również maksymalne zawartości jonów żelaza. Takie relacje stwierdzono, prowadząc badania w masowych grobach w: Oświęcimiu, Bieczu, Zbylitowskiej Górze oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie (tab. 75). Nato-

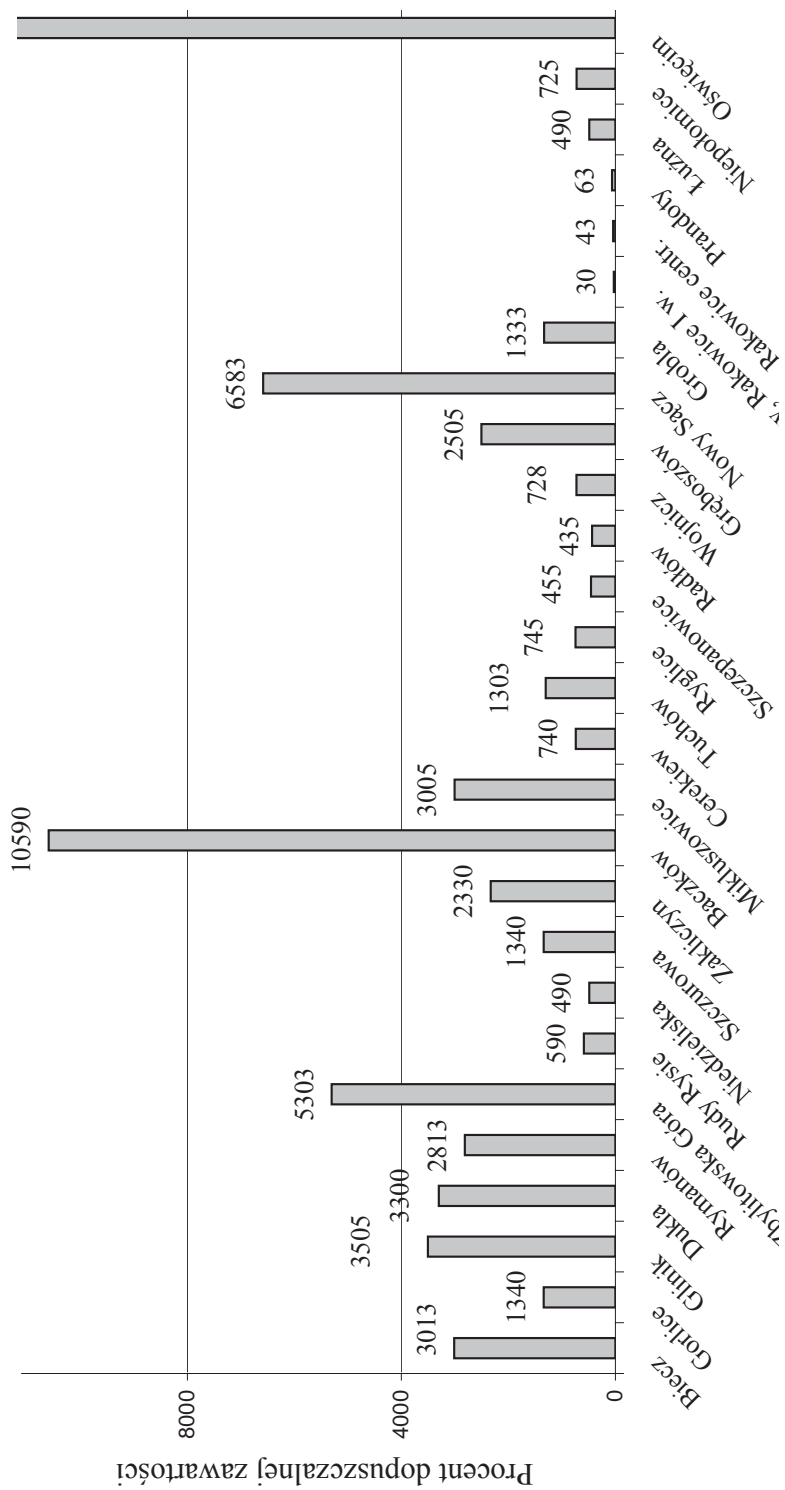
miast małe koncentracje jonów fosforanowych i żelaza zdarzają się rzadziej w wodach gruntowych pod cmentarzami. Takie przypadki stwierdzono na Cmentarzu Rakowickim, przy ulicy Prandoty w Krakowie oraz na cmentarzu w Szczepanowicach (tab. 75). Znacznie częściej większym koncentracjom jonów fosforanowych towarzyszą relatywnie małe ilości jonów żelaza, np. w: Gręboszowie, Mikłuszowicach, Zakliczynie, Gliniku, Nowym Sączu, Rymanowie oraz Dukli (ryc. 71, 72). W kilku masowych grobach oraz cmentarzach w tej samej próbce występują zarówno relatywnie małe ilości jonów fosforanowych, jak i względnie większe zawartości jonów żelaza, np. w: Niepołomicach, Łuźnej, Rudach Rysiach, Niedzieliskach oraz Grobli (tab. 75). Jony fosforanowe zostały już wcześniej wyprowadzone w tych miejscach poza cmentarz. Ponadto badane studnie były położone na skraju niewielkich cmentarzy (tab. 6). W miejscach tych obserwuje się znaczne i częste wahania zwierciadła wody. Wielu badaczy zwróciło uwagę na ten problem w Republice Południowej Afryki (Tumagole 2004).

Duże ilości jonów fosforanowych w wodach gruntowych w pobliżu cmentarzy potwierdza niewielka ilość badań prowadzonych na świecie (Chan i inni 1992). Zawartości tych jonów były niskie w pobliżu pochówków, np. w wodzie z odwiertów o głębokości od 3 m do 24 m w Ontario.

Tabela 75. Zawartości jonów fosforanowych i żelaza w wodach gruntowych i powierzchniowych pobranych na lub w pobliżu wybranych masowych grobów i cmentarzy

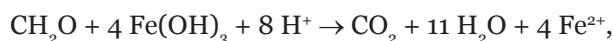
Masowe groby i cmentarze w miejscowościach	Zawartość wybranych jonów w mg/l	
	Jony fosforanowe	Jony żelazowe
Oświęcim (mas. ¹ , II w. ²)	100,23	3,36
Baczków	42,36	12,31
Zbylitowska Góra (mas. ³ , II w.)	21,21	9,32
Biecz (mas., I w.)	12,05	3,92
Szczepanowice (parafialny)	1,82	0,15
Kraków – Rakowice (komunalny, I w.)	0,17	0,13
Kraków – Prandoty (wojskowy, II w.)	0,12	0,25
Nowy Sącz (kirkut, mas., II w.)	26,33	0,85
Glinik (mas., I w.)	14,02	0,62
Dukla (parafialny)	13,2	0,42
Mikłuszowice (parafialny, I w.)	12,02	0,11
Rymanów (parafialny)	11,25	0,25
Gręboszów (parafialny, I w.)	10,02	0,14
Zakliczyn (parafialny, I w.)	9,32	0,26
Grobła (parafialny)	5,33	1,02
Niepołomice (mas., II w.)	2,97	2,9
Rudy Rysie (parafialny, I w.)	2,36	1,26
Łuźna (mas., I w.)	1,96	2,02
Niedzieliska (parafialny)	1,96	0,92

¹mas. – masowy grób, ²I w. lub II w. – pochówki z I lub II wojny światowej, ³mas. – masowy grób



Ryc. 71. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych grobach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 (Oświęcim – 25 058%)

Obecność w środowisku pochówku związków żelaza, w tym jego tlenków oraz związków organicznych, zasadniczo wpływa na proces dekompozycji (Ucisik, Rushbrook 1998). Czynniki te mają istotne znaczenie także dla rozwoju bakterii na powierzchni ziaren (Hendry i inni 1997). Żelazo (III) występujące w nierozpuszczalnych związkach, z udziałem substancji organicznej, ulega redukcji do dwuwartościowego jonu żelaza (Stumm, Morgan 1981).



gdzie CH_2O reprezentuje uproszczoną formę substancji organicznej.

Ograniczona ilość związków żelaza obecna jest w pokrywach gliniastych, w których dane związki występują na granicy warstewek lub wzdłuż spękań i kanałików o różnej genezie. Studnie wykopane w takim podłożu zlokalizowane są najczęściej w górnych częściach stoków w Karpatach. W badanych studniach poziom zwierciadła wody osiągnął głębokość w: Rymanowie – 4,5 m, Zakliczynie – 4,5 m i Szczepanowicach – 5 m (tab. 6). Położenie tych studni nie sprzyja wysokiemu podnoszeniu się zwierciadła wody gruntowej.

W tych warunkach sorbentem dla P, który powoli uwalnia się w postaci jonów fosforanowych, są minerały ilaste. Podobną rolę pełnią minerały ilaste zawarte w osadach piaszczystych, np. w Gręboszowie i Mikłuszowicach (tab. 7).

Największe przekroczenia dopuszczalnych zawartości jonów żelaza występują w wodach gruntowych pod grobami, w których płytko zalega woda gruntowa lub tam, gdzie obserwuje się duże wahania zwierciadła wody:

- na osuwiskach, np. w Bieczu, Zbylitowskiej Górze i Łużnej,
- na terasach rzek, np. w Oświęcimiu, Niepołomicach, Grobli, Nowym Sączu oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie,
- w dnach kotlin na wysoczyznach, np. w: Rudach Rysiach i Niedzieliskach,
- w dnach małych, płaskodennych dolin, np. w Tuchowie.

Podobne spostrzeżenia potwierdzają również i inni badacze (Pacheco i inni 1991; Santarsiero i inni 2000). Nie wyklucza się również wysokich stężeń tych jonów w głębszych wodach gruntowych. Na głębokości około 10 m poniżej powierzchni terenu, pod zamkniętym w roku 1875 cmentarzu w centrum miasta w Nottingham, zmierzono nawet 9,82 mg/l Fe^{3+} (Trick i inni 1999). Ten stary cmentarz o powierzchni 3500 m² zlokalizowano na piaszczystym podłożu, powstałym po zwiędziały piaskowcach triasowych Sherwood.

Brak przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów żelaza w wodach gruntowych stwierdzono na 8 badanych cmentarzach (ryc. 72). Takie przypadki miały miejsce wtedy, kiedy środowiska pochówku i tła geochemicznego były zróżnicowane. Małe zawartości jonów żelaza występowały w wodach pobranych ze studni położonych w dnie doliny, daleko od koryta, np. w studniach położonych na rozległej terasie Wisły w Krakowie – na Cmentarzach Rakowickim i przy ulicy Prandoty (fot. 6). Tam poziom zwierciadła wody gruntowej zalega stosunkowo głęboko, na około 8 metrach (tab. 6). Jego wahania mają miejsce tylko w okresach długotrwałych opadów, kiedy wzrasta ilość infiltrującej wody i występują znaczne wahania poziomu wody gruntowej. Na cmentarzu Rakowickim w Krakowie infiltracja ta jest jednak ograniczona przez skalne lub betonowe płyty, liczne drzewa, kanalizację deszczową itp. Pole alimentacji tych wód gruntowych znajduje

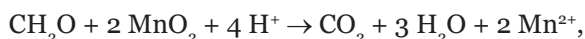
się w odległym miejscu. Ponadto woda krąży w zróżnicowanych osadach terasy i trudno rozpoznać drogi tego krążenia. Rozległość i znaczna miąższość tej terasy sprzyjają rozcieńczeniu i filtrowaniu dopływających zanieczyszczeń. Profil stożka Prądnika w sąsiedztwie Cmentarza Rakowickiego, o miąższości około 18 m, miejscami nawet 25 m, zdominowany jest w całości litofacjami piaszczystymi, rzadziej piaszczysto-żwirowymi o warstwowaniach przekątnych niskokątowych i horyzontalnych oraz litofacjami mułkowymi lub piaszczysto-mułkowymi (Sokołowski i inni, w druku). W dolnej części tego profilu, pod piaszczysto-żwirowymi osadami o różnej miąższości, zalegają łył miocenu.

Niewielkie ilości jonów żelaza występują także w wodach gruntowych w środowisku piaszczystych wydmy, które leżą na terasach Raby w Mikłuszowicach – 0,11 mg/l Fe^{3+} i Wisły w Gręboszowie – 0,14 mg/l Fe^{3+} . Poziom wody gruntowej w tych wypukłych formach zalega znacznie głębiej. W tak zlokalizowanych studniach jej poziom może podnieść się maksymalnie tylko nieznacznie ponad poziom przedpola lokalnej formy. Jest to zapewne także przyczyną małej zawartości minerałów ilastych w piaskach tych wydmy.

Niektórzy badacze nie tylko wyższe stężenia jonów żelaza, ale również i innych jonów, np. cynku, miedzi i ołowiu, łączą z materiałami, z których zbudowane są trumny (Spongberg, Becks 2000a) lub z przedmiotami włożonymi do trumny (Morgan 2004). Koncentracje większości pierwiastków w osadach pochówków są relatywnie wysokie i maleją wraz z odległością od grobów. Tego typu dowód na wpływ pochówku na środowisko nie dotyczy jednak Fe, które pochodzi również z innych źródeł (Spongberg, Becks 2000a, Żychowski i inni 2006a). Ponadto jego koncentracje w osadach zróżnicowane są przestrzennie. Na cmentarzu Danescourt w Wolverhampton, w próbce wody pobranej z piezometru zamontowanego na piaszczystym spłaszczeniu było zaledwie 0,04 mg/l Fe^{3+} . Natomiast u podnóża tej wypukłej formy, w odległości około 250 m, w osadach gliniastych piasków było aż 1 mg/l Fe^{3+} (Trick i inni 2001). Spongberg i Becks (2000a) pomierzyli na poziomie grobu, na głębokości około 1,4 m, największe koncentracje Fe, Cu i Pb. Pierwiastki te według nich pochodzą z pochówku. Relatywnie wyższe ich koncentracje wynikają z powstania na tej głębokości trwalszych związków chemicznych. Jony żelaza bowiem łatwo łączą się z jonami innych dostępnych na poziomie pochówku pierwiastków. Ich koncentracje z czasem maleją w wyniku ługowania i wyprowadzania poszczególnych jonów do wód gruntowych. Migracji tych zanieczyszczeń towarzyszą różne procesy fizyczno-chemiczne: dyfuzja, dyspersja, adwekcja (konwekcja), sorpcja i degradacja.

Zawartości jonów żelaza oraz manganu są stosunkowo niskie w próbkach pobranych na terasie Wisły w Krakowie i w Gręboszowie oraz Raby w Mikłuszowicach (ryc. 73). W naturalnym środowisku lekkie gleby są najuboższe w Mn. W osadach piaszczystych na spłaszczeniu cmentarza Danescourt w Wolverhampton zawartości jonów manganu są niskie i mieszczą się w granicach od 0,003 mg/l do 0,01 mg/l Mn^{2+} (Trick i inni 2001). Natomiast maksymalna ich zawartość 2,03 mg/l Mn^{2+} występuje w płytkiej wodzie gruntowej u podnóża tej wypukłej formy. W tego rodzaju wodach wyższe koncentracje mają miejsce także w przypadku innych jonów: chlorkowych, siarczanowych, amonowych, żelaza, miedzi i cynku (Trick i inni 1999). Prawidłowość ta nie dotyczy jednak wody pobranej ze studni położonych na gliniastych stokach w: Rymanowie, Zakliczynie i Szczepanowicach.

Zdecydowanie największe zawartości obu tych jonów stwierdzono w wodach podziemnych masowych grobów w: Oświęcimiu – 3,36 mg/l Fe³⁺ i 3,36 mg/l Mn²⁺, Zbylitowskiej Górze – 9,32 mg/l Fe³⁺ i 1,02 mg/l Mn²⁺, na cmentarzu w Grobli – 10,62 mg/l Fe³⁺ i 1,02 mg/l Mn²⁺ oraz w porównawczym miejscu w Baczkowie – 12,31 mg/l Fe³⁺ i 1,26 mg/l Mn²⁺. Nie były to jednak odchylenia większe niż w przypadku jonów żelaza (ryc. 72). Generalnie przekroczenia dopuszczalnych zawartości jonów manganu w badanych miejscach były większe od żelaza. Nie dotyczy to kilku masowych grobów położonych na: terasie Dunajca w Nowym Sączu i Wisły w Niepołomicach, osuwisku w Bieczu oraz cmentarzu leżących na terasie Wisły w Grobli i Gręboszowie. Wysokich zawartości Mn i kilku innych pierwiastków: Ni, Cr i Al w osadach pochówku lub jego pobliżu nie potwierdzają również i inni badacze (Spongberg, Becks 2000a; Trick i inni 2001). Prowadzone badania dotyczą Mn dwuwartościowego, który wykazuje dużą aktywność. Część Mn występuje w postaci tlenków, nierozpuszczalnych soli oraz w postaci helatów na trzecim stopniu utlenienia. Zdecydowanie Mn jest więcej w fazie stałej gruntu w strefie aeracji cmentarza w Nottingham. W wodach porowych na głębokości 3,56 m jego stężenie wynosi aż 11,3 mg/l Mn²⁺ (Trick i inni 1999). Trick i współpracownicy uważają, że Mn w tej strefie jest redukowany z postaci Mn⁴⁺ do Mn²⁺.



gdzie CH₂O reprezentuje uproszczoną formę substancji organicznej.

Jony tego dwuwartościowego Mn są lepiej rozpuszczalne i łatwiej migrują z miejsca pochówku. Ilości wody dostarczane do podłoża w okolicach Nottingham są podobne do tych w południowo-wschodniej Polsce. Potwierdza to roczna suma opadów – 635 mm, która jest zbliżona do tej z wielolecia w Polsce.

Najczęstsze i największe przekroczenia dopuszczalnej zawartości, spośród jonów metali ciężkich występujących w badanych wodach, dotyczą jonów miedzi (ryc. 74). Rekordowe przekroczenia tego jonu występują w tych samych próbkach, w których stwierdzono rekordowe ilości jonów fosforanowych, żelaza i manganu. Relatywnie wysokie koncentracje tych jonów potwierdza również Trick i współpracownicy (2001) oraz Tumagole (2004). Takie koncentracje występują w piezometrach zainstalowanych w miejscach o wysokim poziomie zwierciadła wody grunтовой. Natomiast małe stężenia tych jonów zanotowano w miejscach o niższym poziomie wody, nawet na wspomnianym cmentarzu w Wolverhampton (Trick i inni 2001). Dopuszczalne zawartości jonów miedzi były rekordowo przekroczone w porównawczym miejscu w Baczkowie – 24 500% oraz znacznie na grobach w Grobli – 7260% i Zbylitowskiej Górze – 1780%. Kilkakrotne przekroczenia dopuszczalnej koncentracji tego jonu w wodach do picia wystąpiły również w innych miejscach w Karpatach, np. w Rymanowie – 640% i Szczepanowicach – 340% (ryc. 74). Natomiast najniższe stężenia jonów miedzi stwierdzono na terasach: Wisły w Krakowie na cmentarzu przy ulicy Prandoty – 0,01 mg/l Cu²⁺ i na Rakowicach – 0,03 mg/l Cu²⁺, Wisły w Gręboszowie – 0,06 mg/l Cu²⁺ oraz Raby w Milkuszowicach – 0,01 mg/l Cu²⁺. W kilku cmentarnych studniach nie stwierdzono tych jonów. Miało to miejsce w: Niedzieliskach na wysoczyźnie Kotliny Sandomierskiej, Zakliczynie i Ryglicach na stoku oraz Tuchowie w dniu

płaskodennej doliny. Obecność Cu w osadach pochówku wykazuje duże zróżnicowanie koncentracji w profilu pionowym (Spongberg, Becks 2000a; Żychowski i inni 2006a). Jest to zatem bardzo mobilny pierwiastek o właściwościach utleniająco-redukcyjnych (Gauthard i inni 2003). W sprzyjających warunkach, dotyczących zwłaszcza większych ilości wody, jony te wędrują w głąb profilu i poza groby. Na współczesnym cmentarzu Danescourt w Wolverhampton największe stężenie, wynoszące 0,71 mg/l Cu^{2+} , wystąpiło w płytce zalegającej wodzie gruntowej (Trick i inni 2001). W tego typu wodach występują podwyższone lub wysokie zawartości również innych jonów. Dostrzega to wielu urzędników, opiniujących lub decydujących o lokalizacji cmentarzy, np. w Kanadzie i USA. Najczęściej powołują się oni na prace z: Brazylii (Matos, Pacheco), Wielkiej Brytanii (Trick), Australii (Dent, Forbes), USA (Spongberg, Becks) oraz Republiki Południowej Afryki (Fisher, Croukamp).

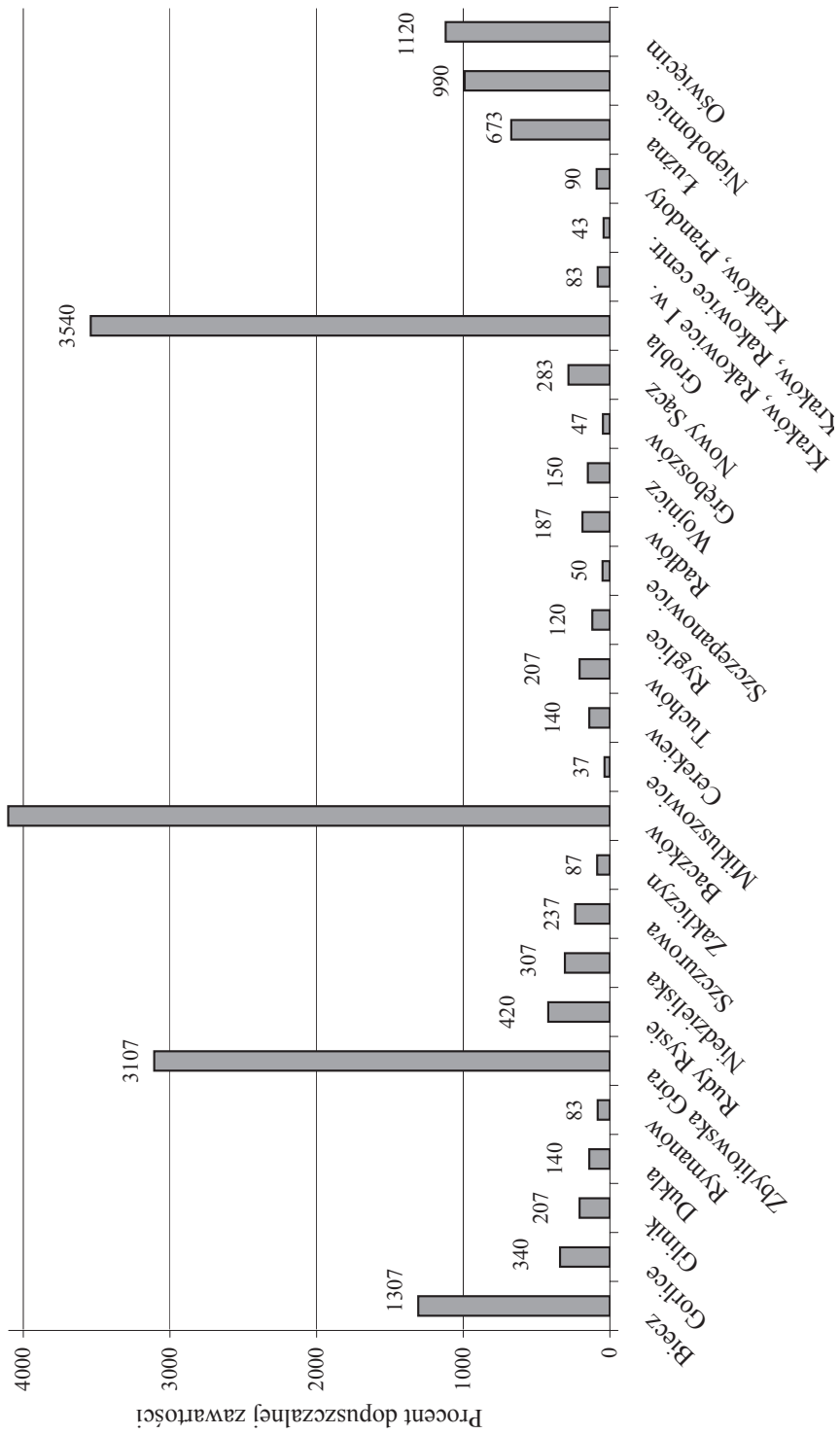
W wodach gruntowych i powierzchniowych tych masowych grobów i porównawczego miejsca, w których jest duża koncentracja jonów miedzi, występują również relatywnie wysokie zawartości jonów cynku, np.: w Zbylitowskiej Górze – 3,96 mg/l Zn^{2+} , Grobli – 2,85 mg/l Zn^{2+} , Baczkowie – 4,56 mg/l Zn^{2+} oraz glinu w Grobli – 1,82 mg/l Al^{3+} i Baczkowie – 1,96 mg/l Al^{3+} . Zdecydowanie najwyższe koncentracje jonów glinu występują w dolnych częściach cmentarzy, szczególnie w tych miejscach, gdzie woda gruntowa zalega płytko, np. na cmentarzu Danescourt w Wolverhampton (Trick i inni 2001). W dolnej części tego cmentarza stwierdzono najwyższe stężenie jonów glinu – 0,2 mg/l Al^{3+} . Natomiast w górnej jego części, na piaszczystym stoku, było zaledwie od 0,01 mg/l Al^{3+} do 0,028 mg/l Al^{3+} . Znacznie wyższe koncentracje tego jonu, maksymalnie 4,57 mg/l Al^{3+} , wystąpiły w wodach porowych w strefie aeracji pod starym cmentarzem z lat 1813–1875, położonym w centrum miasta w Nottingham (Trick i inni 1999). Związki glinu, które występują w środowisku suchych piasków są nierozpuszczalne (Pate, Hutton 1988). Dlatego też nawet duża ich koncentracja w strefie aeracji nie zawsze przekłada się na duże stężenia jonów w wodach podziemnych. Obecność Cu i Zn potwierdzono również w odległości od 1 m do 20 m od pochówków złożonych w latach 1848–1943 na dużym cmentarzu w *północno-zachodnim* Ohio (Spongberg, Becks 2000a). Na większości z tych grobów zaobserwowano oznaki osiadania podłoża. Trumny po tylu latach zdążyły się już rozsypać, a ich metalowe wyposażenie korodowało.

Dopuszczalne koncentracje jonów cynku są nieznacznie przekroczone tylko w wodach powierzchniowych w Zbylitowskiej Górze i w Baczkowie (ryc. 75). Metodami mineralogicznymi potwierdzono podwyższone ilości Zn w osadach w Zbylitowskiej Górze (fot. 38). Cynk zatrzymywany jest w miejscu pochówku najprawdopodobniej w wyniku krystalizacji węglanów cynku. Jego większej koncentracji sprzyja także środowisko kwaśne. Pierwiastek ten jest pobierany przez rośliny w postaci helatów wraz z roztworem wodnym. Generalnie jednak na współczesnych cmentarzach jony cynku wykazują niskie koncentracje. Na cmentarzu Danescourt w Wolverhampton, położonym na piaskach, miejscami gliniastych, są to najczęściej stężenia od 0,02 mg/l Zn^{2+} do 0,05 mg/l Zn^{2+} , maksymalnie 0,33 mg/l Zn^{2+} (Trick i inni 2001). Niewielkie zanieczyszczenia metalami ciężkimi, np. Pb i Zn, występują także na nekropoliach zlokalizowanych na podłożu krasowym, np. w Querenca w Algarve na południu Portugalii (Rodrigues, Pacheco 2003).

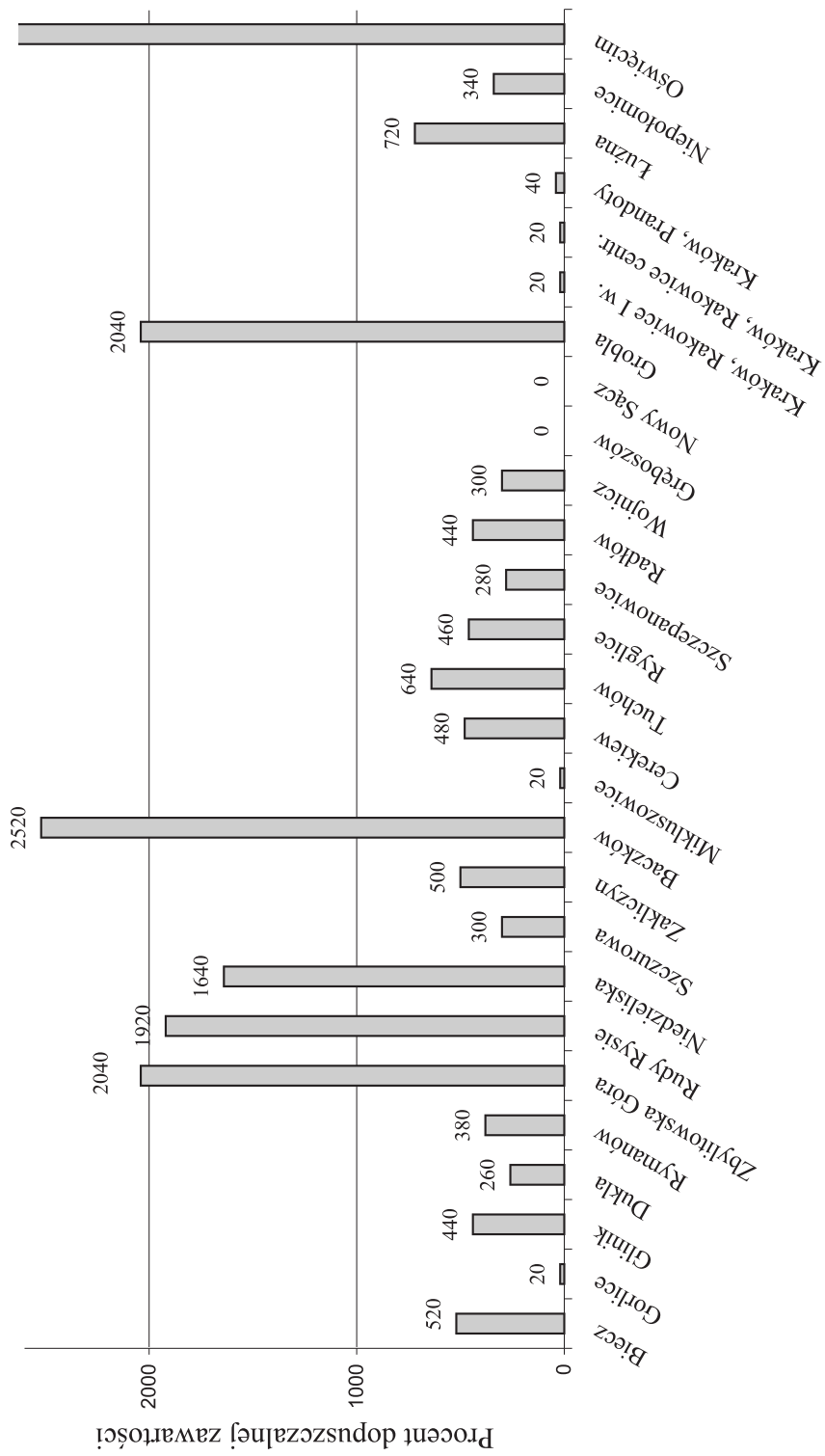
W kilku grobach w próbkach wody gruntowej, np. w: Wojniczu, Mikluszowicach, Zakliczynie oraz Krakowie na cmentarzu Rakowickim i przy ulicy Prandoty, występują małe stężenia jonów cynku, żelaza, manganu i miedzi. Koncentracje jonów glinu w porównaniu z jonami cynku przekraczają dopuszczalne zawartości jeszcze w kilku innych miejscach, np. w: Oświęcimiu, Nowym Sączu, Wojniczu i Mikluszowicach (ryc. 76). Interesująca jest jedynie relatywnie wysoka koncentracja jonów glinu – 0,39 mg/l Al^{3+} oraz jonów fosforanowych – 12,02 mg/l PO_4^{3-} w Mikluszowicach. Próbką pobrana z tej studni w dniu 9.06.2002 r. zawierała względnie małe zawartości pozostałych badanych jonów.

Okresowe lub trwalsze zatrzymywanie jonów metali ciężkich w środowisku pokryw gliniastych związane jest z tworzeniem się ujemnego ładunku powierzchniowego na silnie zdyspergowanej frakcji minerałów ilastych. To wzajemne oddziaływanie jest możliwe w związku z dodatnio naładowanymi jonami metali ciężkich. Koloidy glebowe jako podstawowa jednostka strukturalna gleby składają się z koloidalnej frakcji mineralnej, czyli głównie z minerałów ilastych, materii organicznej i kompleksów mineralno-organicznych (Zbytniewski i inni 2003). Ładunek ujemny może pochodzić od każdej z tych składowych. Wolne grupy hydroksylowe (OH) z frakcji minerałów ilastych, położone na zewnętrznych krawędziach i powierzchniach minerałów, ulegają dysocjacji w wyniku niestabilności wiązań brzegowych. W konsekwencji odszczepieniu podlegają atomy wodoru. Jest to oczywiście zależne od pH. Ponadto ładunek ujemny może powstać w wyniku wymiany izomorficznej jonu w minerałach. Jon Al^{3+} może zastąpić w tetraedrycznej warstwie krzemotlenowej Si^{4+} lub jony magnezu Mg^{2+} i żelaza Fe^{2+} mogą wymienić jon Al^{3+} w oktaedrycznej warstwie glinotlenowej. Zamiana ta powoduje utratę jednego ładunku dodatniego, który jest równoważony z pojawieniem się ładunku ujemnego na powierzchni cząsteczek podłoża. Cząsteczki z ładunkiem ujemnym silnie przyciągają kationy. Natomiast aniony są słabo z nimi związane i dlatego łatwo ulegają wypłukaniu z podłoża przez wodę. Z tego też powodu w roztworach otaczających cząsteczki gleby występuje relatywnie mała koncentracja kationów. Dostarczenie do środowiska dodatkowych kationów, produktów dekompozycji, uruchamia wcześniej związane w procesie wymiany. Ilości tego typu jonów w roztworach podłoża są szczególnie duże w wilgotnych klimatach albo w obszarach nawadnianych (Adams 1971; Rhoads 1982; Thomas 1982; Tucker 1983; Bohn i inni 1985).

