

POMIARY PODATNOŚCI MAGNETYCZNEJ
TORFOWISK WYSOKICH
W MONITORINGU IMISJI PRZEMYSŁOWYCH

ZYGMUNT STRZYSZCZ, TADEUSZ MAGIERA

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk,
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

Keywords: ombrotrophic peat bogs, magnetic susceptibility, industrial immissions, heavy metals and selenium.

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENT
ON OMBROTHROPHIC PEAT IN MONITORING
OF INDUSTRIAL IMMISSION

Peat contains mostly diamagnetic organic matter, which is a good collector of industrial dusts and pollutions. Ombrotrophic peat bogs are built up above the ground water table so ground water and deposited particles remains largely *in situ* do not influence deposition and accumulation of magnetic particles. During the study 19 Polish ombrotrophic peat bogs, located in 3 N–S transects have been examined. In every bog, 2–4 peat cores of about 30–50 cm in depth were taken. The field and laboratory magnetic susceptibility, hysteresis parameter, heavy metal and Se content were measured. In most profiles the susceptibility below 10 cm was slightly negative, what is characteristic for clean organic material. In south-western part of Poland the peat profiles show the maximal susceptibility over $350 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. The susceptibility decreases in profiles from central part of Poland to 30–60. In northern and south-eastern part of the country the maximal observed susceptibility is about $10 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. The shape of hysteresis loop and other hysteresis parameter pointed at magnetite multidomain as a carrier of magnetic signal. Considering the same amount of dustfall the magnetic susceptibility is 10–50 times lower than in forest what is a result of forest stand filtration abilities. Magnetic susceptibility seems to be a good parameter in estimation of industrial immission influx in open areas.

Streszczenie

Torfy zawierają głównie diamagnetyczną substancję organiczną, która jest dobrym medium do oznaczania podatności magnetycznej pochodzenia antropogenicznego. Torfowiska wysokie utworzone są powyżej poziomu wód gruntowych, dlatego też nie wpływa on na depozycję i aku-

mulację cząstek magnetycznych pochodzących z opadu pyłów przemysłowych, które w większości pozostają w pozycji *in situ* w profilu torfowym. Ze względu na to oraz na brak systemu korzeniowego na powierzchni tworzącego je przeważnie *Sphagnum* mogą one odzwierciedlać wielkość opadu suchego i mokrego różnorodnych składników zanieczyszczonego powietrza na terenach odkrytych.

Badania prowadzono na 19 polskich torfowiskach wysokich zlokalizowanych w 3 transektach północ–południe. Z każdego torfowiska pobrano 2–4 profile o głębokości 30–50 cm. Wykonano terenowe i laboratoryjne pomiary podatności magnetycznej, parametrów histerezy oraz zawartości metali ciężkich i selenu. W większości badanych profili podatność magnetyczna była ujemna poniżej 10 cm, co jest charakterystyczne dla czystej materii organicznej. Torfowiska południowo-zachodniej części Polski wykazywały najwyższą podatność magnetyczną, powyżej $350 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Podatność spadała w torfowiskach centralnej Polski do $30-60 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. W północnej i południowo-wschodniej części kraju maksymalna zmierzona podatność magnetyczna wynosiła $10 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Kształt pętli jak i inne parametry histerezy wskazywały na multidomeny magnetytowe jako główny nośnik sygnału magnetycznego. Biorąc pod uwagę tę samą wielkość opadu pyłu na obszarach odkrytych i zalesionych, podatność magnetyczna tych pierwszych jest ok. 10–50 razy mniejsza. Przyczyną tego są właściwości filtracyjne drzew. Podatność magnetyczna wydaje się być dobrym parametrem oceny wielkości emisji przemysłowych w terenach odkrytych.

WSTĘP

W trakcie badań realizowanych w latach 1994–1997 w ramach projektu KBN nr 3 P407 066 06 pt. „Ferromagnetyki pochodzenia antropogenicznego i ich przemiany w glebach objętych wpływem emisji przemysłowych” udowodniono, że łatwa do zmierzenia wartość podatności magnetycznej gleb, będąca wynikiem nagromadzenia w glebie (głównie w poziomach fermentacyjnym i humusowym ściółki leśnej – Of, Oh) cząstek magnetycznych pochodzących z pyłów przemysłowych, może odzwierciedlać wpływ emisji przemysłowych na gleby.

Hutnictwo żelaza oraz metali nieżelaznych, produkcja cementu oraz spalanie węgla (kamiennego i brunatnego) są źródłem emisji znacznej ilości cząstek magnetycznych, które emitowane są do atmosfery w formie pyłów o różnej granulacji, w tym aerozoli. Z cząstkami tymi związane są również znaczne ilości metali ciężkich, co zostało dowiedzione w licznych pracach [1, 4–8, 13, 18, 20]. W Polsce największym ilościowo źródłem antropogenicznych cząstek magnetycznych jest spalanie węgla. Roczna emisja pyłów energetycznych z dużych elektrowni z wysokimi kominami pomimo stosowania urządzeń odpylających jest olbrzymia, a jej zasięg znaczny [7]. Cząstki magnetyczne po opadnięciu na powierzchnię ziemi zostają zatrzymane w glebach zarówno obszarów leśnych, jak i odsłoniętych, i można je zidentyfikować za pomocą mikrosondy, na podstawie ich charakterystycznego, kulistego kształtu i specyficznej budowy, która nie zawsze pozwala na ich identyfikację metodami rentgenowskimi [14]. Jednak znacznie prostszym sposobem wykrywania jest wykorzystanie ich właściwości magnetycznych.