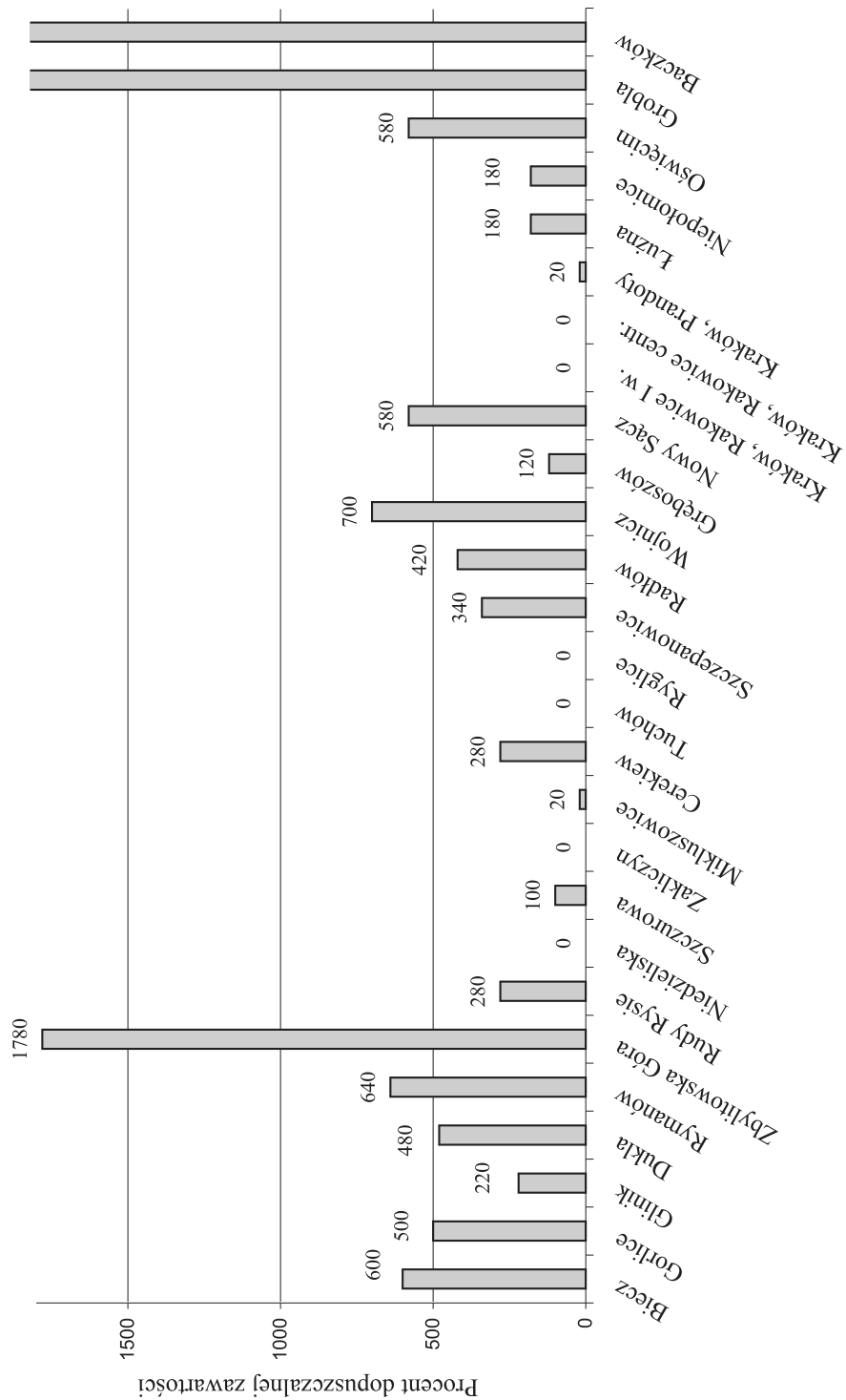
Pierwiastki ciężkie, cząsteczki wody oraz substancje chemiczne mogą wchodzić w przestrzenie międzypakietowe pomiędzy dwie warstwy struktury przestrzennej trójwarstwowych minerałów ilastych: montmorillonitu i illitu, w związku ze słabymi wiązaniami typu van der Waalsa. Cząsteczki wody i kationy wymienne szczególnie wnikają między pakiety montmorillonitu. Natomiast w pakietach illitu jony Si^{4+} mogą być podstawione w około 20% jonami Al^{3+} , które uruchamiają ładunki ujemne. Te z kolei rekompensowane są kationami potasu, występującymi w przestrzeniach międzypakietowych. Jest to możliwe, ponieważ rozmiary tej przestrzeni są zbliżone do promienia jonów potasu. Jony te są więc trwale zaadsorbowane w illicie. Środowiska bogate we frakcję ilastą oraz materię organiczną zatrzymują zatem więcej metali ciężkich (Dube i inni 2001). Kumulacja ta generalnie rośnie także wraz z obniżaniem się pH środowiska podłoża. Jednak ruch fizyczny tych cząstek, wymuszony wypłukiwaniem przez wodę, prowadzi do wtór-



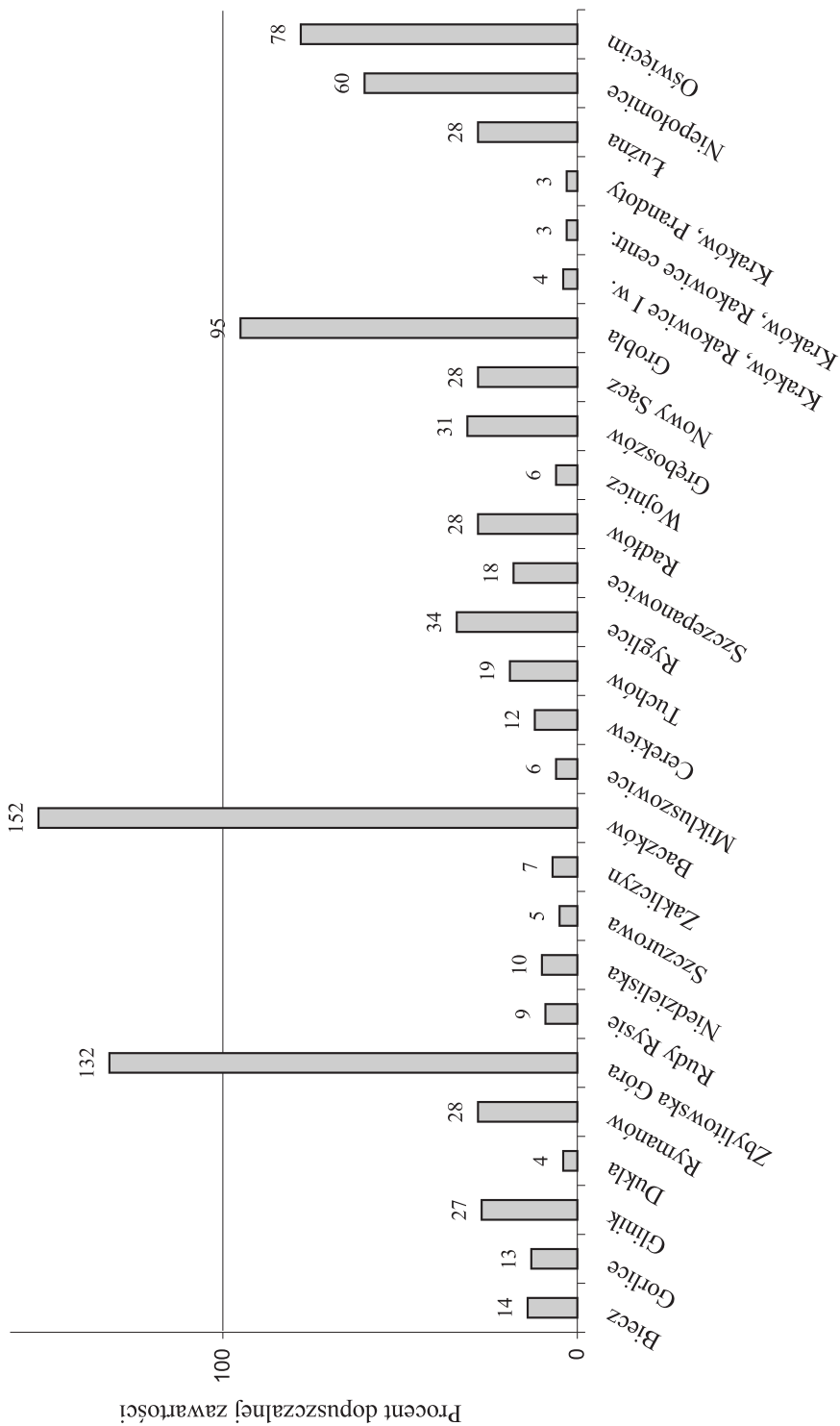
Ryc. 72. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów żelaza w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



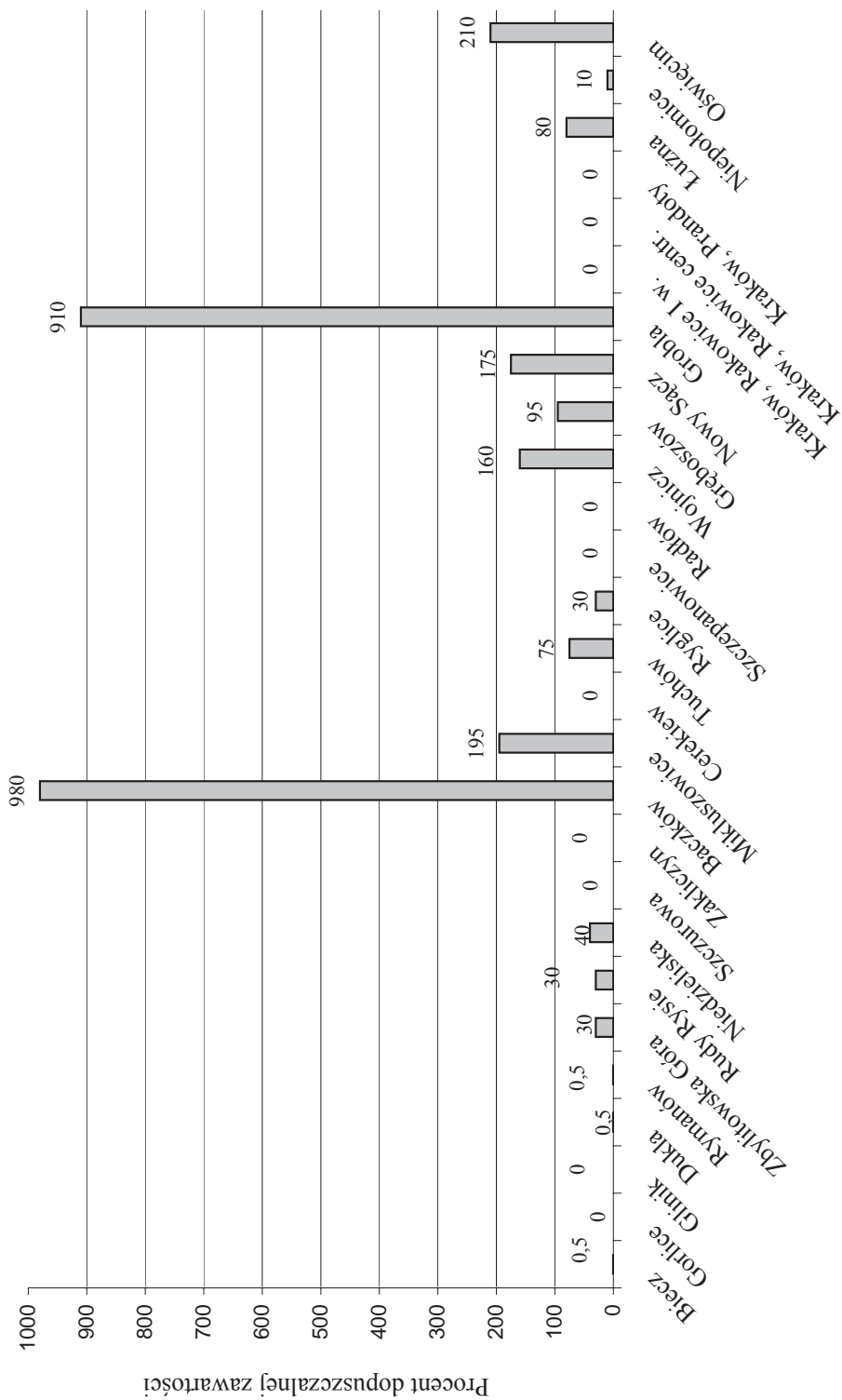
Ryc. 73. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów manganu w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 (Oświęcim – 6820 %)



Ryc. 74. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów miedzi w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



Ryc. 75. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów cynku w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropiach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004

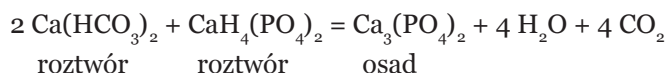


Ryc. 76. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów glinu w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych grobach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004

nej okresowej dystrybucji jonów metali w podłożu. Mocniej związane są z drobinami podłoża jony o większym ładunku i większej masie atomowej, np. Al^{3+} , a nie Cu^{2+} . Relacje te przedstawiają się następująco:



Natomiast uwalnianie tych jonów z kompleksu sorpcyjnego odbywa się w odwrotnej kolejności. Jeśli jony mają taki sam ładunek, to na siłę ich wiązania wpływa ponadto promień jonowy i stopień hydratacji (Zawadzki 1999). Jony o mniejszym promieniu wytwarzają silniejsze pole elektryczne i są trudniej sorbowane z roztworu glebowego. Jony metali są również sorbowane chemicznie. Proces ten polega na współstrącaniu lub wytrącaniu ich form nierozpuszczalnych. Sorpcja ta występuje w podłożu, w którym są duże zawartości, np.: węglanów, fosforanów albo jest wysokie pH. W wyniku takiego procesu powstają także trudnorozpuszczalne związki fosforanowe:



Jony metali są także unieruchamiane przez organizmy żywe obecne w badanym środowisku. Ta wielowymiarowa dystrybucja, zwana specjacją, opóźnia przenikanie tych jonów do wody gruntowej, a nawet częściowo ją ogranicza (Dube i inni 2001).

W wodach podziemnych kilku masowych grobów z II wojny w: Oświęcimiu, Nowym Sączu, z I wojny w Bieczu oraz w wodzie powierzchniowej w Zbylitowskiej Górze i Baczkanie, wykazano przekroczenia dopuszczalnych zawartości również pozostałych badanych jonów: siarczanowych, fluorkowych, chlorkowych, azotanowych i amonowych. Najwyższe koncentracje jonów siarczanowych miały miejsce w wodzie gruntowej w pobliżu masowych grobów w: Oświęcimiu – 624,3 mg/l SO_4^{2-} , Nowym Sączu – 268,3 mg/l SO_4^{2-} , Bieczu – 276,3 mg/l SO_4^{2-} , poniżej grobu z I wojny oraz w wodzie powierzchniowej w: Zbylitowskiej Górze – 385,2 mg/l SO_4^{2-} i Baczkanie – 362,1 mg/l SO_4^{2-} . Podwyższona koncentracja jonów siarczanowych – 284,2 mg/l SO_4^{2-} wystąpiła również w wodzie gruntowej na obrzeżach małego cmentarza parafialnego w Niedzieliskach na Wysoczyźnie Szczepanowskiej (ryc. 77).

Podobne stężenia stwierdził Trick i jego współpracownicy w Anglii (1999). W wodzie gruntowej na głębokości około 10 m, w zależności od lokalizacji piezometru, badacze pomierzyli od 258 mg/l SO_4^{2-} do 772 mg/l SO_4^{2-} . Natomiast w wodzie porowej strefy aeracji pod tymi pochówkami, w osadach piaszczystych, stężenia tych jonów zmieniały się wraz z głębokością w przedziale od 1000 mg/l SO_4^{2-} do 1800 mg/l SO_4^{2-} . Trick i współpracownicy (1999) uważają, iż jony te dominują głównie w wodach porowych w strefie aeracji. Według nich jony te, podobnie jak i chlorkowe oraz potasowe, migrowały przez strefę aeracji na cmentarzu w Nottingham przez 20 lat po zamknięciu cmentarza. Koncentracje jonów siarczanowych najczęściej były niskie na czynnym cmentarzu Danescount

w Wolverhampton i wynosiły około 50 mg/l SO_4^{2-} . Jedynie sporadycznie ich zawartość wzrosła w styczniu 2001 roku do 116 mg/l SO_4^{2-} oraz w czerwcu 2000 roku do 127 mg/l SO_4^{2-} (Trick i inni 2001). Natomiast wyższe stężenia tych jonów, wynoszące 300 mg/l SO_4^{2-} , pomierzył van Haaren (1951) w płytkiej wodzie gruntowej w pobliżu pochówków w Holandii.

Jony siarczanowe powstają w dobrze natlenionym i aktywnym biologicznie podłożu, np. piaskach w wyniku mineralizacji siarki organicznej zawartej w białkach. Przekroczenia dopuszczalnej koncentracji tego jonu są najczęściej niewielkie. Maksymalnie sięgały prawie 200% dopuszczalnej zawartości w Oświęcimiu. W większości badanych pochówków okresowo występują warunki beztlenowe w związku z wahaniami poziomu wody gruntowej. Siarka organiczna ulega w tych warunkach redukcji do siarkowodoru lub jonu siarkowodorowego (Stumm, Morgan 1996),

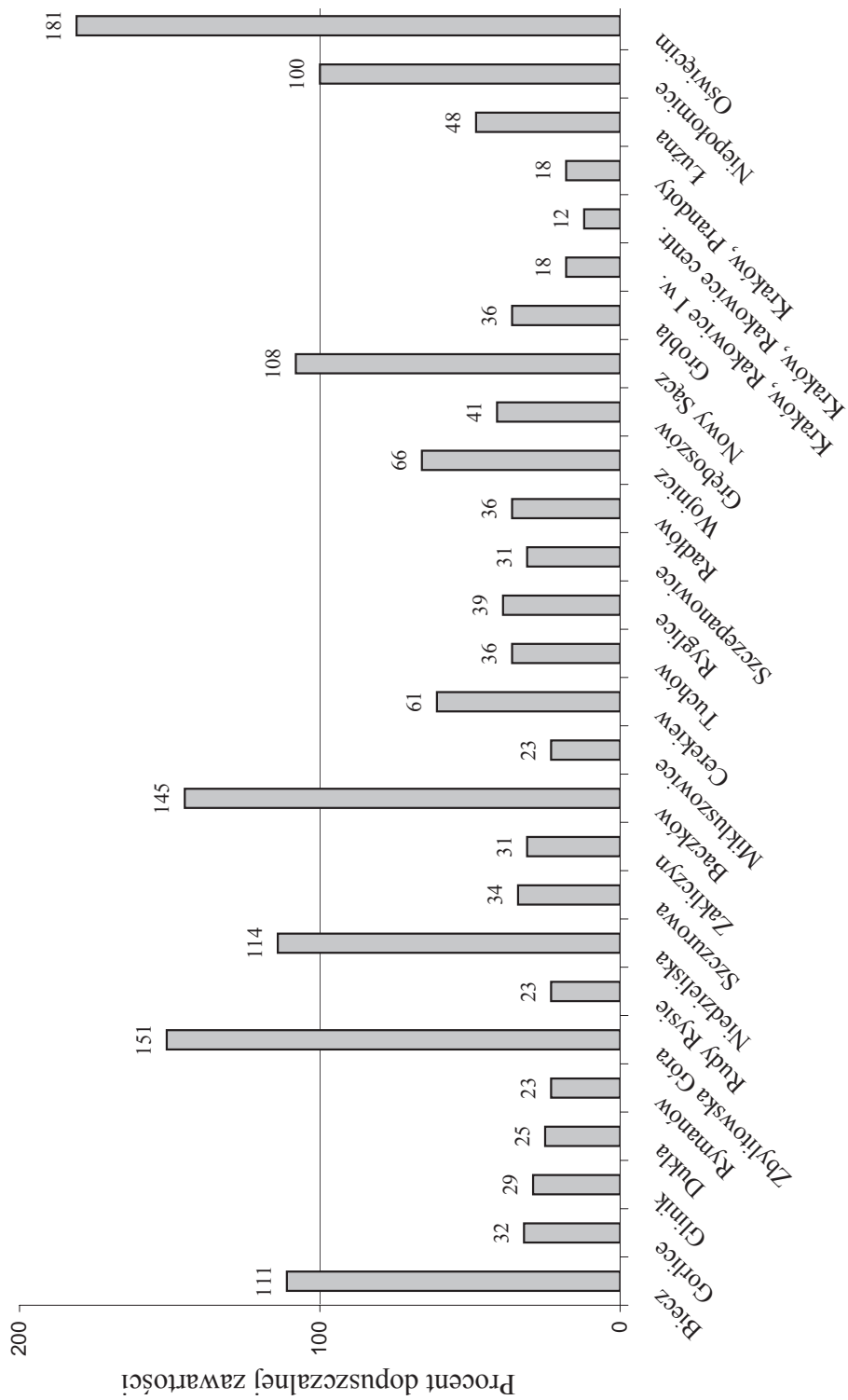


gdzie CH_2O reprezentuje uproszczoną formę substancji organicznej.

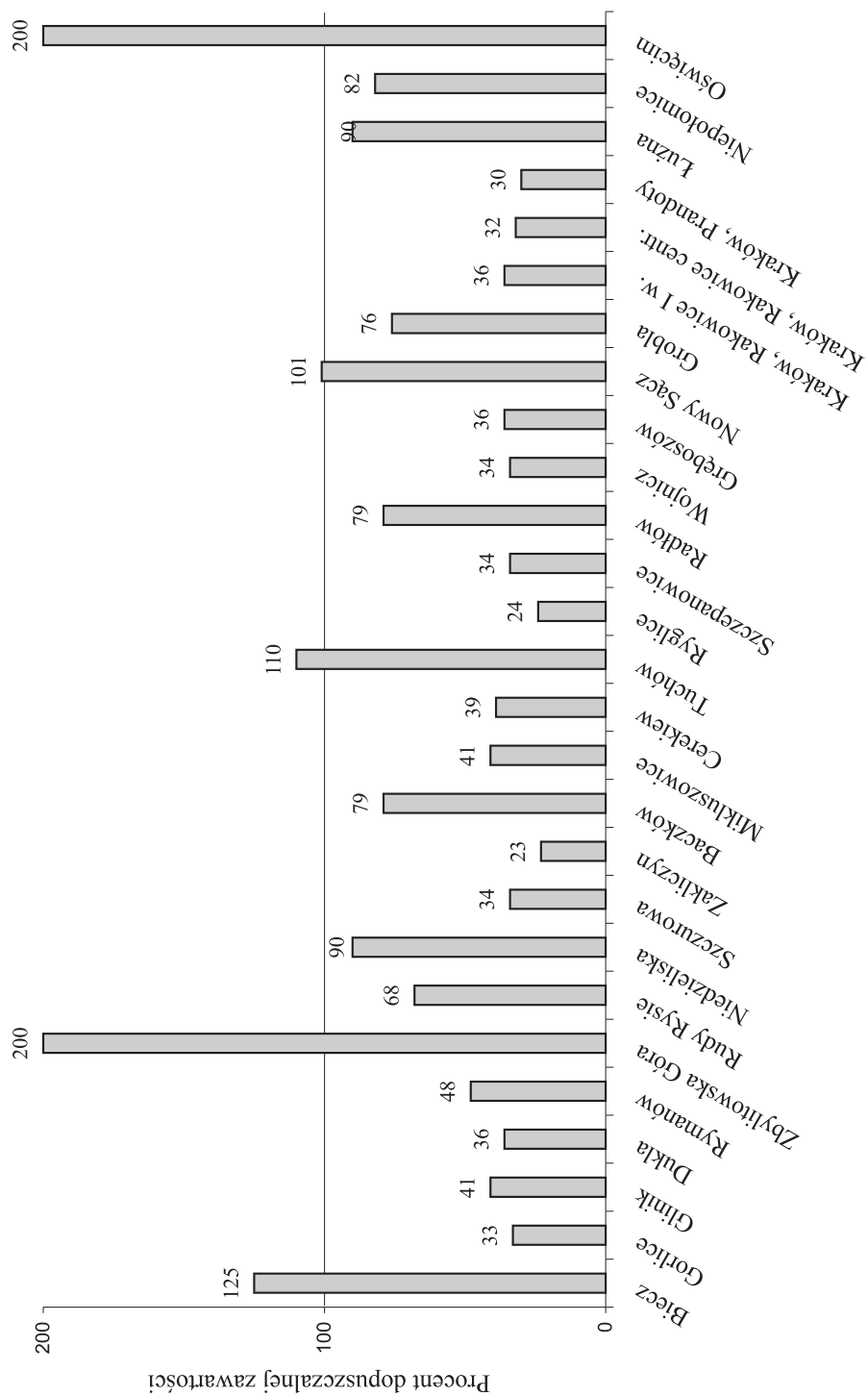
W procesie tym uczestniczą także różne bakterie, np. *Pseudomonas*, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Acidianus brierleyi* itp. Obecność ich w środowisku pochówku, np. *Pseudomonas* potwierdzono w kilku opracowaniach (Knight, Dent 1997; Dent 1998, 2000ab; Morgan 2004). Na cmentarzach Vila Formosa, Vila Nova Cachoeirinha i Areia Branca w Brazylii znaleziono bakterie *Clostridium* i *Streptococcus*, które redukują siarczany (Pacheco i inni 1991). Własne badania potwierdzają obecność siarkowodoru w powietrzu, w okresie wilgotniejszym, nad masowym grobem z okresu II wojny w Niepołomicach. Ponadto w środowisku osadów tego pochówku występowały siarczki metali. Problem ten zostanie przedstawiony w innym opracowaniu. Powstanie konkretnego produktu rozkładu materii organicznej zależy, według wielu badaczy, od pH osadów (Carrels, Christ 1965; Moore, Ramamoorthy 1984). Potencjał redoks, wyrażony w postaci pH lub rH, istotny jest w momencie pobierania próbki w profilu pionowym. Jednak rodzaj i ilość jonów są również konsekwencją zmiany odczynu w czasie. Odczyn ten stwierdzono w podłożu masowych grobów w okresie długich ciągów bezopadkowych, podczas obniżonego poziomu wody gruntowej. W podłożu grobów, które wykazywały istotny wpływ na środowisko, stwierdzono wysokie wartości rH, świadczące o panujących w nich warunkach utleniających (tab. 21).

Wiele pierwiastków, np: Ca, P, Mg, Cu, Zn, Co, Pb i Ni, a szczególnie Fe, Al i Mn występuje ponad zwierciadłem wody w suchej strefie aeracji. Najczęściej też w zasadowym środowisku, w związkach o małej rozpuszczalności: tlenkach, wodorotlenkach, fosforanach, jony pierwiastków są adsorbowane przez tlenki, wodorotlenki oraz gliny krzemianowe, np. kaolinit i illit (Taylor i inni 1983; Norrish, Rosser 1983; Probert 1983; Tiller 1983). W suchym podłożu ograniczona ilość wody w ciągu roku nie zdąży wypłukać soli z tych poziomów.

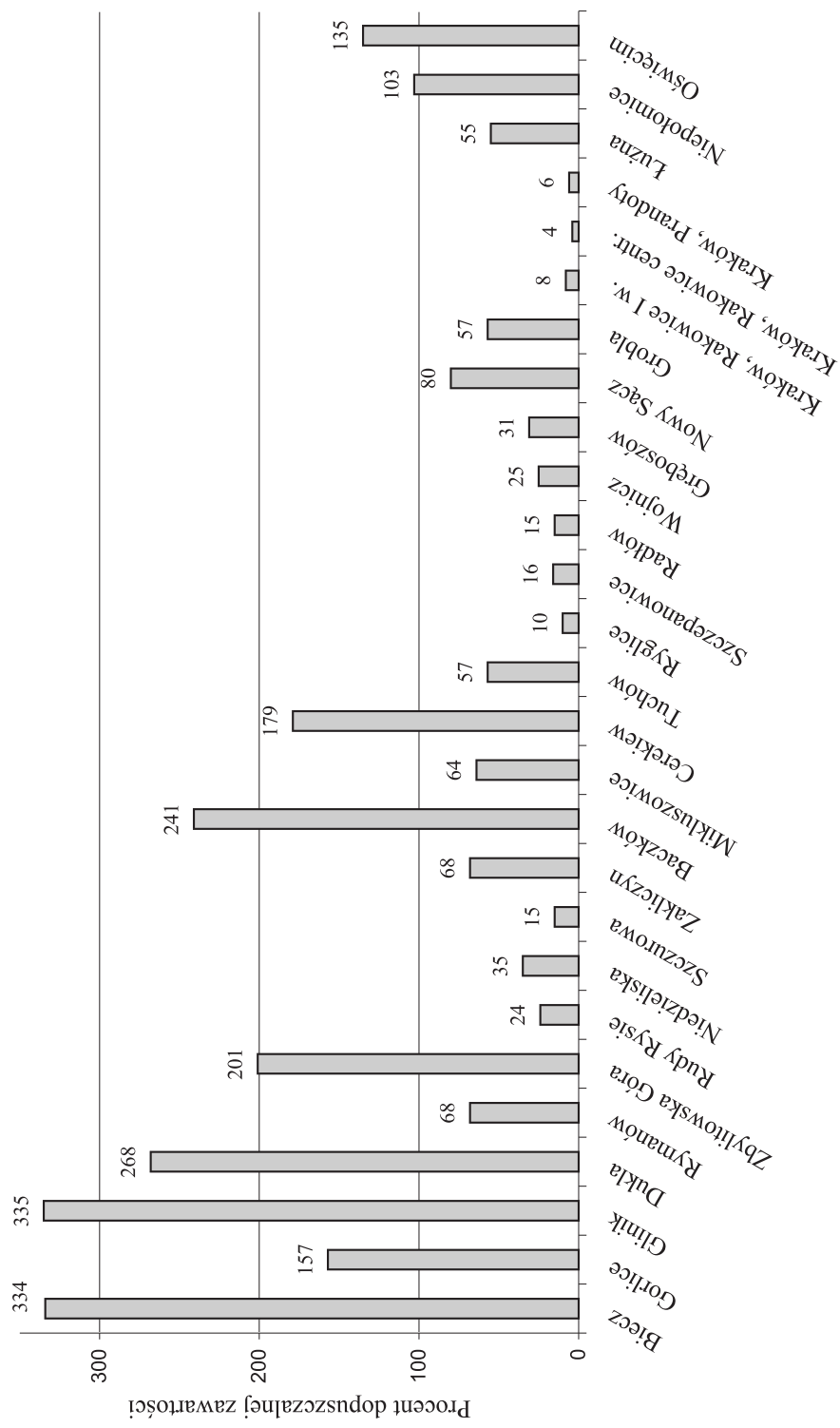
W otoczeniu masowych grobów, np. w: Oświęcimiu, Zbylitowskiej Górze, Nowym Sączu oraz w Bieczu, gdzie stwierdzono największe przekroczenia dopuszczalnej zawartości wielu jonów w wodzie podziemnej, przekroczona również została dopuszczalna koncentracja jonów chlorkowych. Jedynie w Baczkowie nie potwierdzono takiej prawidłowości (ryc. 78).



Ryc. 77. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów siarczanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



Ryc. 78. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów chlorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



Ryc. 79. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fluorokowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004

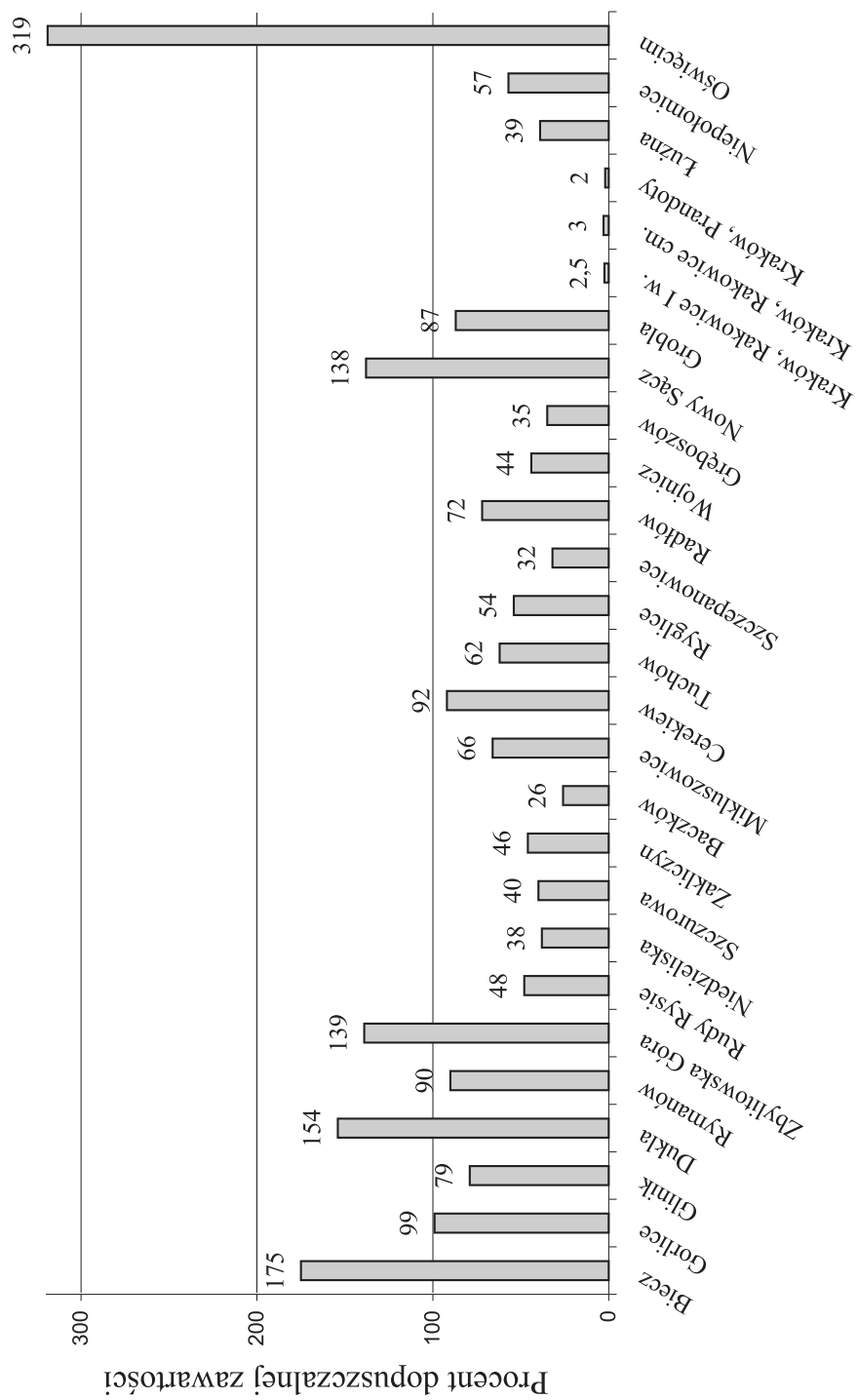
Natomiast zbyt duże wartości stwierdzono w próbce ze studni położonej w sąsiedztwie cholerycznego cmentarza w Tuchowie, gdzie ponadto zanotowano wyższe koncentracje jeszcze innych jonów: fosforanowych, żelaza i manganu. Badana studnia jest położona w dnie płaskodennej doliny, poniżej wspomnianego pochówku. Najwyższe przekroczenia – ponad 200% – dopuszczalnej koncentracji jonów chlorkowych wystąpiły w dniu 9.12.2004 roku w Oświęcimiu – 602,3 mg/l Cl⁻ oraz w dniu 28.05.2002 roku w Zbylitowskiej Górze – 500,1 mg/l Cl⁻. Znacznie mniejsze nieprawidłowości dotyczące tego jonu wystąpiły jeszcze w: Bieczu – 125%, Tuchowie – 110% i Nowym Sączu – 101%. Van Haaren (1951) w badaniach prowadzonych w Holandii w płytkiej wodzie gruntowej w pobliżu pochówków pomierzył ich koncentracje na poziomie 500 mg/l Cl⁻. Również wysokie stężenia tych jonów potwierdzili badacze w Nottingham (Trick i inni 1999). W zależności od odwiertu pod starym cmentarzem, z krótkim okresem pochówku w XIX wieku, stężenia jonów w wodach gruntowych wahały się od 172 mg/l Cl⁻ do 720 mg/l Cl⁻. Część Cl⁻, według Tricka i współpracowników, może pochodzić z chlorku sodu, którym posypywano parking. Parking ten funkcjonował po zamknięciu cmentarza w latach 1952–1962. Wielu badaczy uważa, że w pobliżu cmentarza koncentracje jonów chlorkowych są wysokie, ale spadają gwałtownie w miarę oddalania się od pochówków. Jest to szczególnie zauważalne w odległości od 100 m do 200 m. Jeszcze gwałtowniejszy spadek obserwuje się w miejscach bardziej odległych od pochówku (Gray i inni 1974 za Ucisik, Rushbrook 1998).

Nieco więcej przypadków przekroczeń dopuszczalnej zawartości dotyczy jonów fluorkowych (ryc. 79).

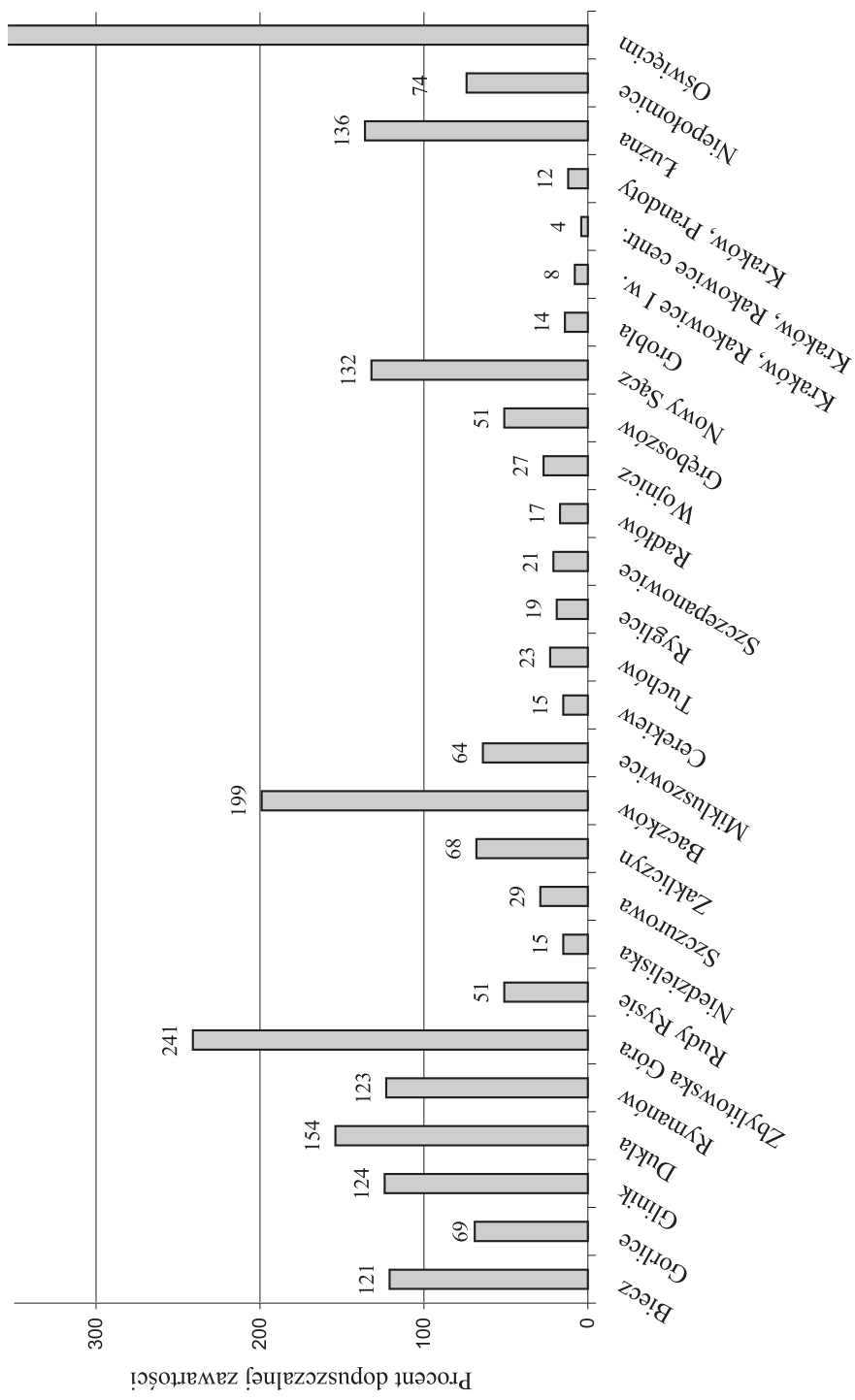
Poza wyżej wyróżnionymi pięcioma grobami badane przekroczenia dotyczą również grobów z: I wojny w Gorlicach i Gliniku, II wojny w Niepołomicach oraz cmentarzy w Dukli i Cerekwi. Największe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fluorkowych mają miejsce w przypadku wody ze studni położonych w sąsiedztwie grobów z I wojny w Bieczu – 334% oraz Gliniku – 335%. Wysokie przekroczenia dopuszczalnych stężeń, sięgające około 200%, występują również w próbkach wód gruntowych pobranych z cmentarza w Dukli i Cerekwi oraz w wodzie powierzchniowej z sąsiedztwa masowego grobu w Zbylitowskiej Górze i porównawczego miejsca w Baczkowie.

Odchylenia od dopuszczalnej zawartości dla wody pitnej, dla jonów azotanowych, miały miejsce w 5 przypadkach w porównaniu z 9 miejscami, gdzie nastąpiły przekroczenia stężenia jonów amonowych (ryc. 80, 81).

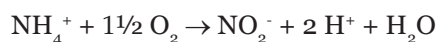
Badania prowadzone przez Vass i współpracowników (1992) wskazują, iż jony amonowe dominują w wodach gruntowych pod pochówkami. Równoczesne przekroczenia obu tych jonów wystąpiły w wodach gruntowych w: Oświęcimiu, Nowym Sączu, Zbylitowskiej Górze, Dukli oraz w Bieczu. Obecnie istnieje tam dostawa do wód gruntowych substancji organicznych pochodzących z pochówku. Z kolei powodują one wzrost koncentracji jonów azotanowych, które ulegając redukcji, zwiększają zawartość jonów amonowych. Mineralizacja tej substancji odbywa się poprzez różne procesy: amonizacji, amonifikacji oraz immobilizacji z udziałem mikroorganizmów. W warunkach tlenowych powyżej zwierciadła wody z azotu amonowego, z udziałem bakterii chemoautotroficznych, np: *Nitrosomonas sp.*, *Nitrosococcus sp.*, *Nitrosovibrio sp.*, *Nitrosolobus sp.*, ponownie mogą wytworzyć się w procesie pierwszego etapu nityfikacji jony azotanowe (Kowalik 2001):



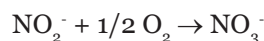
Ryc. 80. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów azotanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



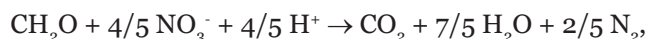
Ryc. 81. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów amonowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004



Natomiast w drugim etapie, z udziałem bakterii chemolitotroficznych z rodzaju *Nitrobacter*, powstają azotany:

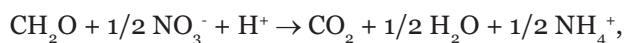


Procesowi temu sprzyja wyższa temperatura w środowisku glebowym, od 30 °C do 40 °C oraz pH mieszczące się w przedziale od 6 do 8. Przy spadku temperatury poniżej 5 °C proces ten zanika, w związku z zahamowaniem wzrostu bakterii. Zbyt intensywny proces nityfikacji azotu amonowego może prowadzić do obniżenia pH osadu. Prawdopodobnie jest to jeden z powodów dużej zmienności pH w profilu pionowym masowych grobów. We wspomnianych pięciu miejscach obserwuje się duże wahania zwierciadła wody. Woda gruntowa podnosi się w okolice lub nawet sięga pochówku. W wodach porowych w strefie aeracji na cmentarzu Carter Gate z lat 1813–1875 w Nottingham obserwuje się zdecydowanie wyższe koncentracje wielu jonów: siarczanowych, chlorkowych, amonowych, azotanowych, manganu, wapnia, sodu, magnezu, potasu itp. (Trick i inni 1999). W wodzie porowej na tym cmentarzu było aż 108 µg/l jonów selenu, a w wodzie gruntowej tylko 4 µg/l. Tak duże różnice w koncentracji wielu jonów związane są z dużą miąższością warstwy aeracji pod pochówkiem oraz małą infiltracją, szczególnie w latach 1938–1962, kiedy na powierzchni cmentarza był plac i parking miejski. Na tym cmentarzu potwierdzono masowy pochówek z roku 1832. Pochowano tam w jednym miejscu około 330 osób bez trumien oraz 930 osób w skrzyniach. Pochówki te związane były z epidemią cholery. Zawartość jonów amonowych w piaszczystych zwietrzelinach piaskowców triasowych Sherwood w Nottingham zdecydowanie zwiększała się do głębokości 2 m poniżej pochówku, kosztem spadku jonów azotanowych. Relacja ta nie jest w proporcji stechiometrycznej. To zjawisko Trick i współpracownicy wiążą raczej z denityfikacją azotanów do gazowego azotu niż z redukcją azotanów (III) do jonów amonowych (Stumm, Morgan 1981).



gdzie CH₂O reprezentuje uproszczoną formę substancji organicznej.

W procesie denityfikacji azotanów dużą rolę pełnią bakterie chemoheterotroficzne, między innymi z rodzaju: *Aeromonas*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Bacillus* i *Pseudomonas*. Występowanie w środowisku pochówków bakterii z rodzaju *Bacillus* i *Pseudomonas* potwierdziło kilku badaczy, np. Knight i Dent (1997), Dent (1998) oraz Morgan (2000ab, 2004). Trick i współpracownicy (1999) nie spodziewają się współczesnego przemieszczania się w głąb profilu jonów azotanowych. Jednak poniżej 5 m od powierzchni zaobserwowali w wilgotnym gruncie, jeszcze w strefie aeracji, zdecydowanie wyższą zawartość azotanów i jednocześnie obniżającą się zawartość jonów amonowych. Według nich w tej warstwie zachodzi wspomniana denityfikacja oraz redukcja azotanów.



gdzie CH₂O reprezentuje uproszczoną formę substancji organicznej.

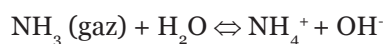
Na beztlenową dekompozycję wskazują również potwierdzona duża wilgotność oraz obecność związków organicznych, przemieszczonych wcześniej na tę głębokość (Trick i inni 1999). Proces ten polega na utlenianiu węgla organicznego przez bakterie. W sytuacji, gdy bakteriom brakuje rozpuszczonego tlenu, wykorzystują one do redukcji w porządku termodynamicznym następujące jony: NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} . Redukcja azotanów dokonuje się także z udziałem jonów metali według mechanizmu dwufunkcyjnego. Pomiędzy azotanem i promotorem występuje reakcja bezpośredniego utleniania-redukcji oraz pomiędzy wodorem, zaadsorbowanym chemicznie na metalu szlachetnym, np. Cu i przejściowym azotynem dokona się reakcja katalityczna (Gauthard i inni 2003).

Badane studnie w Bieczu, Nowym Sączu i Oświęcimiu były trwale zakryte. Natomiast studnia w Dukli położona jest na lokalnym spłaszczeniu w centralnej części czynnego parafialnego cmentarza. Otwór studzienny nie jest szczelnie zakryty, a studnia jest regularnie użytkowana przy pomocy wiadra na łańcuchu. Na współczesnych cmentarzach, np. Danescourt w Wolverhampton, we wszystkich piezometrach założonych na cmentarzu stężenia jonów azotanowych były wyższe od tła geochemicznego, a w kilku przypadkach woda gruntowa wykazywała nawet 2 do 3 razy większe zawartości jonów azotanowych w porównaniu z tłem geochemicznym (Trick i inni 2001). Największe koncentracje, przekraczające nawet 50 mg/l NO_3^- , wystąpiły w centralnej części tego cmentarza, otwartego w roku 1959. Te maksymalne stężenia stwierdzono w próbkach pobranych z różnych piezometrów, ale innych w czerwcu 2000 roku niż w styczniu 2001 roku. Duże zawartości wielu jonów zbadano w pobliżu świeżych pochówków, np. na cmentarzu Northwood Cemetery w zachodnim Londynie (Rouge River). Z kolei na starym cmentarzu Carter Gate (z lat 1813–1875) w Nottingham stężenia jonów azotanowych były niskie w strefie aeracji – około 12,4 mg/l NO_3^- . Koncentracja tych jonów jest zdecydowanie większa w pobliżu zwierciadła wody gruntowej. W strefie aeracji na głębokości 9,5 m wynosi nawet 159 mg/l NO_3^- . Natomiast w wodzie gruntowej tego samego cmentarza jest ona co najmniej dwa razy wyższa niż wynosi dopuszczalna zawartość dla wody pitnej ustalona przez WHO na 50 mg/l NO_3^- (WHO 1993). W tym szczególnym przypadku duże ilości pochodzą prawdopodobnie również z kanałów ściekowych zurbanizowanej części miasta (Trick i inni 1999). Najwięcej produktów dekompozycji powstanie teoretycznie po 2 latach po pogrzebie (Vass i inni 1992). Azotany są anionami słabo adsorbowanymi przez koloidy naładowane ujemnie. Ich duża mobilność w roztworach glebowych sprzyja szybkiemu wyprowadzaniu tych jonów z macierzystego środowiska (Kowalik 2001). Łatwo więc docierają do płytkich wód gruntowych. Szybkiemu wypłukiwaniu azotanów sprzyjają szczególnie intensywne opady oraz gruboziarniste piaski w podłożu, w których jest dużo porowatych, ciągłych przestrzeni umożliwiających perkolację. Podlegają one natomiast procesom denitryfikacji w podłożach zawodnionych, beztlenowych, z niskim potencjałem redox. Jony azotanowe są mało aktywne w tworzeniu kompleksów glebowych. Ich sorpcji wymiennej sprzyja obecność organizmów oraz niektórych minerałów ilastych. Wyższe stężenia tych jonów w wodzie gruntowej są możliwe jedynie w pobliżu świeżych pochówków.

Próbki w Zbylitowskiej Górze pobierano poniżej masowego grobu, z powierzchniowego zastoiska, gdzie substancje organiczne prawdopodobnie zostały

dostarczone również ze środowiska lasu. Przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów amonowych, ale nie azotanowych, miały miejsce w pozostałych wspomnianych miejscach w: Gliniku – 1,86 mg/l NH_4^+ , Rymanowie – 1,85 mg/l NH_4^+ , Łuźnej – 2,03 mg/l NH_4^+ w próbce z 14.11.2004 roku oraz w wodzie powierzchniowej w Baczkowie – 2,98 mg/l NH_4^+ (ryc. 81). Dostawa zanieczyszczeń do wody gruntowej miała tu miejsce znacznie wcześniej. Prawdopodobnie odbywa się ona w tych miejscach cyklicznie wraz z większą dostawą wody. Sprzyjają temu duże opady i wysoki poziom wody gruntowej (Rouge Volley 2002; Rodrigues, Pacheo 2003). Powolna redukcja jonów amonowych jest także związana z relatywnie dużą pojemnością sorpcyjną pokryw gliniastych – od 10 do 20 cmol(+)/kg, jeszcze większą mad rzecznych i ilów – do 60 cmol(+)/kg, w porównaniu z małą pojemnością osadów piaszczystych – od 1 do 10 cmol(+)/kg (Kowalik 2001, za: Puchalski, Prusinkiewicz 1975). Pojemność ta z reguły maleje wraz ze wzrostem głębokości. Zdolności sorpcyjne podłoża zależą głównie od rodzaju gleby, czyli zawartości części splawialnych i koloidalnych (Melke i inni 2003). Jony amonowe są adsorbowane wymiennie w przestrzeniach międzypakietowych wielu minerałów ilastych, np. wernikulitu, illitu, smektytu itd.

Jony amonowe powstają także w środowisku beztlenowym, w procesie denitryfikacji, z udziałem bakterii. Warunki takie panują w osadach w pełni nasyconych wodą. Proces ten jest możliwy, gdy zostanie obniżona zawartość tlenu. Wtedy sprzyja mu wyższa temperatura podłoża oraz obecność związków organicznych, które są obecne w masowych grobach. Pochówki masowe dotyczą bowiem dużej liczby ciał złożonych w małej przestrzeni grobowej. Ponadto groby te znajdują się najczęściej w środowisku lasu, które także sprzyja większej pojemności sorpcyjnej podłoża (Kocowicz 1999; Melke i inni 2003). Jony amonowe na cmentarzu Danescourt w Wolverhampton miały relatywnie wyższe stężenia tylko w miejscu, gdzie zalegały płytko wody gruntowe w gliniastych piaskach (Trick i inni 2001). W miejscach tych uwalnia się także azot w postaci gazu HN_3 . Proces ten zachodzi wówczas, gdy zostanie zachwiana równowaga między gazowym amoniakiem a formą hydroksylową.



Przyczyną zachwiania równowagi jest najczęściej istotna zmiana odczynu pH. Dopiero przy wyższym pH – 9,3, występuje ulatnianie większej ilości amoniaku. Zależy ono jeszcze od wielu innych czynników, takich jak: temperatura, prędkość wiatru, ilość światła słonecznego itp.

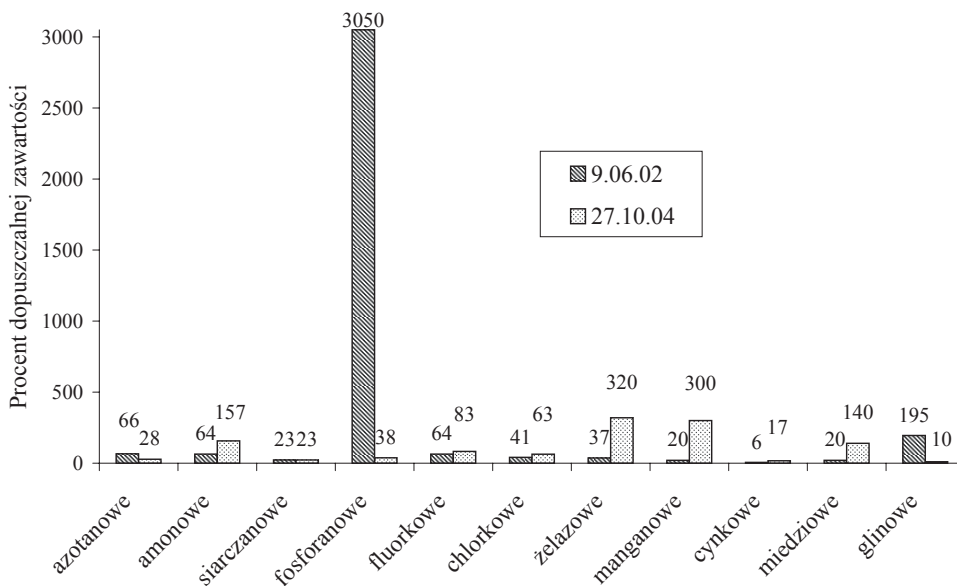
Generalnie jednak prowadzone badania wskazują na małą ilość odchyień od dopuszczalnej zawartości jonów amonowych. Ponadto w kilku nielicznych przypadkach zanotowane przekroczenia są niewielkie. Jedynie w Oświęcimiu wystąpiło znaczne przekroczenie sięgające ponad 300%. Natomiast w wodach powierzchniowych, w pobliżu masowego grobu w Zbylitowskiej Górze i porównawczego miejsca w Baczkowie, podwyższone ilości tych jonów mogą być związane z dostawą substancji organicznej spoza grobów. Próbkę wody do tych analiz pobierano z rowu odwadniającego badany teren w Baczkowie oraz z zastoiska położonego poniżej masowego grobu w Zbylitowskiej Górze. Niskie stężenia jonów azotanowych i amonowych o wartościach poniżej 10 mg/l, poza jednym miejscem,

potwierdzają także badania wody z sześciu studni położonych w pobliżu cmentarza w Ontario w Kanadzie (Chan i inni 1992). Ich analizy wskazują również na inne pochodzenie części substancji organicznej, którą wykazali w wodzie ze studni. Badacze ci nie weryfikują jednak tego stwierdzenia badaniami izotopów N. W pobliżu cmentarza w Ontario nie wykazano wysokich koncentracji formaldehydu. Natomiast badania prowadzone w tym samym czasie w Anglii, w pobliżu niedawnych pochówków, potwierdzają wysokie stężenia jonów, pochodnych azotu oraz formaldehydu o wartości 8,6 mg/l (Trick i inni 1999). Trick i współpracownicy obliczają średnią szybkość migracji jonów amonowych na 0,0175 m/rok. Ich badania, prowadzone po 140 latach od zamknięcia cmentarza, wskazują na migracje tych jonów na odległość 2,45 m. Ze względu na złożony proces ich przemieszczania, jest to raczej tempo procesu ubywania ich ze środowiska pochówku, a nie migracji. Tym bardziej, że na terenie byłego cmentarza w centrum Nottingham średnia szybkość perkolacji wody przez strefę aeracji wynosi 0,25 m/rok (Trick i inni 1999).

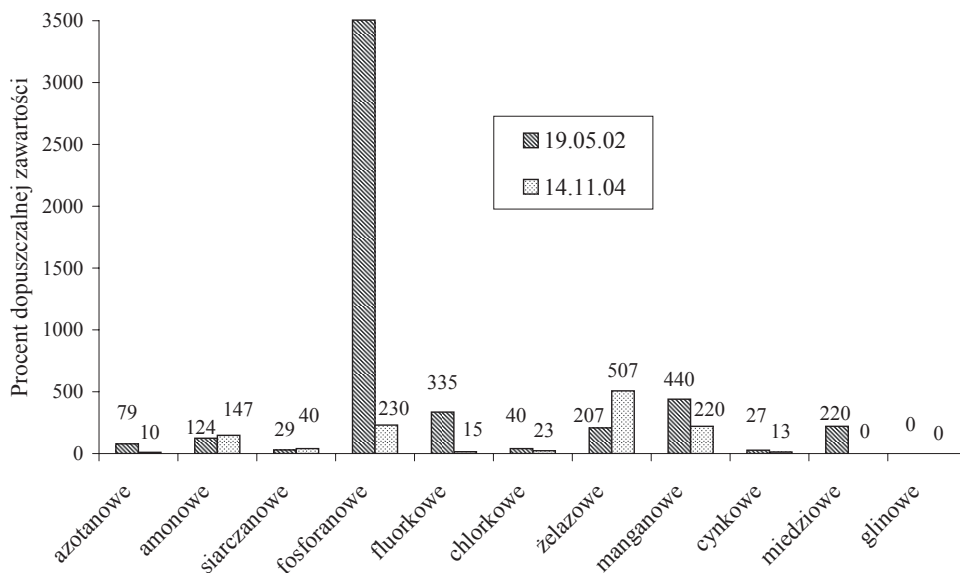
9.4. Zmienność zawartości badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków

Wszystkie badane przypadki zmienności jakości chemicznej wody w czasie wskazują, niezależnie od warunków środowiskowych, na istotne znaczenie warunków pogodowych wpływających na jakość chemiczną wody gruntowej. W okresie wiosennym występują częste i duże wahania zwierciadła wody gruntowej. Największy ich wpływ na jakość wody ma miejsce na terasach z dużą przepuszczalnością. Największa zmienność jakości wody gruntowej związana jest z zawartością jonów fosforanowych na cmentarzach, położonych na terasach w Mikłuszowicach od 0,15 mg/l PO_4^{3-} do 12,02 mg/l PO_4^{3-} i w Gliniku od 0,92 mg/l PO_4^{3-} do 14,02 mg/l PO_4^{3-} (ryc. 82, 83). W przypadku pozostałych jonów nie obserwuje się tak dużych zmienności. Koncentracje kilku jonów, np. amonowych i żelaza, są nawet większe jesienią, kiedy występuje mniej opadów i są małe wahania zwierciadła wody gruntowej. Jesienią relatywnie większej koncentracji jonów amonowych towarzyszą mniejsze zawartości jonów azotanowych. Ta prawidłowość dotyczy prawie wszystkich badanych przypadków. Obecność jonów azotanowych związana jest z cyklicznym przemieszczaniem się produktów dekompozycji oraz z ich mineralizacją, a ta jest typowa dla wiosny. Jesienią migracja substancji organicznej jest mniejsza ze względu na wolniejsze krążenie wody w środowisku. Interesująca jest relacja koncentracji jonów fosforanowych i żelaza jesienią. Wtedy mniejszej ilości jonów fosforanowych odpowiada stosunkowo większa ilość jonów żelaza w badanych wodach gruntowych w: Mikłuszowicach – 0,96 mg/l Fe^{3+} , Gliniku – 1,52 mg/l Fe^{3+} i Wojniczu – 1,22 mg/l Fe^{3+} (ryc. 82, 83, 84). Żelazo jest dobrym sorbentem P. Mniejsza dostępność P dla Fe sprzyja zatem relatywnie większemu uwalnianiu Fe do roztworu wodnego. Prawidłowość ta nie dotyczy jednak każdego środowiska, a w szczególności utworów z dużą ilością minerałów ilastych, które też są dobrym sorbentem P. W tego rodzaju utworach, np. w Bieczu, Gorlicach oraz Krakowie,

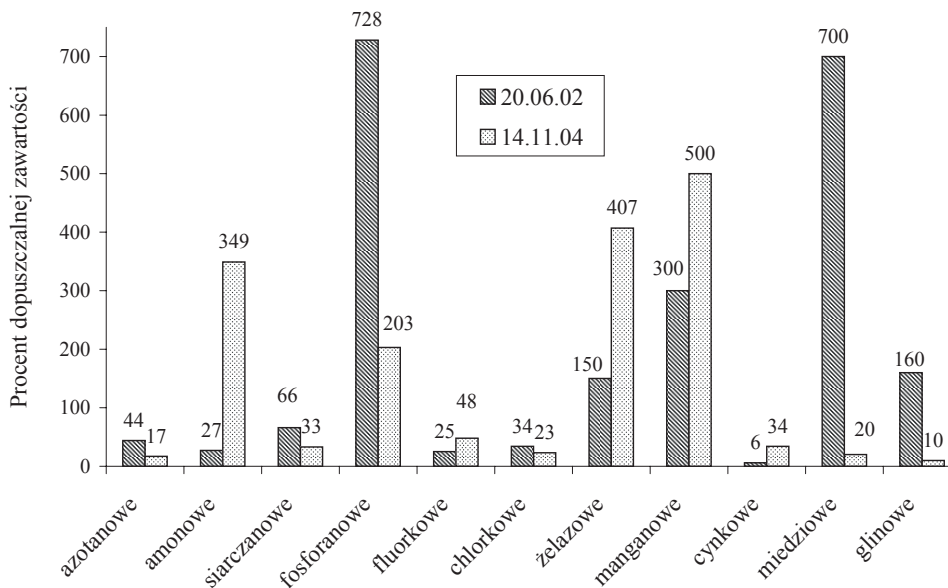
względnie dużym zawartościom jonów fosforanowych towarzyszą duże koncentracje jonów żelaza (ryc. 85, 86, 87, 88).