Badania prowadzono głównie na glebach leśnych. Wykazały one, że drzewostany siedlisk leśnych mają duże zdolności akumulacyjne w stosunku do

ferromagnetyków i towarzyszących im metali ciężkich. Na niektórych obszarach o silnej presji przemysłowej, o dużym opadzie pyłów pochodzących ze spalania węgla, korelacja pomiędzy podatnością magnetyczną gleb a zawartością niektórych metali ciężkich pochodzących z tych samych źródeł była bardzo wysoka ($r \approx 0,9$). Dotyczyło to szczególnie metali sulfofilnych, występujących w węglu w postaci siarczkowej, takich jak: cynk, ołów i kadm [16]. Korelacja była tym większa, im większy był opad pyłów na danym obszarze. Ma to ogromne znaczenie zwłaszcza w przypadku ołowiu. W niektórych rejonach kraju, zwłaszcza w pobliżu ośrodków przemysłowych, nagromadzenie ołowiu w ściółce przekracza wartości dopuszczalne od 2 do 15 razy, co biorąc pod uwagę obszar zajęty przez lasy (ok. 27% powierzchni kraju), jak również bardzo kwaśny odczyn gleb leśnych, stanowi poważne zagrożenie ekologiczne.

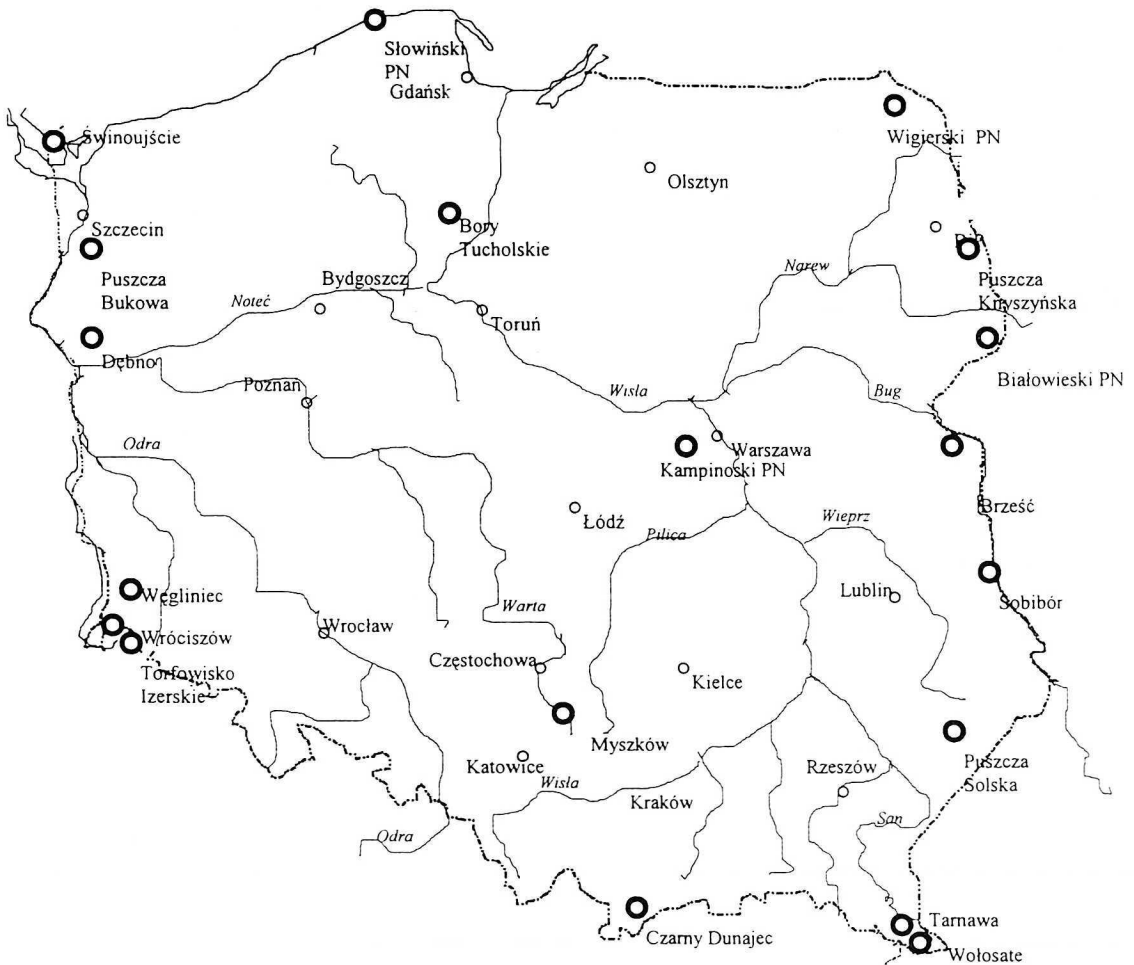
Intensywny rozwój przemysłu powoduje również znaczne emisje do atmosfery siarki i podwyższonych ilości selenu. Szczególnie obecność tego drugiego pierwiastka jest słabiej poznana, a wstępne badania prowadzone wspólnie z uniwersytetem w Jenie, dotyczące podatności magnetycznej gleb w rejonie Lipsk – Bitterfeld i zawartości w nich selenu, wskazują na istotne zależności pomiędzy tymi wskaźnikami ($r = 0,93$). Jak wiadomo, zarówno nadmierne, jak i małe ilości selenu w glebach mają związek ze stanem zdrowotnym człowieka.