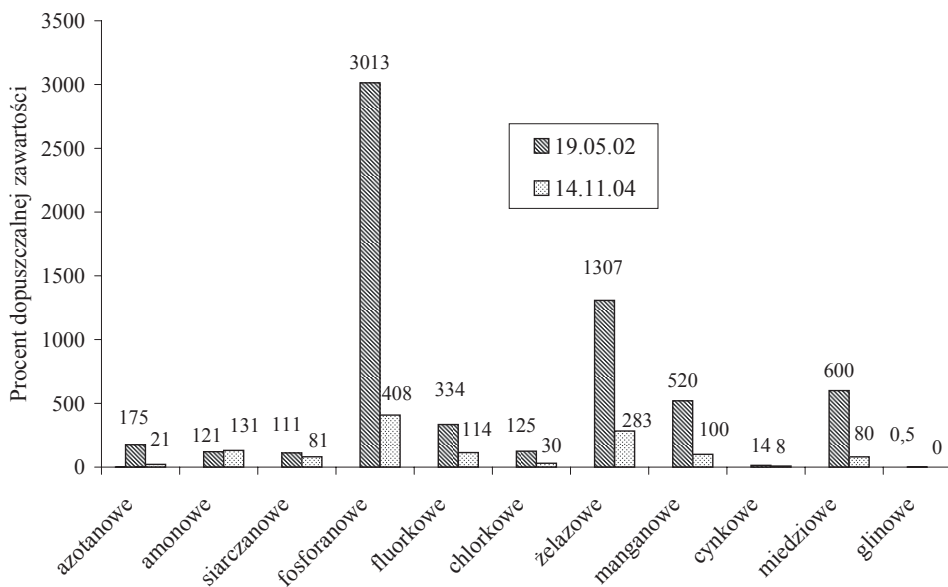
Ryc. 82. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu w Mikuszowicach



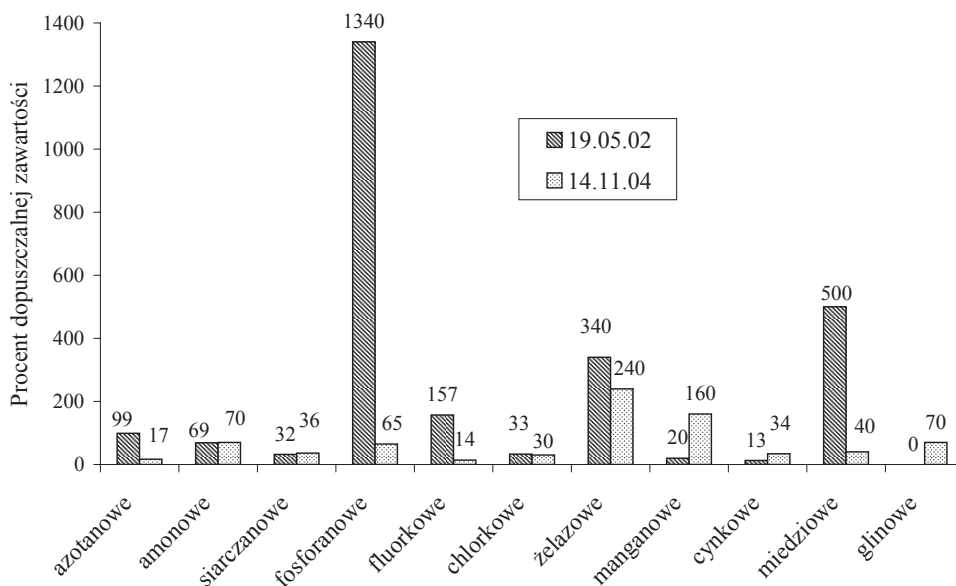
Ryc. 83. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w odległości 15 m od masowego grobu z I wojny w Gliniku



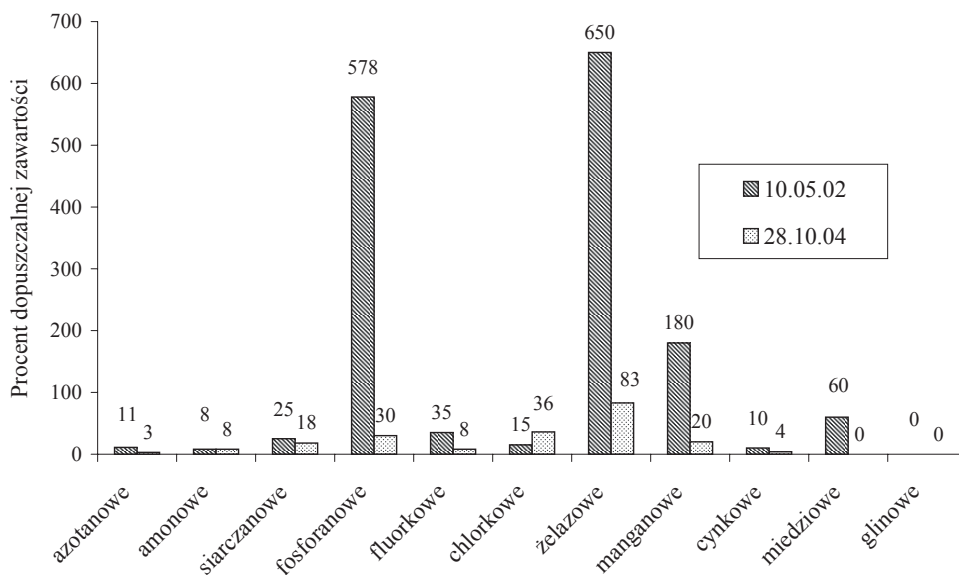
Ryc. 84. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w pobliżu masowego grobu z I wojny na cmentarzu w Wojniczu



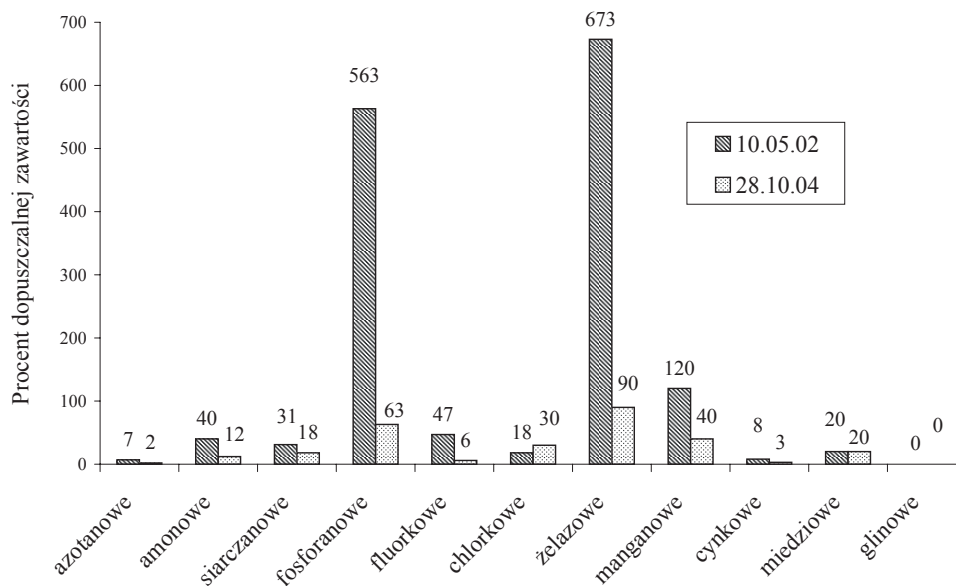
Ryc. 85. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie z odległości 10 m poniżej cmentarza z I wojny w Bieczu



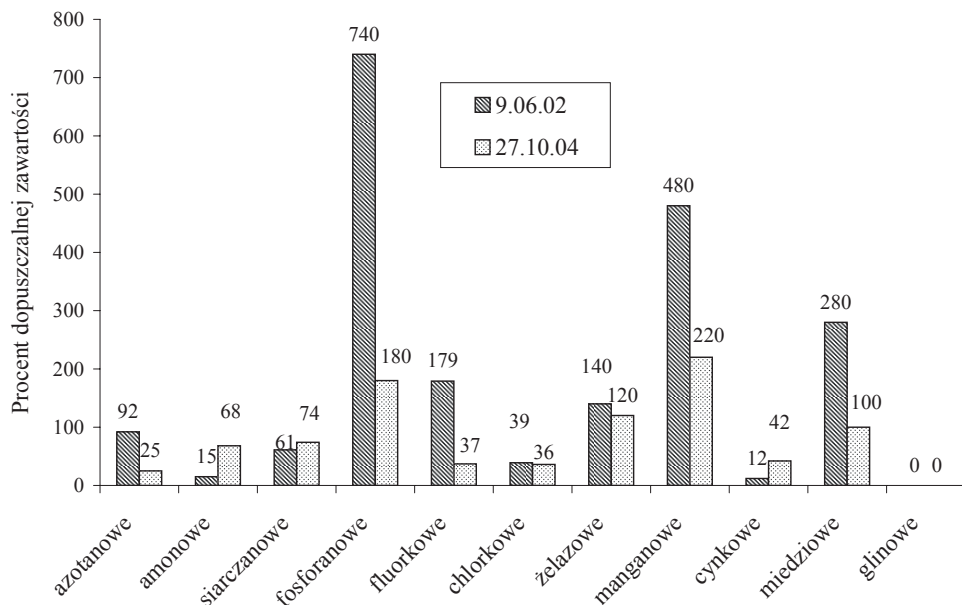
Ryc. 86. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie poniżej masowego grobu z okresu I wojny w Gorzówku



Ryc. 87. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w odległości 15 m od pochówku z I wojny na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie



Ryc. 88. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu wojskowym przy ulicy Prandoty w Krakowie



Ryc. 89. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu w Cerekwi

Duża roczna zmienność stężenia jonów fosforanowych ma miejsce również na stokach w Karpatach, np.: w Bieczu od 1,63 mg/l PO_4^{3-} do 12,05 mg/l PO_4^{3-} i w Gorlicach od 0,26 mg/l PO_4^{3-} do 5,36 mg/l PO_4^{3-} . Występują tam duże wahania zwierciadła wody w ciągu roku, o czym pisano wcześniej (tab. 8). Większość pozostałych jonów dominuje tu również wiosną. Wyjątek stanowią, w Gorlicach, jony glinu, manganu, w mniejszym stopniu siarczanowe i cynku oraz jony amonowe w Bieczu, które jesienią posiadają nieznacznie większe koncentracje (ryc. 85, 86).

Szczególnym przypadkiem są studnie na cmentarzach – Rakowickim oraz przy ulicy Prandoty w Krakowie (ryc. 87, 88). Woda podziemna w podłożu tych cmentarzy znajduje się w zróżnicowanych plejstoceniowych terasach Wisły (Starkel 2001; Sokołowski i inni, w druku). Miąższość utworów czwartorzędowych w tym miejscu przekracza 18 m. Poniżej nich występują nieprzepuszczalne osady miocenu. W okresie jesiennym, gdy warunki pogodowe są bardziej stabilne, nie stwierdza się tutaj przekroczenia dopuszczalnych zawartości jonów w wodach gruntowych. Natomiast na wiosnę zdecydowanie wzrasta koncentracja jonów fosforanowych i żelaza w obu miejscach (ryc. 87, 88). W studni przy masowym grobie z I wojny na Cmentarzu Rakowickim ilość jonów fosforanowych wahała się od 0,12 mg/l PO_4^{3-} do 2,31 mg/l PO_4^{3-} , a jonów żelaza od 0,25 mg/l Fe^{3+} do 1,95 mg/l Fe^{3+} (tab. 76). W sąsiedztwie – na cmentarzu wojskowym przy ulicy Prandoty, stężenia tych jonów były podobne i 10.05.2002 roku wyniosły odpowiednio: 2,25 mg/l PO_4^{3-} i 2,02 mg/l Fe^{3+} .

W tych bardziej zawodnionych osadach związki fosforu z żelazem ulegają wówczas dysocjacji. W wodzie występuje relatywnie więcej jonów żelaza. Większość z nich pochodzi bowiem z naturalnego środowiska terasy. Ponadto w wodach badanych studni na cmentarzach – Rakowickim i przy ulicy Prandoty w Krakowie, obserwuje się wiosną szczególnie większe ilości jonów siarczanowych, fluorkowych, manganu, cynku i miedzi. Koncentracja jonów fluorkowych na Rakowicach wahała się od 0,12 mg/l F^- do 0,52 mg/l F^- i była poniżej dopuszczalnej zawartości. Natomiast stężenia jonów fluorkowych na cmentarzu Danescourt w Wolverhampton były w okresie wilgotniejszym nieznacznie większe w czerwcu 2000 roku, w granicach od 0,05 mg/l F^- do 0,15 mg/l F^- , w porównaniu z wynikami uzyskanymi w styczniu 2001 roku, kiedy zawartości tych jonów mieściły się w przedziale od 0,05 mg/l F^- do 0,11 mg/l F^- (Trick i inni 2001).

W próbkach pobranych ze studni zlokalizowanej na cmentarzu położonym na terasie Dunajca w Wojniczu występują znacznie wyższe przekroczenia dopuszczalnej zawartości kilku jonów jesienią, a nie wiosną. Ich stężenia są odpowiednio w granicach, jonów amonowych od 0,41 mg/l NH_4^+ do 5,23 mg/l NH_4^+ , fluorkowych od 0,37 mg/l F^- do 0,72 mg/l F^- , żelaza od 0,45 mg/l Fe^{3+} do 1,22 mg/l Fe^{3+} , manganu od 0,15 mg/l Mn^{2+} do 0,25 mg/l Mn^{2+} oraz cynku od 0,19 mg/l Zn^{2+} do 1,02 mg/l Zn^{2+} . Z kolei, na terasie Raby w Cerekwi te same trzy jony mają niższą zawartość jesienią niż wiosną. Odpowiednio stężenia tych jonów mieszczą się w przedziałach: fluorkowych od 0,56 mg/l F^- do 2,69 mg/l F^- , żelaza od 0,42 mg/l Fe^{3+} do 0,36 mg/l Fe^{3+} oraz manganu od 0,11 mg/l Mn^{2+} do 0,24 mg/l Mn^{2+} (ryc. 84, 89). Cmentarz w Wojniczu jest w znacznie większym stopniu pokryty płytami betonowymi. Ponadto studnia na tym cmentarzu jest szczelnie zakryta. Rozkład substancji organicznej występującej w podłożu odbywa się etapowo i jest relatywnie wolniejszy. Na porównywanym cmentarzu w Cerekwi studnia jest od-

Tabela 76. Zawartości badanych jonów w próbkach wody gruntowej pobranej w pobliżu masowych grobów lub na cmentarzach w różnym czasie

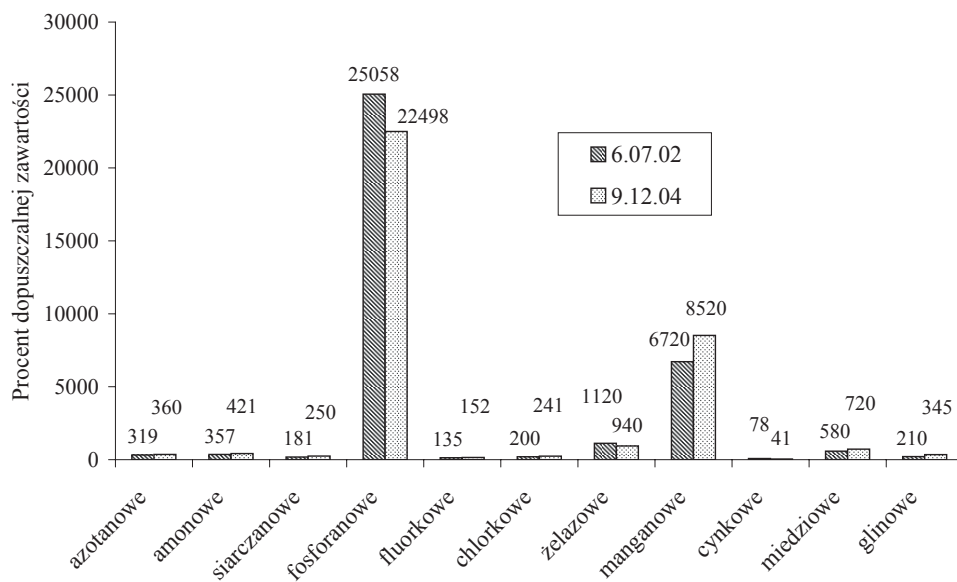
Miejscowości z grobami	Koncentracje wybranych jonów w mg/l													Data pomiaru
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Cl ⁻	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Al ³⁺			
Wojnicz (cm., I w.) ¹	21,8	0,4	165,3	2,9	0,4	85,0	0,5	0,2	0,2	0,4	0,3	20.06.2002		
	8,4	5,2	82,2	0,8	0,7	56,4	1,2	0,3	1,0	0,01	0,02	14.11.2004		
Glinik (mas., I w.)	39,4	1,9	73,3	14,0	5,0	100,2	0,6	0,2	0,8	0,1	0,0	19.05.2002		
	5,2	2,2	100,1	0,9	0,2	56,3	1,5	0,1	0,4	0,0	0,0	14.11.2004		
Gorlice (mas., I w.)	49,3	1,0	79,4	5,4	2,4	82,1	1,0	0,0	0,4	0,3	0	19.05.2002		
	8,3	1,1	89,4	0,3	0,2	75,2	0,7	0,1	1,0	0,02	0,14	14.11.2004		
Oświęcim (mas., jeńcy)	159,4	5,4	452,7	100,2	2,0	500,4	3,4	3,4	2,3	0,3	0,4	6.07.2002		
	180,1	6,3	624,3	90,0	2,3	602,3	2,8	4,3	1,2	0,4	0,7	9.12.2004		
Cerekiew (cm.)	45,9	0,23	152,2	3,0	2,7	98,4	0,4	0,2	0,4	0,14	0,0	9.06.2002		
	12,3	1,0	185,3	0,7	0,6	89,4	0,4	0,1	1,3	0,1	0,0	27.10.2004		
Mikuszowice (cm., I w.)	32,9	1,0	56,3	12,0	1,0	102,1	0,1	0,0	0,2	0,01	0,4	9.06.2002		
	14,2	2,4	56,3	0,2	1,3	156,4	1,0	0,2	0,5	0,1	0,02	27.10.2004		
Biecz (mas., I w.)	87,3	1,8	276,3	12,1	5,0	312,1	3,9	0,3	0,4	0,3	0,0	19.05.2002		
	10,6	2,0	203,3	1,6	1,7	75,2	0,9	0,1	0,3	0,04	0,0	14.11.2004		
Kraków-Rakowice ²	5,3	0,1	62,3	2,3	0,5	36,3	2,0	0,1	0,3	0,03	0,0	10.05.2002		
	1,3	0,1	45,2	0,1	0,1	89,6	0,3	0,01	0,1	0,0	0,0	28.10.2004		
Kraków-Prandoty ³	3,7	0,6	78,4	2,3	0,7	45,2	2,0	0,1	0,3	0,01	0,0	10.05.2002		
	1,0	0,2	44,3	0,3	0,1	75,2	0,3	0,02	0,1	0,01	0,0	28.10.2004		

¹ cm., I w. – studnia położona na cmentarzu w pobliżu masowego grobu z I wojny światowej; cm. – studnia położona na cmentarzu; mas., I w. – studnia położona w pobliżu masowego grobu z I wojny światowej; ²studnia położona na cmentarzu w pobliżu masowego grobu z I wojny; ³ studnia położona w centralnej części cmentarza wojennego w pobliżu masowego grobu żołnierzy radzieckich

kryta, podłoże bardziej przepuszczalne, a substancja organiczna dociera tu szybciej do wody gruntowej. Stąd w wodzie gruntowej, szczególnie na wiosnę, występują wyższe zawartości jonów azotanowych – 45,88 mg/l NO_3^- . Porównywalna koncentracja tych jonów jest mniejsza w Wojniczu – 21,76 mg/l NO_3^- , ale również dominuje na wiosnę, a nie jesienią. Natomiast w czerwcu dwa jony fosforanowe i miedzi wykazują zdecydowanie wyższą koncentrację równocześnie na obu cmentarzach. Jonów żelaza jest zdecydowanie więcej jesienią niż wiosną w Wojniczu i nieco mniej w Cerekwi. Fosfor jest w dużym stopniu chemicznie związany z minerałami ilastymi w Wojniczu, których jest tu więcej w podłożu. Jesienią przy mniejszej ilości wody uwolni się tutaj relatywnie większa ilość jonów żelaza (ryc. 84). Minerale ilaste w tych warunkach zatrzymają część P i wodę, stąd jesienią w wodzie gruntowej jest tu mało jonów glinu – 0,02 mg/l Al^{3+} . Przy większej ilości wody w czerwcu uwalnia się stosunkowo więcej jonów glinu – 0,32 mg/l Al^{3+} . Jonów żelaza jest więc mniej w wodzie gruntowej na wiosnę niż jesienią. Natomiast przy braku minerałów ilastych w Cerekwi, P uwalniany jest razem z Fe, proporcjonalnie do ilości wody (ryc. 89). Ponadto poziom zwierciadła wody w Wojniczu, w przeciwieństwie do Cerekwi, podlegał w ciągu roku wahaniom od 3 m do 4 m (tab. 10). Wilgotność podłoża na wysokości pochówków w Wojniczu, zmienia się w ciągu roku w związku z przemieszczaniem wód kapilarnych. Wszystkie te czynniki sprzyjają większemu zanieczyszczeniu wód gruntowych w Wojniczu (ryc. 84).

Wahania poziomu wody związane z warunkami pogodowymi są zatem istotnym czynnikiem decydującym o zróżnicowaniu jakości wody w badanych studniach. Potwierdzają to również wyniki analiz, uzyskane dla wody ze studni, położonej w pobliżu masowego grobu jeńców radzieckich w Oświęcimiu-Brzezince (ryc. 90). Grób ten położony jest na terasie pomiędzy Wisłą i Sołą. Woda gruntowa zalega tu stosunkowo płytko na głębokości około 3 m (tab. 10). Teren obozu zagłady w Brzezince jest dobrze odwodniony licznymi rowami, które kopali jeszcze jego więźniowie. Ponadto w okresie funkcjonowania obozu rozsypywano po okolicy prochy ludzkie.

Większość jonów zawartych w tutejszej wodzie gruntowej, niezależnie od okresu pobrania próbek, wykazuje duże przekroczenia dopuszczalnej zawartości. Przekroczenia te są podobne zarówno w próbkach pobranych wiosną, jak i jesienią. Większość jednak jonów posiada nieznacznie wyższe zawartości w próbkach, pobranych jesienią. Są to jony: azotanowe – 180,14 mg/l NO_3^- , amonowe – 6,32 mg/l NH_4^+ , siarczanowe – 624,25 mg/l SO_4^{2-} , fluorkowe – 2,28 mg/l F^- , chlorkowe – 602,33 mg/l Cl^- , manganu – 4,26 mg/l Mn^{2+} , miedzi – 0,36 mg/l Cu^{2+} i glinu – 0,69 mg/l Al^{3+} . Brak przekroczeń dotyczy jedynie jonów cynku i to zarówno w próbkach pobranych jesienią, jak i wiosną. Nie wyklucza to jednak obecności, w okresie pochówku, w tych osadach przedmiotów zawierających Zn. Związek ten mógł już wcześniej zostać wyprowadzony z tego środowiska. Ponadto przedmioty z zawartością Zn pod wpływem niskiej temperatury ulegają szybkiemu rozpadowi (Mączyńska i inni 2006). Natomiast wyjątkowo wysokie są w obu okresach przekroczenia jonów fosforanowych (ryc. 90). Maksymalna koncentracja tych jonów wynosiła 100,23 mg/l. W badanym miejscu nie stwierdzono w okresie badań dużych wahań zwierciadła wody (tab. 10).



Ryc. 90. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w pobliżu masowych eksterminacji z okresu II wojny w Oświęcimiu

Woda pod pochówkami zawiera wysokie stężenia szeregu jonów, np. fosforanowych, siarczanowych, chlorkowych, wapnia, sodu, magnezu, potasu itp. Skład ten nie jest jednak zgodny z kompozycją ciała ludzkiego (Trick i inni 1999). Trick i współpracownicy dostrzegają na badanym cmentarzu nie tylko wpływ pochówku, ale i materiałów złożonych do grobu oraz innych zanieczyszczeń, np. ścieków miejskich z Nottingham, na jakość wód podziemnych. Wpływ tych zanieczyszczeń na środowisko porównywany jest przez licznych badaczy do zagrożenia związanego ze składowiskami odpadów.

Podsumowanie

Problem wpływu masowych grobów na środowisko nie był jeszcze badany na świecie. Jednak wielu badaczy prowadzących badania nad wpływem cmentarzy na środowisko zwraca uwagę na niekorzystne konsekwencje grzebania dużej liczby osób na małej powierzchni. Uzyskane w tej pracy wyniki dotyczą kilku wybranych aspektów tego problemu. Pokazują one duże możliwości potencjalnego zagrożenia dla środowiska otoczenia masowych grobów. Zwracają także uwagę na procesy występujące w badanych podłożach. Szereg przedstawionych wniosków badawczych wymaga jednak dalszej weryfikacji. Używane w pracy słowo „prawdopodobnie”, gdy mowa o przyczynach, powinno zachęcić badaczy do dalszych badań. Celowe jest rozszerzenie badań dotyczących zawartości, np. aminokwasów, związków organicznych, bakterii itp. w wodach podziemnych. Interesujące będzie zapewne poznanie oddziaływania masowych grobów na środowisko, w zależności od odległości od tych pochówków, w różnych warunków środowiskowych.

Badane groby zlokalizowano w podłożu o zróżnicowanej przepuszczalności. Były to zarówno utwory piaszczyste, jak i gliny pylaste, lekkie, średnie, ciężkie podścielone fliszem karpackim jednostek: dukielskiej, skolskiej, śląskiej i magurskiej, wapieniami i ilami mioceńskimi. Groby te zlokalizowano na: wąskich lub rozległych terasach i wierzchowinach o różnej wysokości, lokalnych spłaszczeniach o różnym nachyleniu, czołach i zapożach progów, wyrównanych i nie wyrównanych stokach o nachyleniu do 5 stopni, a nawet do 10 stopni, stokach o profilu schodkowym oraz w różnych częściach stoków. Ich podłoże było suche, zawilgocone, lokalnie i okresowo podmokłe, a nawet w kilku miejscach zawodnione. Teren masowych grobów był najczęściej porośnięty trawą, rosły na nich także różne gatunki drzew, np. sosna, brzoza, klon, dąb, świerk, robinia, jesion, buk i cyprysy. Nieliczne cmentarze, szczególnie z II wojny światowej, pokryte były w dużym stopniu betonowymi płytami. Badane groby najczęściej umiejscawiano samodzielnie w otoczeniu gruntów ornych, łąk, lasów i terenów zabudowanych, wielkomiejskich oraz na prywatnych posesjach. Kilkanaście masowych grobów z obu wojen leży w sąsiedztwie lub na terenie cmentarzy. W prowadzonych badaniach uwzględniono także kilka cmentarzy, np. w Niedzieliskach, „Stary” w Tarnowie i Cerekwi.

W pracy tej stwierdzono istotny wpływ masowych grobów na jakość podłoża w ich otoczeniu. Wykazano, że duża liczba pochowanych ciał na małej powierzchni decyduje przede wszystkim o dużej koncentracji pierwiastków w podłożu. W takim przypadku nawet mniej istotne są warunki środowiska, z których większe znaczenie posiadają jedynie stosunki wodne. Prawdopodobnie tę, dotyczącą dużych pochówków, potwierdza również niski współczynnik korelacji pomiędzy grupą pierwiastków środowiskowych: S, Fe, Mg, Si i Mn a pierwiastkami, które są produktami dekompozycji. Niemniej jednak w grobach tych, położonych głównie w dolnych częściach stoków, obniżeniach oraz na lokalnych spłaszczeniach,

stwierdzono relatywnie wysokie koncentracje pierwiastków środowiskowych: S, Fe, Mg, Si i Mn.

Z badanych pochówków migrują do środowiska na różne odległości, w zależności od lokalnych warunków, a niezależnie od granic jednostek fizyczno-geograficznych, takie pierwiastki, jak: Ca, P, N, K, Cl, Cu, F, Na oraz Cr i Cd. Te dwa ostatnie pierwiastki są szczególnie charakterystyczne w przypadku dużych grobów z II wojny, np. w Dukli, Zbylitowskiej Górze, Niepołomicach i na Osikówce. Ich migracji sprzyjają naturalne i antropogeniczne czynniki, np. spulchnione podłoże po pochówku, okopy, obecność fragmentów uzbrojenia w podłożu, zmiana profilu stoku, usychanie korzeni drzew, działalność zwierząt itp. Ponadto w podłożach tych dużych grobów wyróżniają się: Pb, Zn, Ni, Mg oraz F i J w sąsiedztwie krematoriów w Oświęcimiu i Pustkowie. W obu tych miejscach zagłady, po spaleniu ciał na stosie pozostało w podłożu względnie dużo Na, Cl i Ca. Ich zdecydowanie podwyższone koncentracje wynikają również z licznej obecności w podłożu małych fragmentów niedopalonych kości. Kremacja ciał w Oświęcimiu wykazuje, że wyższa temperatura spalania, która miała miejsce w krematoriach, przyczyniła się do pozostawienia w podłożu mniejszej ilości pierwiastków dekompozycji niż spalanie na stosie. Znaczne ilości popiołów z krematoriów rozsypywano na okoliczne pola. Podłoże wzbogacaono więc także w P i Ca. Ponadto pierwiastki te są najbardziej charakterystyczne dla badanych grobów. Pomędzy wyróżnionymi grupami pierwiastków, które je zawierały, ustalono największe statystyczne zależności. Podobna relacja dotyczy grup zawierających N i P oraz P i J. Ich obecność sugeruje powstawanie trudno rozpuszczalnych związków.

Natomiast ciężkie pierwiastki, np. Cr, Ni, Cd, Al oraz Pb występują przeważnie w dużych grobach z II wojny, a nie tych z I wojny światowej. Podobna prawidłowość dotyczy Cl, który ponadto bardziej zdecydowanie dominuje w Oświęcimiu. Pierwiastek ten został prawdopodobnie wyprowadzony z większości badanych pochówków poza ich środowisko. Dlatego tylko w masowych grobach o najwyższych zawartościach pierwiastków stwierdzono dużą współzależność występowania wyróżnionych grup „Na, Cl, Ca” oraz „Cr, Cd”.

Wysokie koncentracje pierwiastków w podłożu dotyczą także: grobów z I i II wojny położonych w sąsiedztwie lub na cmentarzach, np. w Nowym Żmigrodzie, Krośnie, Nowym Sączu, terenów położonych poniżej dużych grobów, np. w Dukli i Hunkowcach, badanych współczesnych cmentarzy, np. w Cerekwi i „Starego” w Tarnowie oraz dużych nieczynnych od wojny kirkutów, np. w Lesku i Dąbrowie Tarnowskiej. Koncentracjom tym sprzyja położenie grobów: na nisko położonych spłaszczeniach lub w obniżeniach, na stokach o znacznym nachyleniu, przepuszczalnym podłożu, w którym występują częste wahania poziomu wody gruntowej i duża zmienność wzniosu kapilarnego oraz obecność w środowisku substancji sprzyjających sorpcji i strącaniu. Nachylenie terenu sprzyja wypłukiwaniu produktów dekompozycji z grobów i przemieszczaniu ich na większe odległości od pochówków, np. w Hunkowcach, Komarniku i Rymanowie. Częste wahania poziomu wody gruntowej, a nawet podtopienia grobów, sprzyjają szybkiej dekompozycji i tworzeniu się wielu wtórnych związków, w tym organiczno-mineralnych. Brak stabilności warunków nie pozwala jednak na pełną krystalizację minerałów. Problem ten dotyczy zarówno masowych grobów, np. w Zbylitowskiej Górze,

Borze, Niepołomicach, na Osikówce, jak i cmentarzy, np. w Cerekwi, „Starego” w Tarnowie itp.

Natomiast w grobach z I wojny światowej, np. w Lubczy, Łysej Górze i Krempnej, potwierdzono również relatywnie wyższe koncentracje wskaźnikowych pierwiastków, w tym ciężkich, ale tylko w sprzyjających warunkach, o których pisało wcześniej. W okresie zakładania tych grobów wyposażenie frontowe żołnierzy w przedmioty zawierające badane pierwiastki było ubogie. Ponadto poległym żołnierzom, z powodu dwukrotnego pochówku, zabierano osobiste przedmioty i oddawano rodzinom. Wielu z nich poległo na polu walki od bagnetu lub zmarło na skutek odniesionych, często powierzchownych ran. Ich ciała nie zawierały więc metalowych, w tym żelaznych fragmentów broni.

Kilka pierwiastków, np. Cu, S, Al, Mn i Mg, wyróżnia się większą zawartością w nielicznych grobach. Ponadto tylko dla małej liczby grobów wykazano relatywnie duże zawartości, kilkanaście razy wyższe od wartości średnich obliczonych dla wszystkich badanych grobów, np. dla Cd i Cr oraz F i J, a w innych przypadkach małe różnice pomiędzy koncentracją, np.: Pb, Al, Ni, Mg, K i Na w środowisku pochówków a ich tłem geochemicznym. Z kolei w tych pochówkach, w których były relatywnie mniejsze ilości pierwiastków ciężkich, zanotowano względnie większe koncentracje F i J. Obecne w środowisku pochówku ciężkie pierwiastki łączą się z produktami dekompozycji i prawdopodobnie w większym stopniu ułatwiają migrację aktywnych utleniaczy. Ponadto wyższym koncentracjom J i F sprzyja środowisko piaszczyste i okresowo podmokłe, a nie spalanie. Nieliczne pierwiastki, np. Mg – dla 46 grobów, Al – dla 66 grobów oraz Cd – dla 52 grobów, wykazywały wyższe zawartości w miejscach porównawczych, w większej liczbie grobów na 86 zbadanych. Część z tych pierwiastków związana jest z naturalnym środowiskiem. Z kolei inne zostały w różny sposób do niego wprowadzone, co w wielu przypadkach jest trudne do sprecyzowania, np. dotyczy to obecności Cu w leśnej szkółce w Baczkowie. Wyróżniona w pracy grupa pierwiastków zawierająca Cu wykazuje małą współzależność w stosunku do grupy z P oraz średnią względem grupy z S. Średni współczynnik korelacji obliczono także dla grup zawierających Na i S oraz Pb i S.

Natomiast wyższe koncentracje ciężkich pierwiastków w podłożu na terenie dużych miast, np. w Krakowie, Rzeszowie itp. są związane z zanieczyszczeniami wielkomijskimi, a szczególnie komunikacyjnymi. Ich pochodzenie jest trudne do oddzielenia. Niemniej jednak dotyczy to zaledwie kilku ppm ich koncentracji. Ponadto wyższe zawartości tych pierwiastków występują w masowych grobach ludności cywilnej, rozstrzelanej w okresie II wojny, np. w Zbylitowskiej Górze, Tarnowie i położonych na cmentarzach, np. w Rymanowie, Nowym Żmigrodzie, Gawłowie oraz na nielicznych samodzielnych cmentarzach z I wojny, np. w Krempnej.

W dużych grobach stwierdzono również relatywnie wysokie zawartości pierwiastków, np. Mg, Mn, Fe, Si, S i I, które są naturalne w ich środowiskach i wiążą produkty dekompozycji. Ich obecność nie jest jedynym warunkiem długiego trwania produktów dekompozycji w środowisku tych grobów. Z produktów rozkładu powstają również kompleksy organiczno-mineralne oraz wtórne formy bezpostaciowe lub związki w postaci słabo wykształconych minerałów. Mała stabilność procesów środowiskach badanych grobów pozwala na uwalnianie się

przyswajalnych dla roślin jonów, które powodują bujny ich rozwój, np. na grobie w Zbylitowskiej Górze.

Duża ilość produktów rozkładu występuje pod dużymi masowymi grobami zlokalizowanymi na wierzchołkach wzniesień lub w miejscach z głęboko za-
legającą wodą gruntową. Warunki te zdecydowanie jednak ograniczają wpływ pochówków z obu wojen na podłoże ponad nimi oraz poniżej nich na stoku, np. dotyczy to sąsiedztwa masowych grobów w Świdniku, Warzycach, Sękowej itp.

Wpływ środowiska na zawartość produktów dekompozycji w otoczeniu pochówków bardziej uwidacznia się w przypadku grobów z mniejszą liczbą pochowanych osób. Natomiast duża liczba pochowanych, jako czynnik dominujący, pomniejsza znaczenie tych warunków.

Badane groby zlokalizowane w niekorzystnych warunkach, w sąsiedztwie terenów zamieszkałych, zagrażają bezpośrednio środowisku człowieka. Ponadto, takie położenie tych grobów stwarza trudności z wyznaczeniem miejsc porównawczych. Ich pominięcie wymaga jednak zastosowania dużej populacji w celu oceny problemu w wymiarze statystycznym. Wówczas źle wybrane w kilku przypadkach miejsca porównawcze tylko w niewielkim stopniu wpłyną na poszukiwane prawidłowości.

Opracowano także metodykę oceny wpływu masowych grobów na środowisko, która może być wykorzystana przez innych naukowców do badania zależności pomiędzy zmiennymi jakościowymi i ilościowymi. Wyselekcjonowano za pomocą metod statystycznych najbardziej charakterystyczne właściwości środowisk geograficznych badanych grobów, do których zaliczono: **utwory podłoża, użytkowanie otoczenia grobu, powierzchnię grobu, nachylenie terenu położonego wyżej oraz wilgotność miejsca poboru próby**. Te właściwości środowiska są głównie odpowiedzialne za wpływ masowych grobów na zawartości pierwiastków w ich podłożu. To one zasadniczo decydują o dekompozycji i są w związku z tym w znacznym stopniu odpowiedzialne za występowanie charakterystycznych pierwiastków w masowych grobach: **Cu, Zn, Cr, P i S**. Zwrócono uwagę na korzystniejsze stosowanie w badaniach podłoża populacji grobów o dużej zbiorowości, niż uwzględnienia małej próby dotyczącej porównań z tłem geochemicznym. Udowodniono statystyczną zależność, z prawdopodobieństwem 79%, że istnieje wpływ wyróżnionych właściwości środowiska 240 badanych grobów na zawartości charakterystycznych pierwiastków dla dekompozycji w masowych grobach.

W większości badanych przypadków zawartość jodków fosfonowych jest większa na cmentarzach z II wojny. W grupie badanych siarczków najmniejsze zawartości dotyczą PbS. Relatywnie większe zawartości innego związku siarki CuS w grobach z II wojny są związane z większą ilością przedmiotów, w które wyposażeni byli żołnierze i rozstrzelani cywile oraz z zastosowaniem wielu metali w większej ilości do produkcji broni. Zawartościom tym sprzyja obecność S związana z pochówkami. Nawet relatywnie bardzo wysoka zawartość Cu w Baczkowie, przy małej koncentracji S, nie związanej z pochówkiem, nie sprzyja obecności CuS.

Duże koncentracje Na_2S , Cu_3P_2 , K_3P i Na_3P występują w grobach z dużą liczbą pochowanych na małej powierzchni, niezależnie od okresu i formy pochówku. Obecność w podłożu Na_3P , K_3P , a szczególnie Ca_3P_2 i $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, które stano-

wią $\frac{3}{4}$ całkowitej zawartości, np. w Oświęcimiu, dziewięciu badanych związków jest związana z paleniem zabitych. W tym środowisku siarczki stanowią zaledwie 6%. Dużej zawartości Ca_3P_2 i $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ w podłożu badanych masowych grobów nie sprzyja piaszczyste ich środowisko. Większe koncentracje Cu_3P_2 występują w podłożach dużych pochówków żołnierzy i ludności cywilnej z II wojny światowej, niezależnie od warunków środowiska. Natomiast obecność $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ w badanych miejscach bardziej zależy od warunków środowiskowych niż występowanie w tych podłożach Cu_3P_2 . Fosforki i związki Ca z P posiadają podobne duże udziały w największych masowych grobach w przeciwieństwie do mniejszego udziału siarczków, który wynosi około 20%. Duży udział w podłożu grobów z I wojny mają: Cu_3P_2 do 52%, a z pozostałymi fosforkami nawet do 74% w przeciwieństwie do siarczków i ortofosforanów, które stanowią tylko 3%–15%. Zróżnicowanie zawartości badanych dziewięciu związków chemicznych zależy od: rodzaju związków, sposobu pochówku, okresu utworzenia grobów, wzajemnego położenia masowych grobów i cementarzy oraz w mniejszym stopniu od wilgotności podłoża.

Odrowadzaniu produktów dekompozycji poza najbliższe otoczenie masowych grobów sprzyja środowisko piaszczyste i żwirowe, z małą ilością węglanu wapnia, minerałów ilastych i związków żelaza. Odległość na jaką są przenoszone te produkty zależy głównie od nachylenia stoku, ilości i intensywności opadów oraz od wahań zwierciadła wody gruntowej. Obecność węglanów wapnia, minerałów ilastych i związków żelaza sprzyja strącaniu i sorpcji produktów dekompozycji. Powstawanie nowych form jest również zależne od pH osadów i wody. W klimacie umiarkowanym występuje jednak duża zmienność stosunków wodnych i pH, co prowadzi w konsekwencji do powstawania bezpostaciowych lub rzadziej spotykanych słabokrystalicznych wtórnych form z produktów dekompozycji i składników osadów. Te nowe formy, jak dowodzą badania, powstają na bazie jonu FePO_4^- .

Sorpcja P dokonuje się przez wtórne tlenki i uwodnione wodorotlenki żelaza. Powstałe w wyniku tego procesu bezpostaciowe i uwodnione substancje zawierające jon PO_4^- posiadają formę izotropową. Dobre uporządkowanie strukturalne związków, składających się również z produktów dekompozycji, występuje w podłożu ponad długo stagnującym zwierciadłem wody gruntowej. Związki te nie są trwałe i podczas zalania podłoża wodą uwalnia się z nich w różnej postaci P, w związku z obniżeniem potencjału redox i redukcji Fe^{3+} do Fe^{2+} . Duże możliwości sorpcji zależą zatem od obecności i ilości związków żelaza i minerałów ilastych w podłożu piaszczystym i żwirowym. Natomiast w osadach z dużą ilością minerałów ilastych, w związku z ograniczonym krążeniem wody bezpośrednio w otoczeniu pochówków, występują śladowe ilości P, który pozostaje związany w miejscu pochówku. W tych warunkach dekompozycja ma charakter redukcyjny. Migracja produktów dekompozycji jest możliwa jedynie w związku z: szczelinowatością utworów, niejednorodnością osadu, działalnością zwierząt oraz występowaniem zbitwiałego systemu korzeniowego.

Badania mineralogiczno-petrograficzne wskazują, że warunki podłoża, w tym wykształcenie osadów oraz stosunki wodne, zależne od lokalnych form terenu, decydują o procesach dekompozycji i wyprowadzaniu produktów rozkładu poza masowe groby. Istotne znaczenie w zaawansowaniu procesów dekompozycji ma także czas, który upłynął od pochówków. Dotyczy to zarówno występowania tka-

nek miękkich, jak i stanu zachowania kości. Poza podwyższoną koncentracją pierwiastków związanych z dekompozycją, w podłożu grobów z okresu II wojny występują wyższe zawartości ciężkich pierwiastków, np. Zn, Ti, W, Cr, Au itp., które pochodzą z korozji broni. Natomiast skład jakościowy pierwiastków podłoża mniej zależy od okresu pochówku, a przede wszystkim od wykształcenia osadów.

Najwyższe przekroczenia dopuszczalnej zawartości oraz znaczne różnice pomiędzy jakością wody podziemnej pod grobami a miejscami porównawczymi dotyczą jonów fosforanowych, żelaza oraz jonów manganu na drugim stopniu utlenienia. W tych samych próbkach dominują również jony miedzi oraz w mniejszym stopniu jony cynku i glinu. Wszystkie te jony są związane z największymi masowymi grobami z II wojny, np. zlokalizowanymi w Oświęcimiu, Zbylitowskiej Górze, Nowym Sączu itp. oraz leżącymi na terasach rzek: Wisły, Dunajca i Raby. W miejscach tych poziom zwierciadła wody leży płytko lub podnosi się okresowo. Natomiast w wodach gruntowych zalegających głęboko, w znacznym oddaleniu od koryt rzecznych, np. w Krakowie przy ulicy Rakowickiej i Prandoty, nie potwierdzono wysokich zawartości tych jonów. Ponadto jony fosforanowe wykazują największą zmienność w ciągu roku, szczególnie na cmentarzach położonych na terasach rzek oraz na stokach w Karpatach. Duża zmienność zawartości jonów w wodach gruntowych w sąsiedztwie cmentarzy wynika przede wszystkim z różnej przepuszczalności podłoża oraz zróżnicowania ilości i intensywności opadów lub wahań temperatury powietrza w pobliżu zera. Ponadto zależy ona również od przestrzennego zróżnicowania osadów w podłożu grobów, w tym od zmienności przestrzennej zawartości związków żelaza i minerałów ilastych, która jest charakterystyczna dla większych cmentarzy. W większości badanych przypadków koncentracje kilku jonów, np. amonowych i żelaza, są większe jesienią, w przeciwieństwie do jonów azotanowych, których jest więcej na wiosnę. Jednym z wyjątków jest wysoka zawartość większości badanych jonów, przede wszystkim jesienią, ale również i na wiosnę, w wodach gruntowych w Oświęcimiu.

Największe różnice pomiędzy koncentracją jonów fosforanowych w wodach podziemnych w grobach i w ich pobliżu, względem miejsc porównawczych, dotyczą wody spod pochówków w podłożu piaszczystym, leżącym na łąkach mioceńskich. W tych samych miejscach potwierdzono również duże ilości jonów żelaza, manganu i miedzi. Wysokie koncentracje tych jonów są związane z występowaniem w podłożu trudno rozpuszczalnych związków chemicznych zawierających te pierwiastki. Ich występowaniu w podłożu sprzyja: sorpcja minerałów ilastych, strącanie jonów fosforanowych przez jony wapnia i magnezu oraz okresowe wahania zwierciadła wody gruntowej, które zmieniają warunki tlenowe. Kontakt substancji organicznej z żelazem (III) występującym w tych nierozpuszczalnych związkach prowadzi do jego redukcji do 2-wartościowego jonu żelaza. Zapewne część tych świeżo wytraconych różnych jonów pobierają rośliny oraz kumulują bakterie, których obecność potwierdzono w innych badaniach. Bliżej nieokreślona, ale zapewne niewielka ilość P potwierdzona w tych badaniach uwalnia się w postaci gazów.

Znacznie mniejsze, ale relatywnie wysokie są zawartości jonów fosforanowych oraz różnice pomiędzy koncentracją tych jonów w badanych wodach poniżej grobów z I wojny położonych na osuwiskach a ich tłem geochemicznym. Zanieczyszczeniu tej wody sprzyja: położenie grobu, nachylenie terenu, zaburzone

struktury geologiczne oraz płytki poziom zwierciadła wody gruntowej. Natomiast badane różnice zawartości tych jonów były tylko około dwukrotnie wyższe pod pochówkami w wodach podziemnych na stokach w Karpatach i częściowo na terasach rzecznych. Zanieczyszczenia te były związane z: nieciągłością gliniastych pokryw zwietrzelinowych, powstałych również w związku z prowadzonymi wykopami, kanalikami po butwiejących korzeniach oraz korytarzami drążonymi przez zwierzęta. Tym większym koncentracjom jonów fosforanowych towarzyszą w tych miejscach relatywnie małe ilości jonów żelaza. Odwrócona relacja ma miejsce w utworach piaszczystych lub piaszczysto-żwirowych z domieszką minerałów ilastych, w których stwierdzono, szczególnie jesienią, względnie wyższe zawartości jonów żelaza, np. w Rudach Rysiach, Grobli, Niedzieliskach itp. Są to najczęściej dna kotlin na wysoczyznach oraz terasy dużych rzek. Ponadto podwyższone koncentracje obu tych jonów występują również w Karpatach w podłożu płaskodennych den dolin lub w gliniastych zwietrzelinach osuwisk, o małej powierzchni alimentacyjnej, gdzie obserwuje się duże wahania zwierciadła wody. Natomiast w głębiej zalegających wodach gruntowych, w środowisku piaszczystych wydm, np. w Mikluszowicach, Gręboszowie lub w strukturach fliszu karpackiego, np. Rymanowie, na głębokości około 5 m stwierdzono niewielkie ilości jonów żelaza.

Okresowe przekroczenia, szczególnie na wiosnę, dopuszczalnych koncentracji jonów fosforanowych i żelaza oraz w mniejszym stopniu jonów: siarczanowych, fluorkowych, manganu, cynku i miedzi dotyczą cmentarzy leżących z dala od koryt rzecznych, na rozległych terasach plejstocenijskich, gdzie wody gruntowe zalegają na głębokości ponad 7 m. Niskie ich koncentracje są związane również z ograniczoną infiltracją wody oraz z małymi wahaniami zwierciadła wody, np. na cmentarzach: Rakowickim i przy ulicy Prandoty w Krakowie.

W otoczeniu cmentarzy zlokalizowanych na wierzchołkach wzniesień oraz w miejscach porównawczych, gdzie wody podziemne zalegają głęboko w strukturach fliszowych, jakość wody jest niezadowolająca tylko ze względu na zawartość jonów żelaza i manganu. Nieznacznie wyższe koncentracje kilku badanych jonów: amonowych, siarczanowych, fosforanowych, cynku i miedzi wystąpiły w oddalonym w linii spływu miejscu porównawczym niż w wodzie ze studni leżącej poniżej grobu, w odległości 60 m. Jony stwierdzone w badanych wodach nie są zgodne z kompozycją ciała ludzkiego. Część z nich pochodzi również z materiałów złożonych do grobu oraz z naturalnego i wzbogaconego antropogenicznie podłoża. W kilku miejscach zawartość jonów żelaza oraz manganu jest wyższa w miejscach porównawczych niż w sąsiedztwie cmentarza. Jest to dowodem ich pochodzenia z bardzo zróżnicowanego przestrzennie podłoża, którym są najczęściej terasy rzeczne i osuwiska.

Spośród jonów metali ciężkich największe przekroczenia dopuszczalnej zawartości dotyczą jonów miedzi. Zdecydowanie wyższe zawartości tych jonów występują także w próbkach wody spod masowych grobów lub ich sąsiedztwa w stosunku do ich stężeń w miejscach porównawczych. Przekroczenia te nie dotyczą jednak wszystkich badanych miejsc. Obecność Cu w badanych środowiskach związana jest z zawartością Cu w broni, wyposażeniu żołnierzy itp. Jonów tych jest zdecydowanie mniej w wodach pod cmentarzami ludności cywilnej. Natomiast występowanie innych jonów ciężkich pierwiastków jest związane z korozją żeliwnych i metalowych krzyży i tabliczek, zanieczyszczeniem środowiska w dużych

miastach, spulchnieniem podłoża przez kopanie okopów itp. Jony fluorkowe były obecne we wszystkich badanych próbkach. Ich koncentracja znacznie przekroczyła dopuszczalne zawartości dla wody pitnej tylko w kilku miejscach pod pochówkami, np. w Niepołomicach, Dukli, Cerekwi itp., sporadycznie poniżej masowego grobu na osuwisku w Bieczu oraz na terasie Ropy w Gliniku. Wyniki te nie wskazują na zależność badanych różnic od daty pochówku, morfologii terenu oraz rodzaju podłoża. Relatywnie wyższe koncentracje jonów azotanowych i siarczanowych stwierdzono jedynie w wodach podziemnych: pod lub poniżej dużych pochówków, najczęściej z II wojny, zlokalizowanych w Oświęcimiu, Nowym Sączu, Zbylitowskiej Górze itp., poniżej masowego grobu z I wojny w Bieczu oraz na cmentarzu w Niedzieliskach. Przypadki te potwierdzają prawidłowość, że związki azotowe „giną” w czasie i przestrzeni. Denitryfikacja i redukcja jonów azotanowych zwiększa zawartość jonów amonowych, które w większej liczbie badanych pochówków wykazują przekroczenia dopuszczalnej koncentracji, np. w Gliniku, Łużnej i Rymanowie. Relatywnie duże zawartości jonów amonowych mają miejsce na terasach. Jeszcze wyższych stężeń tych jonów należy oczekiwać w wodach porowych strefy aeracji. Ich redukcja jest związana przede wszystkim z okresowo panującymi warunkami beztlenowymi, obecnością jonów metali oraz bakterii, np. *Clostridium* i *Streptococcus*.

Natomiast jony chlorkowe, poza nielicznymi wyjątkami, wykazują małe koncentracje we wszystkich badanych grobach z I wojny. Istotny wzrost koncentracji tych i w mniejszym stopniu innych jonów występuje w pobliżu bardzo dużych masowych grobów położonych np. w Oświęcimiu i Zbylitowskiej Górze albo w sąsiedztwie młodych pochówków. Chlor, ale również i siarka, należą do bardzo aktywnych pierwiastków, które w sprzyjających warunkach szybko opuszczają cmentarz. Ich stężenia gwałtownie maleją w miarę oddalania się od cmentarza. Środowisko masowych grobów oraz cmentarzy w pierwszej kolejności opuszczają jony chlorkowe, następnie siarczanowe, a na końcu azotanowe. Jony te w niewielkim stopniu migrują wspólnie z grobów z I wojny oraz z czynnych małych cmentarzy.

Zanieczyszczenie wód gruntowych w otoczeniu masowych grobów związane jest przede wszystkim z różnymi formami jonowymi fosforu i azotu oraz w mniejszym stopniu z jonami: potasu, sodu, magnezu, wapnia, chlorkowymi i siarczanowymi. Ponadto inni zagraniczni badacze wskazują jeszcze na jony: ołowiu, cynku, glinu, strontu itp.

Uzyskane w tej pracy wyniki trudno porównać z innymi, ponieważ dotyczą one masowych grobów, a te nie były w tym zakresie przedmiotem światowych badań. Jedynie w przypadku badań dotyczących chemizmu wód podziemnych porównano wyniki własnych pomiarów z tymi uzyskanymi w badaniach prowadzonych na świecie, które dotyczyły cmentarzy.

Problem masowych grobów związany jest nie tylko ze światowymi wojnami, w czasie których zginęły miliony ludzi, ale także z współcześnie występującymi w świecie lokalnymi wojnami lub ludobójstwem. Te bardzo liczne ofiary w każdym dniu wymagają pochówku. W różnych wojnach, konfliktach i rozruchach zginęło od roku 1900 około 170 mln ludzi. Tylko po II wojnie światowej zamordowano około 80 mln ludzi. Ponadto znane są z historii dziejów ludzkości tragedie, które mają miejsce również współcześnie. Ich konsekwencją są liczne pochówki wywołane: chorobami (grypa hiszpanka, 20 mln ludzi), trzęsieniami

ziemi (w XX wieku ponad 1 mln ludzi), cyklonami (Bangladesz, 500 000 osób w 1970 r.), tsunami (Ocean Indyjski, 300 000 osób w 2004 r.) itp. W wielu miejscach na świecie nie jest rozwiązany pochówek zwierząt. A coraz częściej wybija się zwierzęta zainfekowane np. ptasią grypą lub zabija krowy, u których stwierdzono chorobę Creutzfeldta-Jacoba (BSE). W miejscach, w których grzebano odpadki po ubojach dużej liczby zwierząt, zabitych nawet w średniowieczu, stwierdza się w podłożu duże koncentracje pierwiastków antropogenicznego pochodzenia.

O potrzebie rozwiązania problemu pochówku dużej liczby ofiar piszą badacze zajmujący się wpływem cmentarzy na środowisko. Między innymi O. Morgan konstatował w roku 2004: „Nie wiadomo dotychczas jaki jest rozkład i rozproszenie produktów dekompozycji ciał, gdy jednocześnie grzebanych jest dużo ludzi jednocześnie”.

Niniejsza publikacja wychodzi naprzeciw tym potrzebom. Dotyczy ona zarówno naukowego poznania tego problemu, jak i wskazuje praktyczne zalecenia. Rozprawa ta nie rozwiązuje wszystkich związanych z tym problemem zagadnień. Wiele wniosków powinno być zweryfikowanych w innych warunkach terenowych. Wiele kwestii pominięto ze względu na rozległość i interdyscyplinarność tego problemu.

Autor ma nadzieję, że praca ta wywoła refleksję u decydentów i uczonych, którzy dotychczas nie dostrzegali tego problemu.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, uzyskanych wyników analiz chemicznych oraz ich opracowania, w nawiązaniu do propozycji z literatury zagranicznej, proponuję przy lokalizacji pochówków uwzględnić stosowne do lokalnych warunków i możliwości propozycje:

- Wziąć pod uwagę przy wyborze terenu pod masowy pochówek (cmentarz) przede wszystkim: spadek terenu, wilgotność podłoża, zaleganie i wahania zwierciadła wody podziemnej oraz miąższość i jakość pokrywy zwietrzelinowej.
- Nie lokalizować cmentarzy w płytkich pokrywach zwietrzelinowych, na progach morfologicznych, w zagłębieniach bezodpływowych, na mokradłach, w terenach zalewanych przez wody powierzchniowe, blisko źródeł, w obszarach odwadnianych do jezior albo dróg wodnych oraz w terenie o zmieniającym się poziomie wody gruntowej.
- Ograniczyć infiltrację wody opadowej w głąb grobu, pokrywając powierzchnię terenu pomiędzy pochówkami nieprzepuszczalnymi płytami z jednoczesnym odprowadzeniem kanałowym spływającej po płytach wody.
- Odprowadzić wody opadowe poza cmentarz poprzez otwarte lub podziemne kanały, niezależnie od miejscowego systemu drenów melioracyjnych.
- Oczyszczać odcieki z drenów położonych na obrzeżach cmentarzy.
- Zapewnić przy lokalizacji pochówków bezpieczną odległość od miejsc poboru wody (200–250 m), drenów sąsiednich pól (10 m) oraz cieków powierzchniowych (30 m).

- Przestrzegać zasady, że dno wykopu pod grób nie może być niżej niż 1 m ponad najwyższym położeniem zwierciadła wody podziemnej. W przypadku podłoża piaszczystego odległość ta powinna być nawet większa.
- Zakładać cmentarze na osuszonych, zailonych piaskach, w których rozkład materii miękkiej odbywa się w ciągu około 10 lat. Ponadto, obecne w piaskach minerały ilaste i związki żelaza – poprzez adsorpcję i absorpcję produktów rozkładu – ograniczą ich wyprowadzanie poza cmentarz.
- Unikać lokalizacji pochówków w podłożu o dobrej przepuszczalności, np. w czystych piaskach, które nie zatrzymują przemieszczających się zanieczyszczeń z powodu braku sorbentów.
- Wybierać pod nowe lokalizacje pochówków także obszary przekształcone antropogenicznie, a przede wszystkim tereny wcześniej rekultywowane, np. wysypiska śmieci, hałdy itp. Podłoża tych miejsc są bogate w wiele związków chemicznych, które zatrzymują część produktów dekompozycji.
- Składować i neutralizować materiał podłoża z wykopów na starych grobach prowadzonych pod kolejne pochówki.
- Wybrać pod pochówki podłoża o małej przepuszczalności lub zastosować wypełniacze wokół pochówków (trumien) o małej granulacji, np. smektyt, zeolit, które zatrzymają w większym stopniu zanieczyszczenia chemiczne, wirusy, a szczególnie bakterie.
- Wprowadzać także do osadów wokół dużych pochówków sorbenty, które na długo zwiążą produkty dekompozycji. Sorbenty te są również konieczne w przypadku występowania niekorzystnych warunków pogodowych sprzyjających migracji zanieczyszczeń.
- Przykryć pochówek nadkładem (wypełniaczem) miąższości 1 m licząc od powierzchni ziemi. Miąższość tego nadkładu musi być jednak większa, jeśli cmentarz leży na stromo nachylonym stoku, który wymusza zbyt szybki przepływ strumienia wody gruntowej lub warstwy skalne mają niekorzystny upad, czyli zgodny z nachyleniem terenu.
- Usunąć z ciała po śmierci implanty, np. protezy, rozruszniki serca, platynowe łączniki itp., w celu ograniczenia ilości trudno rozkładających się rekwizytów znajdujących się w pochówkach.
- Nie balsamować zmarłych. Przykładowo, środowisko pochówków w USA ulegało zanieczyszczeniu w wyniku stosowania rtęci, arsenu i formaldehydu.
- Stosować łatwo rozkładające się naturalne materiały, w które zawija się zwłoki po katastrofach i składa do masowego grobu.
- Motywować i rozpowszechniać pochówki „ekologiczne”. Do zawijania zwłok wykorzystywać całuny wykonane z łatwo ulegających rozkładowi naturalnych materiałów, np. lnu, bawełny, jedwabiu itp.
- Używać w pochówkach ekologicznych trumien z odpowiednio przetworzonej wielowarstwowej tektury pomalowanej naturalnymi farbami.
- Nie nasączać tradycyjnych trumien chemicznymi konserwantami i nie wyposażać ich przesadnie w metalowe okucia i ozdoby wykonane z: Pb, Zn, Cu, stali i innych metali, a przede wszystkim same trumny nie mogą być ze stali i Pb.

- Nie wkładać do grobów materiałów trudno rozkładających się, np. plastikowych oraz metalowych. Natomiast stosować materiały o szybkim rozkładzie do około 12–16 lat, a nawet nieco dłuższym, w zależności od pH podłoża. Te rozkładające się rekwizyty powinny związać produkty dekompozycji materii miękkiej, a w dłuższym okresie także twardej.
- Wskazane jest zasypywanie pochówków palonym wapnem, które wzbogaci podłoże w wapń i zwiększy jego odczyn. Czynniki te sprzyjają unieruchomieniu wielu produktów dekompozycji. Dodatkową korzyścią jest dezynfekcja podłoża. Ponadto palone wapno wraz z innymi czynnikami, np. niską temperaturą powietrza, głębszym pochówkiem, dobrymi warunkami tlenowymi itp. ogranicza powstawanie jadu trupiego.
- Zakładać wiele licznych, ale małych grup grobów, w pewnym oddaleniu od siebie.
- Rozbudowywać cmentarz na zewnątrz i dookoła granic poprzednich pochówków.
- Nie lokalizować pojedynczych grobów w bardzo bliskim wzajemnym sąsiedztwie, a szczególnie tych pochodzących z różnych okresów. Wzmaga to bowiem szybkość procesów dekompozycji.
- Składować nowe pochówki na cmentarzach położonych na stokach poniżej starych. Młodsze pochówki ulegając dekompozycji mogą uaktywnić, w otoczeniu starszych grobów położonych niżej, procesy uwalniania wielu jonów.
- Wprowadzić strefy buforowe w pobliżu cmentarzy i nie prowadzić w nich żadnej działalności. Proponuje się zachować odległość od cmentarzy przynajmniej 10 m w przypadku podłoża gliniastych oraz 20 m dla piaszczystych. Odległości te należy modyfikować w zależności od topografii i spadku hydraulicznego zwierciadła wody.
- Sadzić w strefach buforowych rodzime drzewa i krzewy ozdobne o różnej głębokości systemu korzeniowego, który zwiąże część produktów dekompozycji. Rośliny te zapewnią cień pod drzewami i ograniczą parowanie, a w konsekwencji uniemożliwią gromadzenie się produktów dekompozycji w górnej części profilu pionowego.
- Przekonywać decydentów i mieszkańców do wyznaczenia pod pochówki terenów w parkach, w których groby powinny być oddalone od siebie. Na ten cel przeznaczyć tereny odległe od centrów miast i zapewnić do nich również dobry dojazd.
- Lokalizować groby na polanach w parkach. Grzybnia towarzysząca systemowi korzeniowemu drzew wykorzysta dla własnego rozwoju część produktów dekompozycji.
- Ograniczyć rozbudowę pomników nad grobami, na terenie parków i nie tylko, do poziomo leżących niewielkich płyt, które ułatwią utrzymanie trawiastego dywanika.
- Założyć piezometry wokół dużych masowych pochówków lub cmentarzy w celu monitorowania jakości wody przez wyspecjalizowane służby.
- Poddać ocenie stosownych zespołów badawczych, zajmujących się tym problemem, lokalizację nowych i rozbudowywanych cmentarzy.

- Zabezpieczyć nawet te małe groby z II wojny, w których stwierdzono duże zawartości wielu pierwiastków, by nie doszło do ich uwolnienia i negatywnego wpływu na środowisko.
 - Znowelizować rozporządzenie ministra gospodarki komunalnej z dnia 27 lipca 1959 r., Dz.U.59.46.284 w sprawie zakładania i rozszerzania cmentarzy o powyższe zalecenia.
 - Zważywszy na trudności związane z uwarunkowaniami ekonomicznymi, politycznymi i organizacyjnymi oraz w związku z lokalną tradycją, proponuje się stopniowe wdrażanie wybranych zaleceń.
 - Umożliwić mieszkańcom dużych miast wybór sposobu i miejsca pochówku.
- Wielu badaczy na całym świecie uważa, że praktyki pochówku staną się w przyszłości bardzo kosztowne i kłopotliwe.

Inne znane zalecenia

Proste zalecenia dla niewyspecjalizowanych komórek, w celu zarządzania rekuperacją, zasadniczą identyfikacją, przechowywaniem, składowaniem i usuwaniem zwłok po katastrofach wraz ze sugestiami wsparcia dla członków rodzin i komunikowania się ze społeczeństwem i mediami zawiera polowa instrukcja: *Management of Dead Bodies After Disasters: A manual for first responders*, eds. O. Morgan, M. Tidball-Binz, D. Van Alphen, Pan American Health Organisation. Washington D.C., 2006, 1–59.

Podziękowanie

Przeprowadzenie i opracowanie tych badań było możliwe dzięki środkom uzyskanym z badań własnych, statutowych oraz własnemu finansowemu zaangażowaniu.

Pragnę serdecznie podziękować osobom, które udzieliły mi pomocy w czasie prowadzonych badań, opracowywania wyników oraz redakcji tekstu: prof. dr. hab. Tadeuszowi Grabińskiemu, prof. dr. hab. Janowi Lachowi oraz mgr. Mariuszowi Kolberowi.

Szczególne podziękowania kieruję do prof. dr. hab. Joanny Pociask-Karteczki oraz prof. dr. hab. Macieja Pawlikowskiego za ich szczegółowe uwagi, konstruktywne wskazówki oraz opinię o pracy.

Serdecznie dziękuję również Akademii Pedagogicznej w Krakowie za sfinansowanie wydania oraz edytorom tej książki za ich pomoc w końcowym opracowaniu tej publikacji.

Literatura

- Adams F., 1971. *Soil solution*, [in:] Carson E.W. (ed.) *The plant root and its environment*. University Press of Virginia, Charlottesville. 441–481.
- Advisory Committee on Dangerous Pathogens and the Spongiform Encephalopathy Advisory Committee. (2003). *Transmissible Spongiform Encephalopathy Agents: Safe working and the prevention of infection. Guidance from the Advisory Committee on Dangerous Pathogens and the Spongiform Encephalopathy Advisory Committee*. London: Department of Health.
- AEA Technology Environment 2001. *Pharos special report. Review of emissions from crematoria in the UK*. Pharos International. Autumn, A2–B7.
- Alfodi L., Croukamp L., 1988. *Problems and biological treatment, state of the art report*. Watscitech. 20, 3, 1–131.
- Alloway B.J., 1995. *Soil processes and the behavior of heavy metals*, [in:] Alloway B.J. (ed.) *Heavy metals in soils*. Second Edition. Blackie, New York. 11–37.
- Andrzejewski M., Socha T., 1998. *Fosfor i jego przydatność w badaniach archeologicznych*, [w:] W. Śmigieński (red.), *Nauki przyrodnicze i fotografia lotnicza w archeologii*. Series „Biblioteka Fontes Archaeologici Posnanienses” (Museum Yearbook’s Library), Poznań. 9, 57–63.
<http://www.iaepan.edu.pl/~zbikob/geochemiczna/page2.html>
- Anon 2001. *Disposition of cremated remains in Great Britain. Pharos International*. Autumn. 29.
- Arrhenius O., 1929. *Die phosphatfrage*. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Dündung und Bodenkunde. 14A. 185–194.
- Arrhenius O., 1931. *Die bodenanalyse im dienst der archäologie*. Zeitschrift für Pflanzenernährung Dündung und Bodenkunde, teil B. 10, 427–439.
- Arrhenius O., 1955. *The Iron Age settlements on Gotland and the nature of the soil*, [in:] O. Klindt-Jensen (ed.), Vallhagar: *A migration period settlement on Gotland/Sweden*, t. 2, Copenhagen. Denmark: Edjnar Munksgaards Forlag. 1053–1064.
- Aston M.A., Martin M.H., Jackson A.W., 1998. *The potential for heavy metal soil analysis on low status archaeological sites at Shapwick, Somerset*. Antiquity. 72, 838–847.
- Bakkevig S. 1980. *Phosphate analysis in archaeology – problems and recent progress*. Norwegian Archeological Review. 12, 2, 73–100.
- Balke B., 1975. *W sprawie przydatności metody fosforanowej do badań archeologicznych*. Archeologia Polski. 20, 1, 161–174.
- Barba L., Bello G., 1978. *Analisis de fosfatos en el piso de una casa habitada actualmente*. UNAM Notas Antropologicas. 1, 24, 188–193.
- Barba L., Ortiz A., 1978. *Analisis quimico de pisos de ocupacion: un caso etnografico en Tlaxcala*. Mexico. American Antiquity. 3, 1, 63–82.
- Barba L., 1986. *La química en el estudio de areas de actividad*, [in:] Manzanilla L. (ed.) *Unidades habitacionales mesoamericanas y sus areas de actividad*. Imprenta Universitaria, Mexico City. 21–39.

- Barba L., Herrera A., 1986. *San Jose Ixtapa: Un sitio arqueologico dedicado a la produccion de mercurio*. Sobreziro de Anales de Anthropologia. 22, 87–104.
- Barba L., Ludlow B., Manzanilla L., Valadez R., 1987. *La vida domestica de Teotihuacan: un estudio interdisciplinario*. Ciencia y Desarrollo. 77, 21–33.
- Barba L., Manzanilla L., 1987. *Superficie/excavacion: un ensayo de prediccion de rasgos arqueologicos desde la superficie, en Oztoyahualco*. Antropologicas. 1, 19–46.
- Barba L., Ortiz A., 1992. *Analisis quimico de pisos de ocupacion: un caso etnografico en Tlaxcala*. Mexico. Latin American Antiquity. 3, 1, 63–82.
- Bartoszewicz A., 1985. *Stężenie niektórych jonów w wodach gruntowych gleb uprawnych*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. 159, 3–28.
- Bastionon D., Matos B.A., Aquino W.F., Pacheco A., Mendes J.M.B., 2000. *Geophysical surveying to investigate groundwater contamination by a cemetery*. [in:] *Proceedings of the symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems: The Annual Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society: Arlington, VA. USA. 20–24 February*. 709–718.
- Beak Consultants Limited (BEAK), 1992. *Soil and groundwater quality study of the Mount Pleasant cemetery*. Report 9043.2 prepared for Commemorative Services of Ontario and Arbor Capital. Inc. unpub. (za Creely 2004).
- Becker H., Fassbinder J.W.E., 2001. *Magnetic prospecting in archaeological sites. Monuments and sites VI. ICOMOS*. 1–104.
- Berlin G.L., Ambler J.B., Hevly R.H., Schaber G.G., 1977. *Identification of a Sinagua agricultural field by aerial thermography, soil chemistry, pollen/plant analysis, and archaeology*. American Antiquity. 42, 4, 588–600.
- Berna F., Matthews A., Weiner St., 2004. *Solubilities of bone mineral from archaeological sites: the recrystallization window*. Journal of Archaeological Science. 31, 867–882.
- Bernard H.Y., 1966. *The law of death and disposal of the dead*. Oceana Pub., Inc., Dobbs NY. 12.
- Bethell P.H., Máté I., 1989. *The use of soil phosphate analysis in archaeology: a critique* [in:] J. Henderson (ed.): *scientific analysis in archaeology*. Oxford University Committee, Monograph no. 19. Oxford, 1–29.
- Biek L., 1957. *The Great Barrow at Bishop's Waltham, Hampshire*. Proceedings of the Prehistoric Society. 23, 137–166.
- Bielińska E.J., 2005. *Oznaczanie aktywności fosfataz*. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie. 3, 63–74.
- Bintli J.L., Ganey C., Waters A., Davis B., Snodgrass A., 1990. *Trace element Accumulation in soils in and around ancient settlements in Greece*, [in:] Bottema S., Entijes-Nieborg G., van Zeist W. (ed.), *Man's role in the shaping of the eastern Mediterranean landscape*. Rotterdam: Balkema. 159–172.
- Bjelajec V., Luby E., 1996. *A validation test of a field-based phosphate analysis Technique*. Journal of Archaeological Science. 23, 2, 243–248.
- Bleck R.D., 1976. *Anwendungsmöglichkeiten phosphatanalytischer untersuchungen im Beretch der Ur- und frühgeschichte*. Ausgrabungen und Funde. 21, 1–262.
- Bohn H.L., McNeal B.L., O'Connor G.A., 1985. *Soil chemistry*. (2nd ed.) New York. John Wiley and Sons. 1–341.
- Bower C.A., Wilcox L.V., 1965. *Soluble salts*, [in:] Black C.A. (ed.), *methods of soil analysis*. Part 2. Agronomy. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. 933–951.

- Bouwer H.Y., 1978. *Groundwater hydrology*, McGraw-Hill, Inc., New York. Manuscript received 7 April 2003. Accepted for publication on 19 March 2004. 1–480.
- Braz V.N., Silva L.C.E., Menezes L.B.C., 2000. *Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios*, [in:] I Joint World Congress on Ground Water, 2000, Fortaleza. Anais. Fortaleza, ABAS, cd-rom.
- Broadbent N., 1981. *Phosphate analysis in archaeology: anthropological uses of an old method*. Society of American Archaeology. Proc. 42, 1–16.
- Broch R., Hauptmann H., 2000. *Zachodniogaliczyjskie groby bohaterów z lat wojny światowej 1914/1915*, reprint. (Westgalizische Heldengraeber aus den Jahren des Weltkrieges 1914–1915, Wien 1918). Wyd. Muzeum Okręgowe w Tarnowie, Tarnów. 1–396.
- Brzeziński W., Dulicz M., Kobyliński Z., 1983. *Zawartość fosforu w glebie jako wskaźnik dawnej działalności ludzkiej*. Kwartalnik Historii Kultury Materialnej. 31, 3, 277–297.
- Buckman H.C., Brady N.C., 1971. *Gleba i jej właściwości*. Warszawa. 1–421.
- Carrels R.M., Christ C.L., 1965. *Minerals, solutions, and equilibria*. New York: Harper and Row. 1–450.
- Carvalho Junior M.A.F., Silva L.M.C., 1997. *SP e elektorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério*, [in:] *Congresso internacional da sociedade Brasileira de geofísica 5*, São Paulo, 1997. Resumos expandidos, São Paulo. Sociedade Brasileira de Geofísica. 471–474.
- Cavanagh W.G., Hirst S., Litton C.D., 1988. *Soil phosphate, site boundaries, and change point analysis*. Journal of Field Archaeology. 15, 67–83.
http://www.science.uts.edu.au/des/StaffPages/BoydDent/boyd_dent.html
- Cemetery site investigations*. 10 November 1999. Council for Geoscience, South Africa.
<http://www.geoscience.org.za/divisions/eemg/cemetery>
<http://www.geoscience.org.za/pmsu/urban/cemetery.htm>
- Chamberlain A. 1994. *Human remains*. London: British Museum Press. 1–64.
- Chan G.S., Scafe M., Emami S., 1992. *Cemeteries and groundwater: An examination of the potential contamination of groundwater by preservatives containing formaldehyde*. Ontario Ministry of the Environment. Water Resources Branch Publication PIBS 1813. 1–11.
- Collins M.E., Shapiro G., 1987. *Comparison of human-influenced and natural soils at the San Luis archaeological site*. FL. Soil Science Society of America Journal. 51, 171–176.
- Commission Directive 2002/82/EC of 15 October 2002. *Dyrektywa Unii Europejskiej z dnia 15 X 2002 r. w sprawie dodatków do środków żywności*.
- Consumer Reports, 1977. *Funerals, Consumer's Last Rights*. The Consumers Union Report on Conventional Funerals and Burial, Consumers Union, NY.
- Conway J.S., 1983. *An investigation of soil phosphorus distribution within occupation deposits from a Romano-British hut group*. Journal of Archaeological Science. 10, 117–128.
- Cook S.F., Heizer R.F., 1965. *Studies on the chemical analysis of archaeological sites*. University of California Press. Publications in Anthropology. 2, 9, 1–102.
- Cora S., 1997. *The roses of Picardy, the poppies of the Somme: An anthology of the Great War, or How the war made landscapes*. (Antologia pierwszej wojny światowej, albo jak wojna kształtuje krajobrazy). Journal of Garden History. 17, 3, 214–221.

- Corry J.E.L., 1978. *Possible sources of ethanol ante-and post-mortem: its relationship to the biochemistry and microbiology of decomposition*. Journal Appl. Bacteriol. 44, 1–56.
- Costa M.L., Kern D.C., 1999. *Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon*. Journal of Geochemical Exploration. 66 (1/2), 369–385.
- Costa L.M., Kern D.C., Pinto E.A.H., Souza T.J.R., 2004. *The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from Lower Amazon region, Brazil: chemistry and geochemical evolution*. Acta Amazonica. 34, 3, 375–386.
- Cowgill U.M., Hutchinson G.E., 1966. *A general account of the basin and the chemistry and mineralogy of the sediment cores*, [in:] Cowgill U.M., Goulden C.E., Hutchinson G.E., Patrick R., Racek A.A., Tsukada M. (ed.), *The History of Laguna de Petenxil, El Petén, Guatemala*. Memoirs of the Connecticut Academy of Arts and Sciences. 17, 2–62.
- Cox M., Earwood C., Jones E.B.G, Jones J., Straker V., Robinson M., Tibbett M., West St., 2001. *An assessment of the impact of trees upon archaeology within a relict Wetland*. Journal of Archaeological Science. 28, 10, 1069–1084.
- Craddock P.T., 1984. *Soil phosphate survey. Cat's water, 1973–1977*, [in:] F. Pryor (ed.). *Excavation at Fengate, Peterborough, England: The fourth Report*. 1–302.
- Craddock P.T., Gurney D., Pryor F., Hughs M., 1986. *The application of phosphate analysis to the location and interpretation of archaeological sites*. Archaeological Journal. 142, 361–376.
- Creely K.S., 2004. *Infection risks and embalming*. Research Report TM/04/01. www.iom-world.org/pubs/IOM_TMO401.pdf
- Crowther J., 1997. *Soil phosphate surveys: critical approaches to sampling, analysis and interpretation*. Archaeological Prospection. 4, 93–102.
- Croukamp L., Richards N.P., 2002. *Guideline for cemetery site selection*. Council for Geoscience, South Africa.
- Coetzee H., Horstmann U., Ntsume G., Croukamp L., 2003. *The potential environmental impact of the decant of water from Witwatersrand*, [in:] P.J.L. Nel, *Mine Water and the Environment. Johannesburg*. Proceedings, 8th International Mine Water Association Congress. Johannesburg. 201–217.
- Czuba R., Klein T., Skowroński S., Włodarczyk Z., Wójcik B., Wojtas R., Zembaczyński A., 1968. *Zawartość fosforu i potasu przyswajalnego w glebie oraz jej pH w zależności od terminu pobierania próbek*. Roczniki Gleboznawcze. 18, 2, 577–579.
- Dauncey K.D.M., 1952. *Phosphate content of soils on archaeological sites*. Advancement of Science. 9, 33–37.
- Davies B.E., 1978. *Plant-available lead and other metals in British garden soils*. The Science of the Total Environment. 9, 243–262.
- Davidson D.A., 1973. *Particle size and phosphate analysis – evidence for the evolution of a tell*. Archaeometry. 15, 143–52.
- de Ville de Goyet C., 1979. *Maladies transmissibles et surveillance épidémiologique lors de désastres naturels*. Bull World Health Organ. 57, 2, 153–165.
- de Ville de Goyet C., 1980. *Las enfermedades transmisibles y la vigilancia epidemiológica en situaciones de desastres naturales*. Bol. Oficina Sanit Panam. 89, 4, 353–359.
- de Ville de Goyet C., 2000. *Stop propagating disaster myths*. Lancet. 356, 762–764.
- Dent B.B., 1995. *Hydrogeological studies at Botany Cemetery*. Sydney, University of Technology, M. Sc. Project report. Maszynopis.

- Dent B.B., Knight M.J., 1998. *Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management, groundwater: sustainable solutions*. Conference of the International Association of Hydrologists, Melbourne, February 1998, 451–456.
- Dent B.B., Knight M.J., 1998. *...as above but republished with minor editorial change*, [in:] ACCA News, Autumn. 37–40.
- Dent B.B., 1998. *Bacterial sampling of monitoring bores-Case Notes*. IAH Newsletter. 15, 3, 20–23.
- Dent B.B., 2000a. *Cemetery decay product profiles: two cases in Australian, unconsolidated, sandy aquifers*. Understanding Planet Earth. Searching for a Sustainable Future: 15th Australian Geological Convention, Sydney, July. 3–7, Geological Soc. Austr. Abstracts, nr 59, 130.
- Dent B.B., 2000b. *Decay products in cemetery groundwaters. Geology and sustainable development: challenges for the Third Millennium*. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 6–17 August. 31st IGC, cd-rom.
- Dent B.B., 2003a. *Expanding on the issues – science forum*. Poster prezentowany na forum naukowym 19 VI 2003 r. w Australii.
http://www.science.uts.edu.au/des/StaffPages/BoydDent/boyd_dent.html
- Dent B.B., 2003b. Wywiad udzielony przez Denta dla Sue Clarka, który emitowano o godz. 8.00 12 lipca 2003 r. i odtworzono 13 VII o godz. 5.00 w Australii.
- Dent B.B., 2004. *The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia*. Abstrakt pracy doktorskiej na stopień PhD uzyskany w Australii. Dent B.B., z dnia 8.06.07 roku
http://www.science.uts.edu.au/des/StaffPages/BoydDent/boyd_dent.html
- Dick W.A., Tabatabai M.A., 1977. *An alkaline oxidation method for the determination of total phosphorus in soils*. Journal of the Soil Science Society of America. 41, 511–514.
- Dietz E.F., 1957. *Phosphorus accumulation in soil of an Indian habitation site*. American Antiquity. 22, 405–409.
- Douthit D., 2001. *The chemical components of cremated remains. Pharos international*. Autumn. 6–7.
- Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., Cukrowska E., Buszewski B., 2001. *Adsorption and migration of selected heavy metals in soil profile*. Polish Journal of Environmental Studies. 10, 1, 1–10.
- Dumble P., Ruxton C., 2000. *Guidance on monitoring of landfill leachate, groundwater and surface water*. Environment Agency, R&D Report. (za www.environment-agency.gov.uk)
<http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SCHO0404BGLA-e-e.pdf>
- Edwards K.J., 1983. *Phosphate analysis of soils associated with the Old Kinord field and settlement system, Muir of Dinnet, Aberdeenshire*. Proc. Soc. Antiq. Scot., 113, 620–627.
- Eidt R.C., 1973. *A rapid chemical field test for archaeological site surveying*. American Antiquity. 38, 2, 206–210.
- Eidt R.C., Woods W.I., 1974. *Abandoned settlement analysis-theory and practice*. Field Test Associates, Milwaukee. 1–159.
- Eidt R.C., 1977. *Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis*. Science. 197, 1327–1333.

- Eidt R.C., 1984. *Advances in abandoned settlement analysis: applications to prehistoric anthrosols in Colombia, South America*. Center for Latin American Studies. University of Wisconsin, Milwaukee. 1–158.
- Engelbrecht J.F.P., 1998. *Groundwater pollution from cemeteries*, [in:] *Proceedings of the Water Institute of South Africa (WISA)*. Biennial Conference and Exhibition. Cape Town, 4–7 May. vol. 1. session 1C-3, 1–8.
- Engelbrecht J.F.P., 2000. *Groundwater pollution from cemeteries. CSIR Report*.
- Entwistle J.A., Abrahams P.W., Dodgshon R.A., 1998. *Multi-element analysis of soils from Scottish historical sites: interpreting land-use history through the physical and geo-chemical analysis of soil*. *Journal of Archaeological Science*. 25, 53–68.
- Entwistle J.A., Dodgshon R.A., Abrahams P.W., 2000. *An investigation of former land-use activity through the physical and chemical analysis of soil from the Isle of Lewis, Outer Hebrides*. *Archaeological Prospection*. 7, 171–188.
- Environment Agency – UK, 1999. *Microbiological contaminants in groundwater*. National groundwater and contaminated land centre Solihull. Booklet.
- Environment Agency – UK, 2002. *Assessing the groundwater pollution potential of cemetery developments*. National Groundwater and Contaminated Land Centre. Bristol BS32 4UD, United Kingdom. 1–20. <http://www.cas.org/> February (2004).
- Fabiansson N., 2000. *The Archaeology of the western front 1914–1918*. Site first published on the internet 3 August 2000. Page updated 20 January 2002. http://w1.865.telia.com/~u86517080/BattlefieldArchaeology/ArkeologENG_3B.html
- Fisher G.T., Croukamp L., 1993. *Groundwater contamination and its consequences resulting from the indiscriminate placing of cemeteries in the third world context*. Conference Africa needs groundwater convention. University of the Witwatersrand. Johannesburg, South Africa, 1. (za Tumagole 2006)
- Flesher E.C., 1984. *Soil survey of defiance country, Ohio*. USDA, Soil Conservation Service, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Freedman R., Fleming R., 2003. *Water quality impacts of burying livestock mortalities*. Ontario, Canada: Livestock Mortality Recycling Project Steering Committee. 1–24. http://www.ridgetownc.uoguelph.ca/research/documents/fleming_carcassburial.pdf
- Forbes S.L., 2002. *An investigation of the formation of adipocere in grave soils*. 16th International Symposium on the Forensic Sciences, Canberra, 12–17 May, Forensic Sciences – Outcomes for Society Handbook. 162–163.
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B., 2002b. *The identification of adipocere in grave soils*. *Forensic Science International*. 127, 225–230.
- Forbes S.L., Keegan J., Stuart B.H., Dent B.B., 2003. *Development a gas chromatography-mass spectrometry method for the detection of adipocere in grave soils*. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 105, 761–768.
- Forbes S.L., 1 III 2004. *Adipocere research program*. <http://www.science.uts.edu.au/des/StaffPages/BoydDent/shari.html>
- Forbes S.L., 2004. *Final PhD seminar*. <http://www.forensics.com.au/print.php?sid=155>
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B., 2004. *Detection of adipocere in grave soils using GCMS*. Forensic Analysing 2004 Conference, Royal Society of Chemistry, Lincoln, UK, 20–22 July, poster.
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dadour I.R., Dent B.B., 2004. *A preliminary investigation of the stages of adipocere formation*. *Journal of Forensic Sciences*. 49, 3, 566–574.

- Gajda J., 2004. *Krajowe przepisy dotyczące substancji dodatkowych do żywności po wejściu Polski do UE*. Przemysł Spożywczy. 6, 33, 20–21.
- Gale C.P., Mulley G.P., 2002. *Pacemaker explosions in crematoria: problems and possible solutions*. Journal of the Royal Society of Medicine. 95, 353–355.
- Gałaszka B., 1992. *Taksonomiczna metoda k-średnich dla niepełnych danych*. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie nr 388.
- Gauthard F., Epron F., Barbier J., 2003. *Palladium and platinum-based catalysts in the catalytic reduction of nitrate in water: effect of cooper, silver, or gold addition*. Journal Catalytic. 220, 182–191.
- German K., 1992. *Typy środowiska przyrodniczego w zachodniej części Pogórza Karpackiego*. Uniwersytet Jagielloński. Kraków. Rozprawy habilitacyjne 246. 1–213.
- Gliński J., Duliban J., 1972. *Potencjał oksydo-redukcyjny w glebach*. Problemy Agrofizyczne. 3, 1–57.
- Gliński J., Stępniewska Z., 1986. *Wskaźnik odporności gleb na redukcję*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 315, 81–94.
- Goffer Z., 1980. *Archaeological chemistry. A sourcebook on the applications of chemistry to archaeology*. New York. 334–338.
- Gordon B., 1978. *Chemical and pedological delimiting of deeply stratified archeological sites in frozen ground*. Journal of Field Archeology. 5, 3, 331–338.
- Grabińska-Łoniewska A., 1998. *Rola bakterii biorących udział w przemianach związków żelaza i manganu w procesie uzdatniania wód podziemnych*. Mat. Sympozjum. Znaczenie procesów jednostkowych w technologii oczyszczania wody i ścieków, Koszalin-Ustronie Morskie. 51–87.
- Grabiński T., 1992. *Metody taksonometrii*. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Kraków. 1–176.
- Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A., 1989. *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych*. PWN. Warszawa. 1–279.
- Gray D.A., Mather J.D., Harrison J.B., 1974. *Review of groundwater pollution from waste disposal sites in England and Wales with provisional guidelines for future site selection*. Quarterly Journal of Engineering Geology. 7, 181–196.
- Griffith M.A., 1980. *A pedological investigation of an archaeological site in Ontario, Canada, I: An examination of the soils in and adjacent to a former village*. Geoderma. 24, 327–336.
- Griffith M.A., 1981. *A pedological investigation of an archaeological site in Ontario, Canada, II: Use of chemical data to discriminate features of the Benson Site*. Geoderma. 24, 327–336.
- McCawley J.C., MacKerrell H., 1972. *Soil phosphorus levels at archaeological sites*. Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland. 104, 301–306.
- Groundwater Protection Policy for Scotland* 44, Scottish Environment Protection Agency, Environmental Policy Number 19. www.sepa.org.uk
- Greatest single potential threat to groundwater pollution in the Rouge Basin*, 2002. <http://www.blackhole.on.ca/cemetery.htm>
- Gundlach H., 1961. *Tüpfelmethode auf phosphat, angewandt in prähistorischer forschung (als Feldmethode)*. Mikrochimica Acta, Wien. 5, 735–737.
- Hanzlick R., 1994. *Embalming, body preparation, burial and disinterment. An overview for forensic pathologists*. The American Journal of Forensic Medicine and Pathology. 15, 122–131.

- Harrison I., Higo J.J.W., 1994. *The preparation of ¹²⁵I labelled sodium polystyrene sulphonate*. Applied Radiation and Isotopes. 45, 3, 345–351 (za Trick 1999).
- Hassan A.A., Termine J.D., Haynes C.V., 1977. *Mineralogical studies on bone apatite and their implications for radiocarbon dating*. Radiocarbon. 19, 364–374.
- Haslam M., 2004. *The decomposition of starch grains in soils: implications for archaeological residue analyses*. Journal of Archaeological Science. 31, 12, 1715–1734.
- Healing T.D., Hoffman P.N., Young S.E., 1995. *The infectious hazards of human cadavers*. Commun Dis. Rep. CDR Rev. 5, 5, 61–68.
- Heidenreich C.E., Navratil S., 1973. *Soil analysis at the robitaille site, part I: determining the perimeter of the village*. Ontario Archaeology. 20, 25–32.
- Heidenreich C.E., Konrad V.A., 1973. *Soil analysis at the robitaille site, part II: a method useful in determining the location of longhouse patterns*. Ontario Archaeology. 20, 33–62.
- Hendry M.J., Lawrence J.R., Maloszewski P., 1997. *The role of sorption in the transport of Klebsiella oxytoca through saturated silica sand*. Journal Groundwater. 35, 574–584.
- Heron C., 2001. *Geochemical prospecting*, [in:] *Handbook of archaeological sciences* (Brothwell D.R., Pollard A.M., eds), Chichester, Wiley. 565–573.
- Hesse P.R., 1971. *A textbook of soil chemical analysis*. London. 1–520.
- Higo J.J.W., Williams G.M., Harrison I., Warwick P., Gardiner M., Longworth G., 1993. *Colloid transport in a glacial sand aquifer: laboratory and field studies*. Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects. 73, 179–200 (za Trick 1999).
- Holmes G., Singh E.R., Theodore L., 1993. *Handbook of environmental management and technology*. J. Wiley. New York. 1–651.
- Homsey L.K., Capo R.C., 2005. *Integrating geochemistry and micromorphology to interpret feature use at Dust Cave, a Paleo-Indian through middle-archaic site in north-west Alabama*. Geoarcheology. 21, 3, 237–269.
- Hopkins D.W., Wiltshire P.E.J., Turner B.D., 2000. *Microbial characteristics of soils from graves: an investigation at the interface of soil microbiology and forensic science*. Applied Soil Ecology. 14, 238–288.
- <http://beskidgorlicki.pl/bibliografia-zachodniogalicyjskich-cmentarzy-wojennych.html>
- <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/livestock/deadstock/facts/01-025.htm>, may6, 2003.
- Hudson G.E., 1974. *The determination of trace elements in Saxon human remains*. Unpublished Dissertation for Postgraduate Diploma in Analytical Chemistry. North-East London Polytechnic. London.
- Isbell R.F., Reeve R., Hutton J.T., 1983. *Salt and sodicity*, [in:] *Soils: an Australia view-point*. Division of soils. CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press: London). 107–117.
- Iserson K.V., 1994. *Death to dust: what happens to dead bodies ?* Galen Press, Ltd., AZ.
- Iserson K.V., 1995. *What happens to corpses? Death doesn't have to be a mysterious subject*. Emerg. Med. Serv. 24, 6, 35–43.
- Ivarsson K., 1989. *Large amounts of soil phosphorus – difficult for the plant to utilize*. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 1–45.
- James P., 1999. *Soil variability in the area of an archaeological site near Sparta, Greece*. Journal of Archeological Science. 26, 10, 1273–1288 (16).

- Jankuhn H., 2004. *Wprowadzenie do archeologii osadnictwa*. (Einführung in die Siedlungsarchäologie) przetł. Anna Bender. Wydawnictwo PTPN. Poznań. (Repr.) Society for the Advancement of the Arts and Sciences. 20, 1–199.
- Jenkins D.A., 1989. *Trace element geochemistry in archaeological sites*. Environmental Geochemistry and Health. 11, 2, 57–62.
- John M.K., 1970. *Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid*. Soil Science. 109, 4, 214–220.
- Johnson A.H., 1956. *Examination of soil from Corrimony chambered cairn, Glenurquhart, Invernesshire, with special reference to phosphate content*. Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland. 88, (1954–1956), 200–207.
- Keeley H.C.M., Hudson G.E., Evans J., 1977. *Trace element content of human bone in various states of preservation 1. The soil silhouette*. Journal of Archeological Science. 4, 19–24.
- Knight M.J., Dent B.B., 1995. *A watery grave – the role of hydrogeology in cemetery practice*. ACCA News, Summer. 19–22.
- Knight M.J., Dent B.B., 1998. *Sustainability of waste and groundwater management systems, groundwater: sustainable solutions*. Conference of the International Association of Hydrogeologists, Melbourne, February 1998. 359–374.
- Knudson K.J., Price T.D., Buikstra J.E., Blom D.E., 2004. *The use of strontium isotope analysis to investigate tiwanaku migration and mortuary ritual in Bolivia and Peru*. Archaeometry. 46, 5–18.
- Kocowicz A., 1999. *Wpływ sposobu użytkowania na właściwości sorpcyjne gleb*. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych. 46/7, 95–101.
- Koebel G., 2001. *Managing on-farm mortalities*. OMAF Factsheet. Queen's Printer for Ontario.
- Konrad A.V., Bonnicksen R., Clay V., 1983. *Soil chemical identification of ten thousand years of prehistoric human activity areas at the munsungun lake Thoroughfare, Maine*. Journal of Archeological Science. 10, 13–28.
- Kowalik P., 2001. *Ochrona środowiska glebowego*. PWN. Warszawa. 1–257.
- Knudson K.J., Frink L., Hoffman B.W., Price T.D., 2004. *Chemical characterization of arctic soils: activity area analysis in contemporary yup'ik fish camps using ICP-AES*. Journal of Archeological Science. 31, 4, 443–456.
- Kyle J.H., 1986. *Effect of post-burial contamination on the concentrations of major and minor elements in human bones and teeth-the implications for paleodietary research*. Journal of Archeological Science. 13, 403–416.
- Lance J.C., Gerba C.P., 1980. *Poliovirus movement during high rate land filtration of sewage water*. Journal of Environmental Quality. 1, 31–34.
- Lambert J.B., 1997. *Traces of the past: unraveling the secrets of archaeology through chemistry*. Perseus Publishing, Cambridge (Massachusetts). 1–319.
http://www.chem.ox.ac.uk/mom/Air_fresh/Formaldehyde.htm
- Lambert J.B., Szpunar C.B., Buikstra J.E., 1979. *The chemical analysis of excavated human bone from Middle and Late Woodland sites*. Archaeometry. 21, 2, 115–129.
- Lambert J.D., Siemans A.H., Arnason J.T., 1984. *Ancient Maya drained field agriculture: its possible application today in the New River floodplain*. Belize C.A. Agriculture, Ecosystems, and Environment. 11, 67–84.
- Lerici C.M., 1960. *I nuovi metodi di prospezione archeologica alla scoperta delle civiltà Sepolte*. Milano. 115–125.

- Levine R.J., Andjelkovich D.A., Shaw L.K., 1984. *The mortality of Ontario undertakers and a review of formaldehyde-related mortality studies*. Journal of Occupational Medicine. 26, 740–746.
- Lewin K., Yung C., Blakley N., 1997. *Management of the environmental impacts of landfilling on the Sherwood Sandstone*. Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment, Nottingham 21–27 September 1997. Rotterdam, A.A. Balkema. 611–617.
- Lewis R.J., Foss J.E., Morris M.W., Timpson M.E., Stiles C.A., 1993. *Trace element analysis in pedo-archaeology studies*, [in:] Foss J.E., Timpson M.E., Morris M.W. (ed.), *Proceedings of the First International Conference on Pedo-Archaeology*. Knoxville: University of Tennessee Special Publication. 93, 81–88.
- Lillios K.T., 1992. *Phosphate fractionation of soils at agroal, Portugal*. American Antiquity. 57, 3, 495–506.
- Linderholm J., Lundberg E., 1994. *Chemical characterization of various archaeological soil samples using main and trace elements determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry*. Journal of Archaeological Science. 21, 303–314.
- Lindsay W.L., Norvell W.A., 1978. *Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper*. Soil Science Society of America Journal. 42, 421–428.
- Lindsay W.L., 1979. *Chemical equilibria in soils*. Wiley-Interscience. New York, USA. 1–449.
- Lippi R.D., 1988. *Paleotopography and phosphate analysis of a buried jungle site in Ecuador*. Journal of Field Archaeology. 5, 85–97.
- Lorch W., 1940. *Die siedlungsgeographische phosphatmethode*. Die Naturwissenschaften. 28, 633–640.
- Lutz H.J., 1951. *The concentration of certain chemical elements in the soils of Alaska archeological sites*. American Journal of Science. 249, 925–928.
- Łabuda S., Maćkowiak C., Mazurkiewicz I., 2000. *Oddziaływanie nawożenia substancją organiczną i azotem na potencjał redoks w glebie*. Folia Univ. Agric. Stetin. 211, Agricultura. 84, 245–249.
- Macphail R.I., Cruise G.M., Allen M.J., Linderholm J., Reynolds P., 2004. *Archaeological soil and pollen analysis of experimental floor deposits; with special reference to Butser Ancient Farm, Hampshire, UK*. Journal of Archaeological Science. 31, 175–191.
- Madyda-Legutko R., Tunia K., 1978. *Wyniki badań stanowisk okresu rzymskiego w Moszczenicy Wyżnej, woj. Nowy Sącz*. Acta Archaeologica Carpathica. 18, 113–149.
- Maloney S.R., Phillips C.A., Mills A., 1998. *Mercury in the hair of crematoria workers*. Lancet Nov. 352, 9140. 1–1602.
- Mann R.W., Bass W.M., Meadows L., 1990. *Time since death and decomposition of the human body: variables and observations in case and experimental field studies*. Journal Forensic Sciences. 35, 1, 103–111.
- Manzanilla L., Barba L., 1990. *The study of activities in classic households: two case studies from Coba and Teotihuacan*. Ancient Mesoamerica. 1, 41–49.
- Manzanilla L., 1996. *Corporate groups and domestic activities at Teotihuacan*. Latin American Antiquity. 7, 228–246.
- Mather J.D., 1989. *The attenuation of the organic component of landfill leachate in the unsaturated zone: a review*. Quarterly Journal of Engineering Geology. 22, 241–246.

- 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, 77–93.
- Margowski Zd., Bartoszewicz A., 1975. *Migracja związków fosforowych do wód gruntowych w różnych warunkach glebowych.* Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, 91, Chemia, 87–92.
- Maritan L., Mazzoli C., 2004. *Phosphates in archeological finds: implications for environmental conditions of burial.* Archaeometry. 46, 4, 673–683.
- Martins M.T., Pellizari V.H., Pacheco A., Myaki D.M., Adams C., Bossolan N.R.S., Mendes J.M.B., Hassuda S., 1991. *Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios.* Revista de Saúde Pública. 25, 1, 47–52.
- Mather J.D., 1989. *The attenuation of the organic component of landfill leachate in the unsaturated zone: a review.* Quarterly Journal of Engineering Geology. 22, 241–246.
- 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.* São Paulo, Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo). 1–115.
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19122001-082301/publico/TDE.pdf>
- Matos B.A., Bastianon D., Batello E., Pacheco A., Pellizari V., Memdes J.M.B., 1998. *Contaminação do aquífero livre em cemitérios: estudo de caso,* [in:] *Congresso Brasileiro de Águas subterrâneas*, 10 São Paulo, 1998. Anais. São Paulo, ABAS, cd-rom.
- Matos B.A., Pacheco A., 2000. *Ocorrência de microrganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo,* [in:] *Congresso mundial integrado de Águas subterrâneas*, 1., Fortaleza, 2000. Anais. Fortaleza, ABAS, cd-rom.
- Matos B.A., Pacheco A., Rodrigues D., Gamba R., Pellizari V., 1999. *Transporte de microrganismos no aquífero freático em cemitério: estudos em escalas de campo e de laboratório,* [in:] *Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos Países de Língua oficial Portuguesa 4*, Coimbra, 2000. Comunicações. Coimbra, APRH, cd-rom.
- Matos B.A., Yamamoto J.K., Pacheco A., 1997. *Mecanismos de transporte e retenção de microorganismos patogênicos em aquíferos,* [in:] *Simpósio Brasileiro de recursos hídricos*, 12., Vitória, 1997. Anais 3. Vitória. ABRH. 525–532.
- Matos B.A., Yamamoto J.K., Pacheco A., 1997. *Sobrevivência e transporte de micróbios patogênicos em aquíferos,* [in:] *Simpósio Brasileiro de recursos hídricos*, 12., Vitória, 1997. Anais 3. Vitória, ABRH. 519–524.
- Mattingly G.E.G., Williams B.J.B., 1962. *A note on the chemical analysis of a soil buried since Roman times.* Journal of Soil Science. 13, 254–258.
- Mayer R.G., Bigelow G.S. (eds.), 1990. *Embalming: history, theory, and practice,* appleton and lange. Nonvalk, CT. (Hardcover) 1–544.
- Mays S., 1998. *The archaeology of human bones.* Routledge, London and New York. 1–242.
- Mauritzen M., 1969. *Fosforanalyser av jordprover ved Stavanger Museum.* Stavanger Museums Arbok. 79, 49–56.
- Mazurkiewicz I., 2002. *Potencjał redoks w glebie jako wskaźnik chemiczno-rolniczy w badaniach agrosystemu.* Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin – Polonia, vol. LVII, Sectio E. 57, 17–24.
- Mączyńska M., Pawlikowski M., Żychowski J., 2006. *Wyniki badań mineralogicznych i chemicznych grobu 104 i jego otoczenia. Cmentarzysko kultury wielbarskiej Babi*

- Dół-Borcz, powiat Kartuszy. Pomorania Antiqua. Muzeum Archeologiczne w Gdańsku, tom XXI. 249–263.*
- McCawley J.C., MacKerrell H., 1972. *Soil phosphorus levels at archaeological sites.* Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland. 104, 301–306.
- Mehlich A., 1978. *New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese, and zinc.* Communications in Soil Science and Plant Analysis. 9, 477–492.
- Melke J., Uziak St., Klimowicz Zb., 2003. *Wpływ niektórych czynników na właściwości sorpcyjne gleb Polski Wschodniej.* Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin – Polonia, v. LVIII, sectio E. 111–126.
- Memorandum by the Environment Agency (CEM 56) 2000. *Groundwater pollution potential of cemeteries.*
www.parliament.the-stationery-office.co.uk/pa/cm200001/cmselect/cme.../91m62.ht
- Mendelsohn S., 1940. *Embalming fluids.* Chemical Pub. Co., NY. 1–166.
- Mendes J.M.B., Pacheco A., Hassuda S., 1989. *Cemitérios e meio ambiente – a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas,* [in:] *Encontro nacional de estudos sobre o meio ambiente 2.,* Florianópolis, 1989. Anais. Florianópolis, UFSC. 1, 50–57.
- Middleton W.D., Price T.D., 1996. *Identification of activity areas by multi-element characterization of sediments from modern and archaeological house floors using inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy.* Journal of Archaeological Science. 23, 673–687.
- Migliorini R.B., 1994. *Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo.* São Paulo, 1–74. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Milnes A.R., Hutton J.T., 1983. *Calcretes in Australia,* [in:] *Soils: an Australian viewpoint.* Division of Soils, CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press, London). 119–162.
- Miotto S.L., 1990. *Aspectos geológico-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para a implantação de cemitérios.* Rio Claro-SP, 116 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Moldenhawer K., 1963. *Przydatność w archeologii metody fosforanowej i fluorowej oraz innych metod.* Wiadomości Archeologiczne. 29, 4, 323–327.
- Moore J.W., Ramamoorthy S., 1984. *Heavy metals in natural waters. Applied monitoring and impact assessment.* New York Inc. Springer-Verlag. 1–268.
- Morgan O., 2004. *Infectious disease risks from dead bodies following natural disasters.* Rev Panam. Salud. Publica. [online]. May 2004, vol.15, no.5 [cited 12 March 2005]. 307–312.
- Murphy J., Riley J.P., 1962. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.* Analytica chimica acta. 27, 31–36.
- Nelson D.A., Saucer N.J., 1984. *An evaluation of post depositional changes in the trace element content of human bone.* American antiquity. 49, 141–147.
- Nelson B.K., DeNiro M.J., Schoeninger M.J., DePaolo D.J., Hare P.E., 1986. *Effects of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen, and oxygen concentration and isotopic concentration of bone.* Geochimica et cosmochimica acta 50. 1941–1949.
- Neuman W.F., 1980. *Bone material and calcification mechanisms,* [in:] *Fundamental and clinical bone physiology* (ed. M. R. Urist). 83–107. J. B. Lippincott.
- Nicholson G., Fynn J., Coroneos N., 1997. *Cadmium poisoning in a crematorium worker.* Anaesthesia and intensive care. 25. 163–165.

- Nicol R., 1996. *Cemetery heritage and reuse*. Conf. Paps & Repts ACCA and Intl. Cremation Federation Intl. Conf., Adelaide, 13–17 October. 77–87.
- Norrish K., Rosser H., 1983. *Mineral phosphate*, [in:] *Soils: an Australian viewpoint*. Division of soils. CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press: London). 335–361.
- Ortiz A., Barba L., 1993. *Capítulo 13: la química en los estudios de áreas de actividad*, [in:] Manzanilla L., (ed.) *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, vol. 2. Mexico City: Universidad Nacional Autónoma de México. 617–660.
- Pacheco A., 1986. *Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento*. Revista do Sistema de Planejamento e da Administração Metropolitana. 4, 17. 25–37.
- Pacheco A., 2000. *Cemitérios e meio ambiente*. São Paulo. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1–102.
- Pacheco A., Batello E., 2000. *A influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios*. Revista engenharia e arquitetura. 2, 1, 32–39.
- Pacheco A., Matos B.A., 2000. *Cemitérios e meio ambiente*. Revista tecnologias do ambiente. Lisboa, Portugal. 7. 33, 13–15.
- Pacheco A., Mendes J.M.B., 1990. *Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas*. Saneamento ambiental. 6, 31–33.
- Pacheco A., Mendes J.M.B., Martins T., Hassuda S., Kimmelman A.A., 1991. *Cemeteries: a potential risk to groundwater*. Water Science and Technology. A journal of the international association of water pollution research. 24, 11, 97–104.
- Pacheco A., Silva L.M., Mendes J.M.B., Matos B.A., 1999. *Resíduos de cemitérios e saúde pública*. Revista limpeza pública. 52, 25–27.
- Panak H., Wojnowska T., 1981. *Phosphorus migration deep into sandy and loamy soil columns at an intensive percolation with water*. Roczniki Gleboznawcze. 32, 3, 67–73.
- Parker R.B., Toots H., 1980. *Trace elements in bones as paleobiological indicators*, [in:] (Behrensmeyer A.K., Hill A.P. (ed.), *Fossils in the Making*. University of Chicago Press, Chicago. 197–207.
- Parnell J.J., Terry R.E., Golden Ch., 2001. *Using in field phosphate testing to rapidly identify middens at Piedras Negras, Guatemala*. Geoaerchology. 16, 8, 855–873.
- Parnell J.J., Terry R.E., Nelson Z., 2002. *Soil chemical analysis applied as an interpretive tool for ancient human activities in Piedras Negras, Guatemala*. Journal of Archaeological Science. 29, 379–404.
- Parnell J.J., Terry R.E., Sheets P., 2002. *Soil chemical analysis of ancient activities in Ceren, El Salvador: a case study of a rapidly abandoned site*. Latin American Antiquity. 13, 3, 331–342.
- Pate F.D., Brown K.A., 1985. *The stability of bone strontium in the geochemical environment*. Journal of Human Evolution. 14, 483–491.
- Pate F.D., Huttonh J.T., 1988. *The use of soil chemistry data to address post-mortem diagenesis in bone mineral*. Journal of Archeological Science. 15, 729–739.
- Patrick W.H., Jr., 1964. *Extractable iron and phosphorus in a submerged soil at controlled redox potentials*. Trans. 8th Inter. Congr. Soil Sci., Bucharest, Romania. 4, 605–609.
- Pawlikowski M., 1987. *Mineralizacja organizmu człowieka żyjącego: mineralogia człowieka*. Prace Mineralogiczne 79. Wyd. 1. Wrocław, Zakład Narodowy im. Ossolińskich. 1–43.

- Pawlikowski M., 1993. *Kryształy w organizmie człowieka*. Secesja (Atlas). Kraków. 1–132.
- Pawlikowski M., 1995. *Sekrety mineralizacji tkanek*. Wyd. IGSMiE PAN. Kraków. 1–97.
- Pawlikowski M., Niedźwiedzki T., 2002. *Mineralogia kości*. Polska Akademia Nauk. Oddział w Krakowie. 1–111.
- Pawlikowski M., Andrzejewska A., Borowska-Strugińska B., Żądzińska E., Szperkowska K., Janowska A., 2007. *Mineralogiczne zmiany w strukturze kości na przykładzie badań wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Dobrzyniu*, [w:] Dzieduszycki W., Wrzesiński J. (red.), *Środowisko pośmiertne człowieka*. Funerallia Lednickie Spotkanie 9. Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich. Oddział w Poznaniu. Poznań. 303–312.
- Pecci A., Felici C., Campana S., 2005. *Chemical analysis of floor samples as a tool for archaeological prospection*. Comparison with the magnetic survey data and the archaeological excavation data: the case study of Pava (Italy), in proceedings of the 6th International Conference on Archaeological Prospection, (Roma 14–17 settembre 2005), Institute of Technologies Applied to Cultural Heritage, Roma. 268–271.
- Pequeno Marinho A.M.C., 1998. *Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios*. Estudo de caso do Cemitério São João Batista. Fortaleza, Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. 1–88.
- Pedley S., Guy H., 1996. *The public health implications of microbiological contamination of groundwater*. Quarterly Journal of Engineering Geology. 30, 179–188.
- Pedley S., Howard G., 1997. *The public health implications of microbiological contamination of groundwater*. Quarterly Journal of Engineering Geology. 30, 179–188.
- Persson K., 1997. *Soil phosphate analysis: a new technique for measurement in the field using a test strip*. Archaeometry. 39, 2, 441–443.
- Posner A.S., 1985. *The mineral of bone*. Clinica Orthopedics. 200. 87–99.
- Powell K.L., Tellam J.H., Barrett M.H., Pedley S., Stagg K., Greswell R.B., Rivett M.O., 2000. *National groundwater and contaminated land centre project NC/99/40*. Optimisation of a new method for detection of viruses in groundwater. Report to the Environment Agency, Bristol.
- Price T.D. (ed.), 1989. *The chemistry of prehistoric human bone*. Cambridge: Cambridge University Press. UK. (Haas, Jonathan School of American Research Advanced Seminar Series). (Hardcover) 1–315.
- Probert M.E., 1983. *The sorption of phosphate by soils*, [in:] *Soils: an Australian viewpoint. Division of soils*. CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press: London). 427–435.
- Proudfoot B., 1976. *The analysis and interpretation of soil phosphorus in archaeological contexts*, [in:] Davidson D.A., Shackley M.L. (ed.), *Geoarchaeology, earth science and the past*. Duckworth. London. 93–113.
- Provan D.M., 1971. *Soil phosphate analysis as a tool in archaeology*. Norwegian Archeological Review. 4, 1, 37–50.
- Provan D.M.J., 1973. *The soils of an iron age farm site*. Norwegian Archeological Review. 6, 30–41.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa. 1–463.
- Rajewski Z., 1959/1960. *O metodyce badań terenowych zespołów osadniczych*. Wiadomości Archeologiczne. T. XXVI/3–4, 91–98.

- Reddy K.R., Khaleel R., Overcash M.R., 1981. *Behaviour and transport of microbial pathogens and indicator organism in soil treated with organic wastes*. Journal of Environmental Quality. 10, 3, 255–267.
- Rhoads J.D., 1982. *Soluble salts*, [in:] Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R., (ed.), *Methods of soil analysis part 2: chemical and microbiological properties*. Madison. Wisconsin. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. 167–179. *Rocznik Statystyczny Krakowa*, 2005. Urząd Statystyczny w Krakowie. Rok XVI. 1–361.
- Rodrigues D., Matos B.A., Pacheco A., Pellizari V., 2000. *Transport and retention of coliphage T4 in soil columns from a cemetery in São Paulo, Brazil*, [in:] *World water congress of the international water association 1*. Paris, 2000. Conference Preprint, Paris, IWA, Book 7. 154–155.
- Rodrigues L.F.S.P.V., 2002. *Avaliação dos riscos de contaminação das águas Subterrâneas por cemitérios – Casos de estudo*. Porto. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Portugal). 1–134.
- Rodrigues L., Pacheco A., 2003. *Groundwater contamination from cemeteries cases of study*. International Symposium Environment 2010 Situation and Perspectives for the European Union. Porto 6–10 May 2003, Portugal.
- Rodriguez W.C., Bass W.M., 1985. *Decomposition of buried bodies and methods that aid in their location*. Journal Forensic Sciences. 30, 3, 836–852.
- Rogers R.J., Brown F.H., 1979. *Authigenic mitridatite from the Shungura Formation, southwestern Ethiopia*. American Mineralogist. 64, 169–171.
- Roy A.B., Ellis A.J., White G.F., Harwood J.L., 2000. *Microbial degradation of the plant sulpholipid*. Biochemical Society Transactions. 28, 781–783.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 21.08.1997 (wprowadzone w życie 10.09.1998.). *Wykaz substancji stanowiących trucizny grupy A*.
- Russel E.J., 1957. *The world of the soil*. London. 1–237.
- Ruszkowska M., Sykut S., Motowicka-Terelak T., 1994. *The effect of Ca, Mg and K leaching from soils as of effect by soil kind and their utilization manner*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 413, 263–267.
- Sample E.C., Soper R.J., Racz G.J., 1980. *Reactions of phosphate fertilizers in soils*, [in:] Khasawneh E.F., Sample E.C., Kamprath E.J., (eds). *The role of phosphorus in agriculture*. WI: American society of agronomy, Madison WI, 263–310.
- Sanchez A., Canabate M.L., Lizcano R., 1996. *Phosphorus analysis at archaeological sites: an optimization of the method and interpretation of the results*. Archaeometry. 38, 151–164.
- Sandor J.A., 1992. *Long-term effects of prehistoric agriculture on soils: examples from New Mexico and Peru*, [in:] Holliday V.T. (ed.), *Soils in archaeology*. Chapter 8. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 217–246.
- Santarsiero A., Minelli L., Cutilli D., Cappiello G., 2000. *Hygienic aspects related to burial*. Microchemical journal. 67, 135–139.
- Saunders N.J., 2000. *Bodies of metal, shells of memory. “Trench art”, and the Great War re-cycled*. Journal of material culture. 15, 44–71.
- Saunders N.J., 2002. *Excavating memories: archaeology and the Great War, 1914–2001*. Antiquity. 76, 291, 101–108.
- Sarris A., Galaty M.L., Yerkes R.W., Parkinson W.A., Gyucha A., Billingsley D.M., Tate R., 2004. *Geophysical prospection and soil chemistry at the Early Copper Age settlement of Vészto-Bikeri, southeastern Hungary*. Journal of archaeological science. 31, 927–939.

- Schlezinger D.R., Howes B.L., 2000. *Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistoric human occupation*. Journal of archaeological science. 27, 479–492.
- Schlezinger D.R., Howes B.L., 2000. *Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistoric human occupation*. Journal of archaeological science. 27, 479–492.
- Schraps W.G., 1972. *Die bedeutung der filtereigenschaften des bodens für die anlage von Friedhofen*. Mitteilungen Deutsche Bodenkundl. Gesellschaft, 16, 225–229, [in:] Bouwer H., 1978.
- Schuldenrein J., 1995. *Geochemistry, phosphate fractionation, and the detection of activity areas at prehistoric north American sites*, [in:] Pedological perspectives in archeological research, [in:] Collins M.E., Carter B.J., Gladfelter B.G., Southard R.J., (ed.), *Soil science society of America special publication 44*. Madison. Wisconsin. 107–132.
- Schutkowski H., Herrmann B., Wiedemann F., Bocherens H., Grupe G., 1999. *Diet, status and decomposition at Weingarten: trace element and isotope analyses on early mediaeval skeletal materials*. Journal of archaeological science. 26, 675–685.
- Scudder S.J., 2000. *Soils investigations at Paraquita Bay*, [in:] Drewett P.L., (ed.), *Historic settlements in the Caribbean*, 118–121. Archetype publications for the Barbados Museum and Historical Society, St. Michael. Barbados.
- Scudder S. J., 2001. *Soil resources and anthropogenic changes at the Tibes Site, Ponce, Puerto Rico*. Caribbean journal of science. 37, 1–2, 30–40.
<http://www.ath.aegean.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=4303>
- Scudder S.J., Foss J.E., Collins M.E., 1996. *Soil science and archaeology*, [in:] Sparks D.L. (ed.), *Advances in agronomy*. Chapter 1. Academic Press, New York. 57, 1–76.
- Selket K., 2003. *Teza pracy PhD* www. <http://www.vuw.ac.nz/geo/postgrads/selket.html>
SEPA (Scottish Environment Protection Agency) www.sepa.org.uk
- Sillen A., 1989. *Diagenesis of the inorganic phase of cortical bone*, [in:] Price T.D., (ed.), *The chemistry of prehistoric human bone*. School of American Research Advanced Seminar Series. Cambridge University Press, Cambridge. 211–299.
- Silva L.M., 1998. *Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres*, [in:] *Congresso Latino Americano de hidrologia subterranea*, 4., Montevideo, 1998. Memorias, Montevideo, ALHSUD, v. 2, 667–681.
- Simonsen P., 1968. *Fosfatanalyser fra Varangerbopladserne*. Tromso Museums Skrifter. 8, 6, 23–36, za Brzeziński W., Dulnicz M., Kobyliński Z., 1983.
- Simpson I.A., Dockrill S.J., Bull I.D., Evershed R.P., 1998. *Early anthropogenic soil formation at tofts ness, sanday, Orkney*. Journal of Archaeological Science. 25, 729–746.
- Sjöberg A., 1976. *Phosphate analysis of anthropic soils*. Journal of Field Archaeology. 3, 447–454.
- Smith S.D., 1994. *Archaeological perspectives on the Civil War: The challenge to achieve relevance*, [in:] Geier C.R.Jr., Winter S.E. (eds.), *Look to the earth: historical archaeology and the American Civil War*. Knoxville. 3–20.
- Socha T., Andrzejewski M., Świerkowska E., 1990. *Zastosowanie oznaczania fosforanów w badaniach archeologicznych*. Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu. Chemia. 526, 198–203.
- Sokołowski T., Pazdur A., Wacnik A., Madeja J., Woronko B., 2008. *Profil osadów stożka Prądnika w pobliżu Dworca PKP w Krakowie*. T. IV Prac Komisji Paleogeografii Czwartorzędu Polskiej Akademii Umiejętności (maszynopis, w druku).

- Solecki R.S., 1951. *Notes on soil analysis and archaeology*. American Antiquity. 16, 254–256.
- Spongberg A.L., Becks P.M., 2000a. *Inorganic soil contamination from cemetery leachate*. Water, Air, and Soil Pollution. 117, 313–327.
- Spongberg A.L., Becks P.M., 2000b. *Organic contamination in soils associated with cemeteries*. Journal of Soil Contamination. 9, 2, 87–97.
- Starkel L., 1978. *Typy środowiska wschodniej części Karpat zewnętrznych i Kotliny Sandomierskiej w świetle Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej*, [w:] *Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej*. Prace IGiPZ PAN 125. 51–62.
- Starkel L., 2001. *Historia doliny Wisły (od ostatniego zlodowacenia do dziś) = Evolution of the Vistula river valley since the last glaciation till present*. Monografie IGiPZ PAN, Warszawa, 2, 1–264.
- Stasiuk A. 2001. *Zima*. Wydawnictwo Czarne, Wołowiec. 1–56.
- Stos-Gale Z., 1992. *Isotope archaeology: reading the past in metals, minerals, and bone*. Endeavour. New series 16, 2, 85–90.
- Stenberger (ed.), *Valhagan II, Munksgaard*, Copenhagen, 1053–1064.
- Stephan C., 1997. *The roses of Picardy, the poppies of the Somme: an anthology of the Great War, or how the war made landscapes*. Journal of Garden History. 17, 3, 214–217.
- Stępniewska Z., 1988. *Właściwości oksydo redukcyjne gleb mineralnych Polski*. Problemy Agrofizyczne. 56, 1–104.
- Strickland T.C., Fitzgerald J.W., 1983. *Mineralization of sulphur in sulphoquinovose by forest soils*. Soil Biology Biochemistry. 15, 347–349.
- Strickland T.C., Fitzgerald J.W., Swank W.T., 1984. *Mobilization of recently formed forest soil organic sulfur*. Canadian Journal of Forest Research. 14, 63–67.
- Stuart B.H., Forbes S.L., Dent B.B., Hodgson G., 2000. *Studies of adipocere using diffuse reflectance infrared spectroscopy*. Vibrational Spectroscopy. 24, 233–242.
- Stumm W., Morgan J.J., 1996. *Aquatic chemistry. Chemical equilibria and rates in natural waters. 3rd ed.* Environmental Science and Technology. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, Inc. New York. 1–1022.
- Szymkiewicz-Dąbrowska D., 1996. *Przemiany trudno rozpuszczalnych fosforanów glinu, żelaza, miedzi, manganu i cynku w wodnych roztworach wybranych związków nieorganicznych*. Acta Acad. Agricult. Tech. Olsztyn 516. Agricultura 62. Supplementum A. Akad. Rolniczo-Techniczna w Olsztynie. 1–81.
- Takeda N., Takaoka M., Fujiwara T., Takeyama H., Eguchi S., 2000. *PCDDs/DFs emissions from crematories in Japan*. Chemosphere. 40, 575–586.
- Takeda N., Takaoka M., Fujiwara T., Takeyama H., Eguchi S., 2001. *Measures to prevent emissions of PCDDs/DFS and co-planar PCBs from crematories in Japan*. Chemosphere. 43, 763–771.
- Taylor R.M., McKenzie R.M., Fordham A.W., Gillman G.P., 1983. *Oxide minerals*, [in:] *Soils: an Australian viewpoint*. Division of soils. CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press: London). 309–334.
- Terry R.E., Nelson S.D., Carr J., Parnell J., Hardin P.J., Jackson M.W., Houston S.D., 2000. *Quantitative phosphorus measurement: a field test procedure for archaeological site analysis at Piedras Negras, Guatemala*. Journal of Archaeological Science. 27, 449–462.

- Texas Commission on alcohol and drug abuse*, 2000.
<http://www.streetdrugs.org/wetstick.htm>
- Thomas G.W., 1982. *Exchangeable cations*, [in:] Page A.L. (ed.), *Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties*. Madison. Wisconsin. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. 159–165.
- Tiller K.G., 1983. *Micronutrients*, [in:] *Soils: an Australian viewpoint. Division of soils*. CSIRO (CSIRO: Melbourne/Academic Press: London). 365–387.
- Trąbka J., 2003. *Thermal changes of certain heavily burnt artifacts from Chmielów Piaszkowy necropolis (The holy cress mountains)*. Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne Mineralogical Society of Poland-Special Papers. 22, 22, 225–227.
- Trick J.K, Williams G.M., Noy D.J., Moore Y., Reeder S., 1999. *Pollution potential of cemeteries: impact of the 19th century Carter Gate Cemetery, Nottingham*. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, United Kingdom (Technical Report WE/99/4, Environment Agency Technical Report NC/99/24). 1–34.
- 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, IR/01/104. 29. 1–26
- Trick J., 2001b. *Wywiad przeprowadzony przez Davida Gregory'ego dla BBC 10 X 2001 r. z uczonym* British Geological Survey Julian Trick.
- Triffitt J.T., 1980. *The organic matrix of bone tissue*, [in:] Urist M.R. (ed.), *Fundamental and Clinical bone Physiology*. Philadelphia: Lippincott J.B. 45–82.
- Tucker B.M., 1983. *Basic exchangeable cations*, [in:] *Soils: an Australian viewpoint. Division of Soils*. CSIRO. (CSIRO: Melbourne/Academic Press, London). 401–416.
- Tumagole K.B., 2006. *Geochemical survey of underground water pollution at Ditengeng northern cemetery within city of Tshwane municipality*. Mini-dissertation submitted in partial fulfilment of the requirement for the degree Master of Science in Environmental Management in the Faculty of Science at the University of Johannesburg. Supervisor: Professor J.T. Harmse. <http://etd.rau.ac.za/theses/available/etd-03222006-131055/>
- 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.
- Waldron H.A., 1983. *On the post-mortem accumulation of lead by skeletal tissues*. *Journal of Archeological Science*. 10, 35–40.
- Waldron H.A., Khera A., Walker G., Wibberley G., Green C.J.S., 1979. *Lead concentrations in bones and soil*. *Journal of Archeological Science*. 6, 295–298.
- Ward R.S., Harrison I., Leader R.U., Williams A.T., 1997. *Fluorescent polystyrene microspheres as tracers of colloidal and particulate materials: examples of their use and developments in analytical technique*. *Tracer Hydrology 97*, A. Kranjc (ed.). Published by A.A. Balkema – Rotterdam, Netherlands. 99–103 (za Trick 1999).
- Wells E.C., 2004a. *Investigating activity patterns in prehispanic plazas: weak-acid extraction ICP-AES analysis of anthrosols of classic period el coyote, northwestern Honduras*. *Archaeometry*. 46, 1, 67–84.
- Wells E.C., 2004b. *A brief history of archaeological soil chemistry*. Commission on the History, Philosophy and Sociology of Soil Science International Union of Soil Sciences. University of South Florida, USA. February. HPSSS Newsletter. www.iuss.org/Newsletter

- West J.M., Pedley S., Baker L., Barrott L., Morris B., Storey A., Ward R.S., Barrett M., 1998. *A review of the impact of microbiological contaminants in groundwater*. UK Environment Agency. R and D Technical Report P139.
- White E.M., 1978. *Cautionary note on soil phosphate data interpretation for archaeology*. *American Antiquity*. 43, 3, 507–508.
- White E.M., Hannus L.A., 1983. *Chemical weathering of bone in archaeological soils*. *American Antiquity*. 48, 2, 316–322.
- Wiśniewski A., Żurowski W., 2001. *Amunicja i panczerze*. Politechnika Radomska w Radomiu. Wyd. 2 poprawione. 1–424.
- Woods W.I., 1977. *The quantitative analysis of soil phosphates*. *American Antiquity*. 42, 2, 248–252.
- World Development Report 1992. *Development and the environment* (World Development Report). A World Bank Publication (May 1, 1992). 1–320.
- World Health Organization 2004. *Guidelines for drinking – water quality*. Third Edition. Geneva. 1–540. <http://resourcesaver.org/ewebeditpro/items/O122F7981.pdf>
- Young C.P., Blackmore K.M., Leavens A., Reynolds P.J., 1999. *Pollution potential of cemeteries*. Draft Guidance. Environment Agency R&D Dissemination Centre, United Kingdom. Project Record P2/024/1 for the Environment Agency. 105 (R&D Technical Report P223).
- Van Haaren F.W.J., 1951. *Cemeteries as sources of groundwater contamination*. *American Institute of Chemical Engineering*. *Water*. 35, 16, 167–172.
- Vass A.A., 2001. *Beyond the grave – understanding human decomposition*. *Microbiology Today*, 28. 190–192. www.socgenmicrobiol.org.uk/QUA/110108.
- 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, 1236–1253.
- Vass A.A., Barshick S.A., Sega G., Caton J., Skeen J.T., Love J.C., Synsteliën J.A., 2002. *Decomposition chemistry of human remains: a new methodology for determining the postmortem interval*. *Journal Forensic Sciences*. 47, 3, 542–553.
- Vince A., 1999. *Ceramic petrology*. <http://www.postex.demon.co.uk/icps.htm#TOP>
- Zeliaś Al., 2000. *Taksonomiczna analiza przestrzennego zróżnicowania poziomu życia w Polsce w ujęciu dynamicznym*. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie. 1–293.
- Zawadzki S., 1999. *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa. 1–560.
- Zbytniewski R., Kowalkowski T., Buszewski B., 2003. *Zastosowanie metod chemometrycznych w badaniu oddziaływań jonów metali w środowisku glebowym*, [w:] J. Namieśnik, W. Chrzanowski, P. Szpinek, *Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiska*, WIB, Gdańsk. 631–653.
- Żychowski J., Kolber M., Górski P., 1996. Poster: „Stan fizyczno-chemiczny wód podziemnych w pobliżu cmentarzy”. Ogólnopolskie Sympozjum „Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji”, (materiały konferencyjne), Kraków, 26–27. 09. 1996. 165–166.
- Żychowski J., Lach J., Górski P., Kolber M., 1997. Referat: „Wstępne wyniki badań właściwości fizyczno-chemicznych wód gruntowych nekropolii Polski południowo-wschodniej”, X Jubileuszowa Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych, (materiały konferencyjne), Łódź, 24–26 IX 1997. 66–67.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 1999. Referat: „Jakość chemiczna wody podziemnej w otoczeniu cmentarzy, na wybranych przykładach”, XI Ogólnopolska Konferencja

- Naukowa „Chemizm opadów atmosferycznych wód powierzchniowych i podziemnych”, (materiały konferencyjne), Łódź, 17–19 XI 1999 r. 81–84.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2000a. *Właściwości fizyczno-chemiczne wód podziemnych nekropolii Polski południowo-wschodniej*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. I., red. Burchard J., wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 249–261.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2000b. *Przestrzenna zmienność chemizmu wód podziemnych w otoczeniu nekropolii w Polsce południowej*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. I., red. J. Burchard, wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 261–269.
- Żychowski J., 2000c. *Wpływ masowego grobu zlokalizowanego w utworach aluwialnych na jakość środowiska przyrodniczego*, [w:] *Środowisko przyrodnicze i gospodarka Dolnego Śląska u progu trzeciego tysiąclecia*. 49 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Szklarska Poręba, 20–24 IX 2000 r., Wrocław. 161–167.
- Żychowski J., 2000d. *Wpływ lokalnego, holocenijskiego czynnika na jakość utworów terasy plejstoceńskiej*, [w:] *Transformacja dolin plejstoceńskich w holocenie. Strefowość i piętrowość zjawiska*. (13–14 kwietnia 2000 r.), Sympozjum PAN, Komitet Badań Czwartorzędu, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, UŚ Wydział Nauk o Ziemi. 127–130.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2001a. *Zróżnicowanie zawartości lizyny i kwasu glutaminowego w wodach podziemnych na wybranych cmentarzach w Polsce południowo-wschodniej*. XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych”, Łódź, 15–16 XI 2001 r. (materiały konferencyjne). 55–57.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2001b. *Zróżnicowanie zawartości lizyny i kwasu glutaminowego w wodach podziemnych na wybranych cmentarzach w Polsce południowo-wschodniej*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. II. red. J. Burchard, wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 241–251.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2003. *Występowanie aminokwasów: glicyny, leucyny i izoleucyny w wodach podziemnych na cmentarzach zlokalizowanych w różnych środowiskach*. Przegląd Geologiczny. T. 51, nr 11, 962–963.
- Żychowski J., 2006. *Wpływ masowego grobu na zawartość wybranych związków organicznych w wodzie gruntowej*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. IV. red. M. Ziulkiewicz, wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 349–358.
- Żychowski J., Pawlikowski M., Lach J., 2006a. *Produkty dekompozycji szczątków organicznych na przykładzie masowego grobu w Niepołomicach*. AGH. *Kwartalnik Geologia*. 32, 2, 203–225.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2006b. *Zróżnicowanie zawartości glicyny, leucyny i izoleucyny w wodach podziemnych na cmentarzach zlokalizowanych w różnych podłożach*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. III. red. J. Burchard, wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 281–290.
- Żychowski J., Lach J., Kolber M., 2006c. *Wpływ podłoża z masowym pochówkiem z II wojny światowej na skład chemiczny wód gruntowych*, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, v. IV. red. M. Ziulkiewicz, wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 359–366.

Spis tabel

- Tabela 1. Potencjalne zagrożenie dla środowiska ze strony cmentarzy (Holmes i inni 1993) 10
- Tabela 2. Ocena użyteczności różnych metod, stosowanych w archeologii, do badań różnych obiektów: x – do przyjęcia, xx – dobra, xxx – bardzo dobra 12
- Tabela 3. Uwzględnione cechy 26 wyróżnionych właściwości masowych grobów i ich środowisk przyrodniczych 22
- Tabela 4. Rodzaje grobów uwzględnione w badaniach zawartości związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem 30
- Tabela 5. Lokalizacja fizyczno-geograficzna pochówków, użytkowanie otoczenia masowych grobów oraz forma terenu i rodzaj podłoża, do którego złożono pochówki na wybranych masowych grobach 33
- Tabela 6. Zestawienie wybranych miejscowości wraz z położeniem i charakterystykami studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody podziemnej na cmentarzach lub w ich pobliżu, w celu porównania zawartości wybranych jonów 35
- Tabela 7. Okres pochówku, położenie i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów z różnych miejsc pochówków lub z ich sąsiedztwa (obok) 36
- Tabela 8. Położenie, data i miejsce pobrania próbki oraz charakterystyka studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody w podobnych warunkach pogodowych, w celu porównania zawartości wybranych jonów w miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok) z miejscem porównawczym (por.) 37
- Tabela 9. Położenie, okres pochówku i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów w miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok) z miejscem porównawczym (por.) 39
- Tabela 10. Położenie i charakterystyka studni (piezometrów) w wybranych miejscowościach, z których pobierano w różnym czasie z tego samego miejsca próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów 40
- Tabela 11. Położenie, okres pochówku i charakterystyka podłoża studni (piezometrów), z których pobierano próbki wody, w celu porównania zawartości wybranych jonów, w tych samych miejscach pochówków lub w ich pobliżu (obok), w różnym czasie 42
- Tabela 12. Grupa I 30 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 43
- Tabela 13. Grupa II 39 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 43
- Tabela 14. Grupa III 27 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 44
- Tabela 15. Grupa IV 51 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 44
- Tabela 16. Grupa V 36 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 45

- Tabela 17. Grupa VI 45 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 46
- Tabela 18. Grupa VII 12 masowych grobów z okresu I i II wojny światowej, o podobnych charakterystykach grobów i ich środowisk 47
- Tabela 19. Odległości wiązań pomiędzy 7 grupami wyróżnionymi w grupowaniu metodą k-średnich 47
- Tabela 20. Liczebności dla 5 cech 26 właściwości środowisk 245 grobów 49
- Tabela 21. Grupowe zestawienie masowych grobów, na podstawie wielkości wskaźnika rH, pomierzonego w podłożu ponad pochówkiem 51
- Tabela 22. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartościami P a koncentracją pozostałych badanych pierwiastków ponad pochówkami dla różnej liczby grobów 70
- Tabela 23. Współczynniki korelacji dla próby 86 grobów pomiędzy różnicami w zawartościach P a tego samego rodzaju różnicami dla pozostałych pierwiastków 72
- Tabela 24. Ranking 81 pochówków z 245 badanych, ustalony na podstawie sumy wskaźników względnej zawartości w grobie wybranych pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd 74
- Tabela 25. Ranking 86 grobów ustalony na podstawie sumy wskaźników różnic pomiędzy zawartościami ośmiu pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na, Cd w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych 78
- Tabela 26. Wybrane parametry statystyczne koncentracji pierwiastków w 245 pochówkach 85
- Tabela 27. Wybrane parametry statystyczne różnic w zawartościach, obliczonych pomiędzy zawartością pierwiastków w 86 pochówkach a ich koncentracją w miejscach porównawczych 86
- Tabela 28. Wskaźniki zmienności zawartości pierwiastków, obliczone jako stosunek maksymalnych zawartości danego pierwiastka do jego koncentracji w grobie, zajmującym w malejącym rankingu pozycję 10, 50 i 100 89
- Tabela 29. Typy zmienności badanych różnic w zawartościach, które obliczono pomiędzy zawartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, ustalone na podstawie zmienności tych różnic dla grobów z pozycji 1, 10 i 50 malejących rankingów dla poszczególnych pierwiastków 90
- Tabela 31. Miejscowości z pochówkami zajmującymi najwyższą pozycję w rankingu ustalonym dla 86 grobów, według średniej arytmetycznej pozycji grobów, obliczonej na podstawie pozycji grobów w rankingach dla badanych różnic, w wyróżnionych grupach pierwiastków 93
- Tabela 32. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al, Pb, Ni” i dotyczące 245 grobów 95
- Tabela 33. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości, obliczone dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn” i dotyczące 245 grobów 95
- Tabela 34. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cu, Zn, Al, Pb, Ni” i dotyczące 86 grobów*² 98
- Tabela 35. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „S, Fe, Mg, Si, Mn” i dotyczące 86 grobów*² 99

- Tabela 36. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cr, Cd” i dotyczące 245 grobów 100
- Tabela 37. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Cr, Cd” i dotyczące 86 grobów*² 101
- Tabela 38. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „N, P, K” i dotyczące 245 grobów 102
- Tabela 39. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „N, P, K i dotyczące 86 grobów*² 102
- Tabela 40. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Na, Cl, Ca” i dotyczące 245 grobów 103
- Tabela 41. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „Na, Cl, Ca” i dotyczące 86 grobów* 104
- Tabela 42. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „F, I” i dotyczące 245 grobów 105
- Tabela 43. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach wskaźnika różnic względnej zawartości obliczone dla grupy pierwiastków „F, I” i dotyczące 86 grobów*² 106
- Tabela 44. Zestawione w grupy pochówki o najwyższych wartościach sumy wskaźników względnej zawartości obliczone dla badanych grup pierwiastków i dotyczące 245 grobów 107
- Tabela 45. Zestawione w grupy pochówki według wielkości sumy wskaźników różnic względnej zawartości obliczone dla wszystkich badanych grup pierwiastków i dotyczące 86 grobów*² 109
- Tabela 46. Współczynniki korelacji pomiędzy wyróżnionymi grupami pierwiastków, dla różnej liczby grobów o najwyższych sumach wskaźników względnej zawartości 112
- Tabela 47. Współczynniki korelacji pomiędzy wskaźnikami różnic względnej zawartości obliczonymi dla poszczególnych grup pierwiastków 114
- Tabela 48. Wyróżnione właściwości środowiska za pomocą największego wskaźnika zmienności w każdej z grup, uzyskanych w przeprowadzonych grupowaniach metodą Warda dla siedmiu różnych miar odległości 117
- Tabela 49. Podstawowe parametry statystyczne 26 właściwości środowiska i grobów dla 240 badanych pochówków 118
- Tabela 50. Badane 240 pochówków pogrupowane w dziewięć grup za pomocą metody k-średnich dla pięciu wyróżnionych właściwości środowiska (3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 17 – utwory podłoża, 20 – wilgotność miejsca poboru próby, 25 – użytkowanie otoczenia grobu) 121
- Tabela 51. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy IX, o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej 122
- Tabela 52. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy VI o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej 123

- Tabela 53. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych masowych grobów z grupy I o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej 124
- Tabela 54. Charakterystyczne właściwości i cechy środowiska wybranych pochówków z grupy IV o dużej koncentracji pierwiastków w warstwie przypowierzchniowej 125
- Tabela 55. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla 26 właściwości 86 grobów i ich środowisk 128
- Tabela 56. Badaną próbą składającą się z 86 pochówków pogrupowano w dziewięć grup, za pomocą metody k-średnich dla sześciu wyróżnionych właściwości grobów i ich środowisk (3 – powierzchnia grobu, 9 – nachylenie terenu położonego wyżej, 12 – ekspozycja grobu, 17 – utwory podłoża, 23 – przeważające gatunki drzew, 25 – użytkowanie otoczenia 130
- Tabela 57. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych dla próby 86 grobów metodą k-średnich dla sześciu właściwości (3, 9, 12, 17, 23, 25) oraz dla populacji 240 grobów przy uwzględnieniu pięciu właściwości 131
- Tabela 58. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych metodą k-średnich dla 86 grobów na podstawie pięciu właściwości (3, 9, 17, 20, 25) oraz dla 240 grobów przy uwzględnieniu tych samych pięciu właściwości 133
- Tabela 59. Podstawowe parametry statystyczne zawartości 20 badanych pierwiastków w 240 pochówkach 136
- Tabela 60. Wyodrębnione grupy pierwiastków, w zależności od przyjęcia różnych wartości odległości wiązań, które otrzymano w wyniku grupowania przeprowadzonego metodą Warda, według różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków ponad 86 pochówkami a ich tłem 138
- Tabela 61. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków ponad 86 pochówkami a ich tłem geochemicznym 138
- Tabela 62. Podstawowe parametry statystyczne dla różnic pomiędzy zawartościami 20 pierwiastków stwierdzonych ponad 86 pochówkami, a ich koncentracją w miejscach porównawczych, gdzie wartości ujemne zastąpiono stałą liczbą 0,001 139
- Tabela 63. Zestawione w dziewięć grup, za pomocą grupowania metodą k-średnich, 240 badanych pochówków dla pięciu charakterystycznych pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn, z wykorzystaniem również grupowania metodą Warda z miarą odległości potęgowej, dla p-2, r- 141
- Tabela 64. Odległości euklidesowe pod oraz kwadrat tych odległości nad przekątną dla dziewięciu skupień otrzymanych z grupowania przeprowadzonego metodą Warda, dla 240 pochówków, przy uwzględnieniu pięciu wyselekcjonowanych pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn 142
- Tabela 65. Porównanie skupień uzyskanych w dwóch grupowaniach, opartych na tych samych pierwiastkach: Cr, Cu, P, S i Zn, przeprowadzonych metodą k-średnich dla 240 oraz 86 pochówków 145
- Tabela 66. Porównanie dwóch grupowań przeprowadzonych metodą k-średnich dla 86 pochówków, na podstawie pięciu: P, Cu, S, Cd i Zn oraz sześciu pierwiastków: P, Cu, S, Cd, K i Mg 146
- Tabela 67. Liczebności grobów, które pokrywają się w poszczególnych grupach obydwu grupowań, przeprowadzonych dla właściwości środowiska i grobów oraz zawartości pierwiastków 148

- Tabela 68. Tablica kontyngencji 4 x 4 zestawiająca wyniki obydwu grupowań grobów dla właściwości środowiska i grobów oraz zawartości pierwiastków, które zmodyfikowano poprzez połączenie sąsiednich grup 149
- Tabela 69. Charakterystyczne cechy osadów ze szczególnym uwzględnieniem ich petrografii w miejscach, gdzie zlokalizowane są pochówki wybranych masowych grobów 173
- Tabela 70. Formy występowania minerałów ilastych, związków żelaza oraz fosforu w osadach, w których zlokalizowano wybrane masowe groby 175
- Tabela 71. Dominujące pierwiastki i stopień zachowania tkanek ludzkich oraz organicznych w osadach, w których zlokalizowane są pochówki w wybranych masowych grobach 183
- Tabela 72. Podstawowe formy fosforanów wapnia w mineralnej kości, w warunkach opadającej kwasowości i rozpuszczalności oraz wzrostu stabilności termodynamicznej (Neuman, 1980) 198
- Tabela 73. Zawartości badanych jonów w próbkach wody gruntowej pobranych na lub w pobliżu masowych grobów oraz cmentarzy w porównaniu z ich koncentracją w tle geochemicznym 206
- Tabela 74. Zawartości wybranych jonów w wodach gruntowych pod wybranymi masowymi grobami i cmentarzami oraz ich tło geochemiczne 218
- Tabela 75. Zawartości jonów fosforanowych i żelaza w wodach gruntowych i powierzchniowych pobranych na lub w pobliżu wybranych masowych grobów i cmentarzy 226
- Tabela 76. Zawartości badanych jonów w próbkach wody gruntowej pobranej w pobliżu masowych grobów lub na cmentarzach w różnym czasie 255

Spis rycin

- Ryc. 1. Położenie miejscowości, w których prowadzono badania masowych grobów 29
- Ryc. 2. Miejscowości, w których zlokalizowane są pochówki o największych sumach wskaźników względnej zawartości ośmiu wyselekcjonowanych pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd 77
- Ryc. 3. Miejscowości z pochówkami, w których występują największe różnice pomiędzy wartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, wyrażone w postaci sum wskaźników różnic zawartości dla ośmiu pierwiastków: Ca, N, F, Cl, Cr, P, Na i Cd 80
- Ryc. 4. Miejscowości, w których zlokalizowane są groby o maksymalnej sumie wskaźników względnej zawartości dla jedenastu pierwiastków: Ca, Cu, N, F, K, S, Cl, Cr, Zn, P i Na 81
- Ryc. 5. Miejscowości z pochówkami, w których występują największe różnice pomiędzy wartościami pierwiastków w grobach a ich koncentracją w miejscach porównawczych, wyrażone w postaci sum wskaźników różnic zawartości dla jedenastu pierwiastków: Ca, Cu, N, F, K, S, Cl, Cr, Zn, P i Na 87
- Ryc. 6. Grupowanie metodą Warda z miarą odległości wiązań – niezgodnością procentową – przeprowadzone dla 5 cech 26 właściwości środowiska i grobu 240 badanych pochówków 115
- Ryc. 7. Grupowanie 240 grobów przy uwzględnieniu 5 wyróżnionych właściwości środowiska metodą Warda z miarą odległości Czebyszewa, w celu ustalenia liczby grup i właściwości typowych cech w wyróżnionych grupach 120
- Ryc. 8. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda według zmiennych, czyli 26 właściwości 86 grobów i ich środowisk, z miarą odległości – niezgodnością procentową 127
- Ryc. 9. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według przypadków, czyli 86 pochówków scharakteryzowanych przez sześć właściwości grobów i ich środowisk wraz z miarą odległości Czebyszewa 129
- Ryc. 10. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda według zmiennych, czyli 20 pierwiastków stwierdzonych ponad 240 pochówkami, z miarą odległości euklidesowych 135
- Ryc. 11. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według różnic zawartości 20 pierwiastków, stwierdzonych ponad 86 pochówkami a ich koncentracją w miejscach porównawczych, z miarą odległości euklidesowych (z wartościami ujemnymi) 137
- Ryc. 12. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda, według przypadków, czyli 240 pochówków, przy zastosowaniu miary odległości potęgowej, dla p-2 i r-4 140
- Ryc. 13. Zróżnicowanie średnich arytmetycznych obliczonych dla każdego z pięciu pierwiastków: Cr, Cu, P, S i Zn w dziewięciu skupieniach, uzyskanych za pomocą grupowania metodą Warda z miarą odległości potęgowej 143
- Ryc. 14. Grupowanie wybranych związków chemicznych, w 21 badanych grobach metodą Warda, przy zastosowaniu odległości euklidesowych 159
- Ryc. 15. Zawartość $(\text{PH}_4)\text{I}$ w kolejności malejącej w podłożu ponad pochówkiem, w 21 badanych grobach 160
- Ryc. 16. Zawartości Na_2S , CuS i PbS w podłożu ponad pochówkiem, w 21 wybranych masowych grobach 161

- Ryc. 17. Zawartość Na_2S w kolejności malejącej, w podłożu ponad pochówkiem w 21 badanych grobach 163
- Ryc. 18. Zawartości Na_3P , Cu_3P_2 i K_3P w podłożu ponad pochówkiem, w 21 wybranych masowych grobach 164
- Ryc. 19. Zawartość Ca_3P_2 w podłożu ponad pochówkiem, w 21 wybranych masowych grobach 166
- Ryc. 20. Zawartości wybranych związków wapnia z fosforem, w podłożu ponad pochówkiem, w wybranych masowych grobach z I i II wojny światowej 167
- Ryc. 21. Grupowanie masowych grobów ze względu na wybrane związki chemiczne przeprowadzone metodą Warda, przy zastosowaniu odległości euklidesowych (cyfra rzymska oznacza I lub II wojnę światową, cm. – cmentarz, żydowski – cmentarz czynny do II wojny świat 169
- Ryc. 22. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w miejscu, gdzie wysypywano prochy po spaleniu w krematoriach w Oświęcimiu 170
- Ryc. 23. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu porównawczego miejsca w Baczkowie, w Puszczy Niepołomickiej 170
- Ryc. 24. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w masowym grobie z II wojny światowej, położonym w miejscowości Bór koło Rzeszowa 171
- Ryc. 25. Procentowe udziały zawartości badanych związków chemicznych w podłożu ponad pochówkiem, w masowym grobie z I wojny światowej, zlokalizowanym w Rajbrocie 171
- Ryc. 26. Strefa cementacji piasku związkami żelaza wzbogaconymi w fosfor, stwierdzona na głębokości 1,22 m – 1,26 m w pobliżu pochówku z II wojny w Niepołomicach. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, polaroidy X, powiększenie 120 x 177
- Ryc. 27. Jasne ziarna kwarcu z minerałami ilastymi w towarzystwie śladowych ilości związków Fe – Mn, pobrane z głębokości 0,5 m ponad pochówkiem z okresu I wojny w Brzesku. Mikroskop polaryzacyjny, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 180
- Ryc. 28. Agregaty kwarcu i minerałów ilastych, stwierdzone w próbkach pobranych poniżej poziomu grobu z I wojny z głębokości 1,9 m w Brzesku, zawierają śladowe ilości związków żelaza i fosforu. SEM, powiększenie, jak na ryc. 31 181
- Ryc. 29. Fragment tkanki pokryty minerałami ilastymi i drobnymi ziarnami kwarcu (strzałki), pobrany z odwiertu z głębokości 1,9 m, z masowego grobu z I wojny w Brzesku. Zdjęcie wykonane w mikroskopie polaryzacyjnym, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 181
- Ryc. 30. Grubsza frakcja ziarnowa reprezentowana głównie przez ostrokrawędzisty kwarc pokryty minerałami ilastymi pobrana za pomocą świdra ręcznego z głębokości 1,6 m na poziomie masowego grobu z I wojny w Błoniu. Mikroskop polaryzacyjny, oświetlenie boczne 179
- Ryc. 31. Ziarna kwarcu, stwierdzone w próbce pobranej na głębokości 1,6 m na terenie masowego grobu z I wojny w Błoniach, pokryte są związkami żelaza, które zawierają śladowe ilości fosforu. SEM, powiększenie według skali 180
- Ryc. 32. Ziarna kwarcu i agregatowe skupienia minerałów ilastych, stwierdzone w żółtych piaskach z drobnymi okruchami piaskowców, pobrane w Rajbrocie pod pochówkiem z I wojny, na głębokości 2,16 m – 2,20 m, w dniu 10.05.06 r., SEM, powiększenie według skali 177

- Ryc. 33. Przekrój przez mikropustkę w ilach beżowych z wytrąceniami łu siwego, pobraną na głębokości od 1,30 m – 1,34 m z osadu, zapehioną substancjami wtórnymi w pobliżu masowego grobu z II wojny w Barwinku. Zdjęcie z mikroskopu skaningowego, powiększenie 178
- Ryc. 34. Strefa wytrąceń związków żelaza z fosforem na granicy osadu mułkowego (wyższa część fotografii) i łu (niższa część fotografii) w próbce pobranej z głębokości 1,3 m – 1,34 m w pobliżu masowego grobu z II wojny w Barwinku. Mikroskop polaryzacyjny, 178
- Ryc. 35. Ślady wytrąceń wtórnych słabokrystalicznych substancji fosforanowej na powierzchni ziarna kwarcu, stwierdzone w ciemnej ilastej madzie pod pochówkiem na głębokości od 1,26 m – 1,3 m w masowym grobie z okresu II wojny w Nowym Sączu. Powiększenie na 179
- Ryc. 36. Osad mułkowo-piaszczysty z cienką czarną żyłką, zawierającą substancję organiczną, pobrany z głębokości 1,38 m – 1,42 m w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej masowego grobu z I wojny w Bochni. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 120 x 184
- Ryc. 37. Cienka strefa wytrąceń substancji organicznej na kontakcie otoczaka mułowcowego i mułowca ilastego (strzałki) w próbce pobranej z ciemnej ilastej mady, z poziomu pochówku, z głębokości 1,26 m – 1,30 m w masowym grobie z II wojny światowej w Nowym Sączu 185
- Ryc. 38. Mikrookrucy organiczne rozproszone wśród ziaren materiału detrytycznego (strzałki), pobrane z odwiertu na głębokości 1,6 m z masowego grobu z I wojny w Błoniach. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, polaroid, powiększenie 60 186
- Ryc. 39. Fragment zmineralizowanej wtórnie tlenkami i wodorotlenkami żelaza kości gąbczastej, zawarty w próbce ciemnego łu z wytrąceniami żelaza, pobranej z głębokości 0,62 m – 0,66 m, w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej masowego grobu z I wojny 187
- Ryc. 40. Mikrookrucy kości objęty wtórną mineralizacją, stwierdzone w próbce pobranej z głębokości 1,38 m – 1,42 m, w sąsiedztwie współczesnych pochówków, poniżej grobu z I wojny w Bochni. Powiększenie na mikroskopie skaningowym, według skali 188
- Ryc. 41. Mikrofragment kości gąbczastej (strzałki), stwierdzony w próbce, pobranej podczas wiercenia w masowym grobie z I wojny w Rajbrocie, z głębokości 2,2 m. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 188
- Ryc. 42. Fragment tkanki na okrucy kości, pobranej podczas wiercenia w masowym grobie z II wojny w Zbylitowskiej Górze, z głębokości 1,2 m. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 189
- Ryc. 43. Struktura fragmentu kości korowej, pobranej z poziomu pochówku, z głębokości 1,22 m – 1,26 m w masowym grobie z II wojny, który leży na skraju Puszczy Niepołomickiej w Niepołomicach. Powiększenie na mikroskopie skaningowym, według skali 190
- Ryc. 44. Materiał detrytyczny z drobnym okrucem kości gąbczastej (strzałki) pobrany z głębokości 1,2 m z poziomu grobu z II wojny światowej w Zbylitowskiej Górze. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 193
- Ryc. 45. Mikrookrucy kości zlepione minerałami ilastymi (strzałki), stwierdzone w próbce pobranej z głębokości 1,2 m na terenie grobu z II wojny w Zbylitowskiej Górze. Zdjęcie z mikroskopu polaryzacyjnego, oświetlenie boczne, 1 polaroid, powiększenie 60 x 193

- Ryc. 46. Relatywnie wysokie zawartości P i Ca, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z I wojny w Brzesku. Widmo EDS 192
- Ryc. 47. Relatywnie wysokie zawartości C i O, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z I wojny światowej w Błoniach. Widmo EDS 191
- Ryc. 48. Relatywnie wysokie zawartości Ti, stwierdzone w próbce pobranej z poziomu pochówku z II wojny światowej w Barwinku. Widmo EDS 192
- Ryc. 49. Osad przerośnięty zmineralizowaną grzybnią, pobrany z wykopu prowadzonego w sąsiedztwie masowego grobu z II wojny światowej w Barwinku. Zdjęcie z mikroskopu skaningowego, powiększenie 50 x 191
- Ryc. 50. Grupowanie przeprowadzone metodą Warda z zastosowaniem odległości euklidesowej ze względu na skład 10 podstawowych pierwiastków w próbkach z osadów 9 masowych grobów 196
- Ryc. 51. Porównanie średnich miesięcznych opadów dla Krakowa za lata 1951–2004 z opadami z lat 2002 i 2004 (średnio opady miesięczne obliczono na podstawie Rocznika Statystycznego Krakowa i innych źródeł) 202
- Ryc. 52. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów żelaza w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 204
- Ryc. 53. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów manganu w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 204
- Ryc. 54. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 205
- Ryc. 55. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z masowego grobu z II wojny i z miejsca porównawczego w Niepołomicach w dniu 8.10.2004 roku 207
- Ryc. 56. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Gorlicach w dniu 14.11.2004 roku 208
- Ryc. 57. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Wojniczu w dniu 14.11.2004 roku 209
- Ryc. 58. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Gliniku w dniu 14.11.2004 roku 209
- Ryc. 59. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Łuźnej w dniu 14.11.2004 roku 210
- Ryc. 60. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych poniżej cmentarza z I wojny i z miejsca porównawczego w Bieczu w dniu 14.11.2004 roku 210
- Ryc. 61. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Zakliczynie w dniu 14.11.2004 roku 211
- Ryc. 62. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów miedzi w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówków lub w ich sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 212

- Ryc. 63. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Cerekwi w dniu 27.10.2004 roku 213
- Ryc. 64. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych z cmentarza i z miejsca porównawczego w Mikłuszowicach w dniu 27.10. 2004 roku 214
- Ryc. 65. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów fluorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 214
- Ryc. 66. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów chlorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 216
- Ryc. 67. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów azotanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 216
- Ryc. 68. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości jonów siarczanowych w próbkach wody podziemnej pobranych z pochówku lub w jego sąsiedztwie i z miejsc dla nich porównawczych w X i XI 2004 roku 217
- Ryc. 69. Porównanie przekroczeń dopuszczalnej zawartości wybranych jonów w próbkach wody podziemnej pobranej w pobliżu cmentarza i z miejsca porównawczego w Mikłuszowicach w dniu 27.10.2004 roku 221
- Ryc. 70. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych przy pochówku z I wojny i w centralnym miejscu cmentarza Rakowickiego w Krakowie w dniu 28.10.04 roku 222
- Ryc. 71. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fosforanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych grobach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 (Oświęcim – 25 058%) 227
- Ryc. 72. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów żelaza w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 233
- Ryc. 73. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów manganu w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 (Oświęcim – 6820 %) 234
- Ryc. 74. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów miedzi w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 235
- Ryc. 75. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów cynku w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 236
- Ryc. 76. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów glinu w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych grobach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 237
- Ryc. 77. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów siarczanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 240
- Ryc. 78. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów chlorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 241

- Ryc. 79. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów fluorkowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 242
- Ryc. 80. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów azotanowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 244
- Ryc. 81. Procentowe przekroczenia dopuszczalnej zawartości jonów amonowych w próbkach wody podziemnej pobranych w wybranych nekropoliach lub w ich pobliżu w roku 2002 i 2004 245
- Ryc. 82. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu w Mikłuszowicach 250
- Ryc. 83. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w odległości 15 m od masowego grobu z I wojny w Gliniku 250
- Ryc. 84. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w pobliżu masowego grobu z I wojny na cmentarzu w Wojniczu 251
- Ryc. 85. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie z odległości 10 m poniżej cmentarza z I wojny w Bieczu 251
- Ryc. 86. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie poniżej masowego grobu z okresu I wojny w Gorlicach 252
- Ryc. 87. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w odległości 15 m od pochówku z I wojny na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie 252
- Ryc. 88. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu wojskowym przy ulicy Prandoty w Krakowie 253
- Ryc. 89. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie na cmentarzu w Cerekwi 253
- Ryc. 90. Procentowe przekroczenia dopuszczalnych zawartości badanych jonów w próbkach wody podziemnej pobranych w różnym czasie w pobliżu masowych eksterminacji z okresu II wojny w Oświęcimiu 257

Spis fotografii

- Fot. 1. Masowy grób z I wojny światowej na progu Przedgórze Karpackiego w części północno-zachodniej cmentarza komunalnego w Bochni
- Fot. 2. Masowy grób 530 żołnierzy z I wojny światowej na wierzchołku grzbietu Pogórze Wiśnickiego w lasach Rajbrotu na południe od Bochni
- Fot. 3. Sąsiadujące ze sobą masowe groby z I i II wojny światowej na spłaszczeniu o niewielkim nachyleniu w Dukli
- Fot. 4. Masowy grób 312 żołnierzy z I wojny światowej na czole progu Przedgórze Karpackiego w Błoniach koło Tarnowa
- Fot. 5. Masowy grób 507 żołnierzy z I wojny światowej na spłaszczeniu o niewielkim nachyleniu w sąsiedztwie kirkutu (za murem z lewej) w Brzesku
- Fot. 6. Studnia na cmentarzu wojskowym przy ulicy Prandoty w Krakowie, z której pobierano próbki do analiz, w sąsiedztwie masowego grobu 1584 radzieckich żołnierzy z II wojny światowej
- Fot. 7. Masowy grób 83 żołnierzy z I wojny światowej przy lokalnej drodze na cmentarzu w Rudy Rysiach na północ od Brzeska
- Fot. 8. Masowy pochówek z I wojny światowej przy lokalnej drodze na cmentarzu w Mikłuszowicach na północ od Bochni
- Fot. 9. Masowy pochówek około 6000 radzieckich i polskich żołnierzy na wyższej tarasie Hoczewki na terenie Baligrodu w Bieszczadach
- Fot. 10. Masowy grób 853 poległych w I wojnie światowej na wierzchołku Góry Cmentarnej w Gorlicach
- Fot. 11. Masowy pochówek 185 żołnierzy z I wojny światowej na lokalnym spłaszczeniu przy ulicy Łokietka w Gorlicach
- Fot. 12. Masowy pochówek 174 austriaków z I wojny światowej na wierzchołku Góry Małastowskiej w Beskidzie Niskim
- Fot. 13. Masowy pochówek ponad 1000 radzieckich żołnierzy z II wojny światowej w lasach Pustkowa na północ od Dębicy
- Fot. 14. Fragment uzbrojenia z II wojny światowej znaleziony w wykopie na głębokości około 1m poniżej ogrodzenia masowego grobu radzieckich żołnierzy w Dukli
- Fot. 15. Masowy pochówek około 300 niemieckich żołnierzy z II wojny światowej przy drodze z Barwinka do Świdnika w Hunkowcach na terenie Słowacji
- Fot. 16. Powierzchniowo zmniejszony masowy pochówek z I wojny światowej na cmentarzu w Krośnie
- Fot. 17. Korodujący krzyż na masowym grobie z I wojny światowej na cmentarnym stoku w Starym Wiśniczu koło Bochni
- Fot. 18. Masowy pochówek 675 żołnierzy z I wojny światowej na wierzchołku Pogórze Ciężkowickiego na Ziemi Tarnowskiej w Lubczy koło Zakliczyna
- Fot. 19. Masowy pochówek 9000 radzieckich żołnierzy z II wojny światowej na wierzchołku wzgórze w Świdniku na Słowacji

- Fot. 20. Masowy pochówek 52 polskich żołnierzy z września 1939 roku na Uroczysku Osikówka w Puszczy Niepołomickiej
- Fot. 21. Masowy grób 200 żołnierzy z I wojny światowej na wierzchowinie lokalnego wzniesienia Łokieć w Krempej w Beskidzie Niskim
- Fot. 22. Masowy grób z I wojny światowej na nieczynnym cmentarzu protestanckim w Gawłowie na północ od Bochni
- Fot. 23. Masowy pochówek około 230 żołnierzy z I wojny światowej na cmentarzu w Nowym Żmigrodzie na południowy wschód od Jasła
- Fot. 24. Niewielki masowy grób z II wojny światowej w dolnej części cmentarza w Rymnowie
- Fot. 25. Stary Cmentarz w Tarnowie na terasie potoku Wątok
- Fot. 26. Masowy pochówek około 700 Słowaków i Czechów z okresu bitwy dukielsko-preszowskiej na stoku granicznego grzbietu w Vysnym Komarniku na Słowacji
- Fot. 27. Masowy grób 860 żołnierzy z I wojny światowej w źródłowym, zalesionym odcinku dolinki w Leszczynie, na południe od Bochni
- Fot. 28. Masowy pochówek radzieckich żołnierzy z okresu II wojny światowej na lokalnym spłaszczeniu w Rzeszowie
- Fot. 29. Masowy pochówek około 3400 niemieckich żołnierzy, którzy polegli w latach 1939–1945, na wierzchowinie wzniesienia, na lewym brzegu Sanu w Przemyślu
- Fot. 30. Masowy grób około 9000 rosyjskich żołnierzy z I wojny światowej na osuwiskowym stoku powyżej głównego cmentarza w Przemyślu
- Fot. 31. Jeden z dwóch masowych pochówków około 5000 żydowskiej ludności z II wojny światowej w lasach miejscowości Bór na północ od Rzeszowa
- Fot. 32. Górna część profilu, w sąsiedztwie masowego grobu ludności żydowskiej z II wojny światowej, z płytką zalegającą wodą gruntową, na progu wysokiej terasy Dunajca w Zbylitowskiej Górze około Tarnowa
- Fot. 33. Masowy grób 59 żołnierzy z I wojny światowej w dolnej części progu Beskidu Niskiego w Łysej Górze koło Gorlic
- Fot. 34. Cmentarz parafialny w Cerekwi na terasie Raby niedaleko ujścia do Wisły
- Fot. 35. Utleniająca się makieta czapki wojskowej Józefa Prochazki, na masowym grobie 110 żołnierzy z I wojny światowej w Ropiczy Górnej na terenie Beskidu Niskiego
- Fot. 36. Duży kirkut w Lesku nieczynny od II wojny światowej
- Fot. 37. Dolna część dużego masowego grobu 1200 żołnierzy z I wojny światowej na stoku wzgórza Pustki w Łuźnej
- Fot. 38. Wilgotne osady z wykopu położonego w sąsiedztwie masowego grobu 10000 żydów z Tarnowa pochowanych 11 VI 1942 roku w Zbylitowskiej Górze koło Tarnowa
- Fot. 39. Profil wykopu poniżej masowego grobu ponad 500 żydów rozstrzelanych w Barwinku 13 VIII 1942 roku
- Fot. 40. Profil osadów w wykopie poniżej masowego grobu z II wojny światowej w Dukli
- Fot. 41. Masowe groby 2500 żydów i kilkunastu Polaków z II wojny światowej w centralnej części kirkutu na terasie Dunajca i Kamienicy w Nowym Sączu
- Fot. 42. Słaba mineralizacja osadu, wtórnie utlenionymi związkami żelaza, w profilu ponad masowym pochówkiem z II wojny światowej, w Niepołomicach na terenie Puszczy Niepołomickiej
- Fot. 43. Wtórnie utlenione koncentracje związków żelaza w ilastym osadzie, w wykopie poniżej żydowskiego grobu z II wojny światowej w Barwinku

- Fot. 44. Cienkie strefy mineralizacji wtórnymi tleno-wodorotlenkami żelaza, w środkowej części profilu, w pobliżu pochówków z I wojny światowej w Błoniach koło Tarnowa
- Fot. 45. Masowy grób 384 żołnierzy z I wojny światowej na sterasowanym osuwiskowym stoku w pobliżu kościoła farnego w Bieczu
- Fot. 46. Studnia wśród pochówków, poniżej masowego grobu 266 żołnierzy z I wojny światowej, na cmentarzu w Zakliczynie

Spis treści

Wstęp	7
Problem badawczy	9
Cel i zakres badań	10
Metody stosowane w archeologii w badaniach osadów	11
1. Zastosowane metody i metodyka badań.....	17
1.1. Metody badań analitycznych	17
1.2. Metodyka oceny względnej zawartości pierwiastków w badanych 245 grobach	19
1.3. Metodyka charakterystyki środowiska fizyczno-geograficznego 240 badanych grobów.....	21
1.4. Metodyka badań dotycząca oceny wpływu masowych grobów na środowisko.....	24
1.5. Metodyka badań dotycząca chemizmu wód gruntowych w otoczeniu masowych grobów.....	26
2. Środowisko badanych masowych grobów.....	28
2.1. Teren badań.....	28
3.2. Charakterystyka środowiska fizycznogeograficznego 240 badanych pochówków...42	
2.3. Warunki oksydacyjno-redukcyjne podłoża wybranych grobów	50
3. Stan dotychczasowych badań.....	53
4. Względna zawartość pierwiastków w środowisku badanych pochówków	69
4.1. Fosfor i inne charakterystyczne pierwiastki w masowych grobach	69
4.2. Groby o największych zawartościach pierwiastków pochodzących z dekompozycji.....	72
4.3. Różnice pomiędzy zawartością pierwiastków w 86 grobach i ich tłem geochemicznym.....	76
4.4. Grupy pierwiastków wykazujące wpływ pochówków na środowisko	91
5. Charakterystyczne właściwości środowiska badanych pochówków	115
6. Wpływ środowiska geograficznego na zawartość pierwiastków ponad pochówkami... 135	
7. Wybrane związki chemiczne występujące w podłożu ponad pochówkami	150
7.1. Wprowadzenie	150
7.2. Wybrane związki chemiczne w 21 badanych grobach	157
8. Badania mineralogiczno-petrograficzne w profilach pionowych w wybranych masowych grobach	172
9. Jakość wód gruntowych w otoczeniu masowych grobów.....	200
9.1. Wprowadzenie.....	200
9.2. Porównanie stężeń badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków z miejscami porównawczymi	203
9.3. Zawartości badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków względem dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń.....	223
9.4. Zmienność zawartości badanych jonów w wodach gruntowych w otoczeniu pochówków.....	249
Podsumowanie	258
Wnioski	266
Podziękowanie	270
Literatura.....	271