Na obszarach użytkowanych rolniczo zastosowanie pomiaru podatności magnetycznej do monitorowania emisji przemysłowych w glebach jest nieco utrudnione ze względu na systematyczną orkę, co prowadzi do zaburzenia naturalnego układu w profilu glebowym i „rozcieńczenia” antropogenicznych cząstek magnetycznych w całej warstwie ornej. Do badania emisji przemysłowych w rejonach niezalesionych za pomocą pomiarów podatności magnetycznej dobrym terenem wydają się być torfowiska wysokie, które zasilane są wodami z opadów atmosferycznych. Przez cały okres rozwoju torfowiska następuje w nim akumulacja zanieczyszczeń z atmosfery w danym okresie i na danym obszarze. Dane literaturowe [12, 15, 19] wskazują na możliwość istnienia również istotnej korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną torfów a zawartością w nich niektórych metali ciężkich. Dodatkowo, badając rozkład podatności magnetycznej i metali ciężkich w głąb torfowiska, można śledzić wielkość emisji przemysłowych (pyłowo-aerozolowych) na danym obszarze od początku powstania torfowiska do czasów współczesnych.

CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Obszar zajmowany przez torfowiska w Polsce wynosi 1 706 000 ha, z tego około 100 tys. ha przypada na torfowiska wysokie. Rozmieszczone są one na obszarach o różnej wielkości opadu pyłów [21]. Kontynuując badania podatności magnetycznej w aspekcie środowiskowym postanowiono przebadać torfowiska wysokie na terenie całego kraju pod kątem prześledzenia związku podatności magnetycznej z emisjami przemysłowymi i zawartością metali ciężkich oraz możliwości zastosowania na tych terenach magnetycznego monitoringu zanieczyszczeń.

Badania prowadzono w trzech transektach biegnących z północy na południe przez całe terytorium Polski. W ciągu dwóch lat przebadano torfowiska położone w Polsce zachodniej: wzdłuż linii Świnoujście–Góry Izerskie, centralnej: wzdłuż linii Słowiński Park Narodowy–Góry Śląskie (Beskid Śląski), i wschodniej: na linii Pojezierze Suwalskie–Bieszczady (Rys. 1). W każdym z transektów wybrano 5–8 torfowisk, w obrębie których na podstawie terenowych pomiarów podatności magnetycznej założono od 2 do 4 odkrywek. Odkrywki zakładano w miejscach pozbawionych drzew i krzewów. Z każdej odkrywki pobrano próbki z poszczególnych warstw torfu.



Rys. 1. Lokalizacja badanych torfowisk
Locations of the studied peat bogs

Zakresem badań objęto:

– pomiary podatności magnetycznej (κ) w terenie na powierzchni torfowiska w warstwie najmłodszej (ok. 10 cm) odzwierciedlającej aktualną akumulację atmosferyczną cząstek magnetycznych i związanych z nimi metali ciężkich, pochodzących z emisji przemysłowych lokalnych i dalekiego zasięgu;

– pomiary laboratoryjne rozkładu wartości specyficznej niskoczęstotliwościowej podatności magnetycznej (χ) prób torfów, w profilach założonych na tych samych torfowiskach, pozwalające określić przebieg akumulacji atmosferycznych cząstek magnetycznych i związanych z nimi metali ciężkich od początku powstania torfowiska do czasów współczesnych;

– identyfikację cząstek magnetycznych pod względem mineralogicznym (magnetyt, maghemit, hematyt oraz inne fazy magnetyczne) i zróżnicowania domen magnetycznych (wielkość i rodzaj ferromagnetyków występujących w torfowiskach), celem określenia ich antropogenicznego bądź naturalnego pochodzenia. Identyfikacja prowadzona była na podstawie parametrów histerezy: koercji (H_c), koercji remanencji (H_{cr}), namagnesowania szczątkowego (M_r) i wielkości wysycenia namagnesowania szczątkowego (M_{rs}). Badania magnetyczne wykonano przy współpracy z laboratoriami Instytutu Geofizyki ETH w Zurychu oraz laboratorium CERAGE uniwersytetu w Aix-Marsylii;

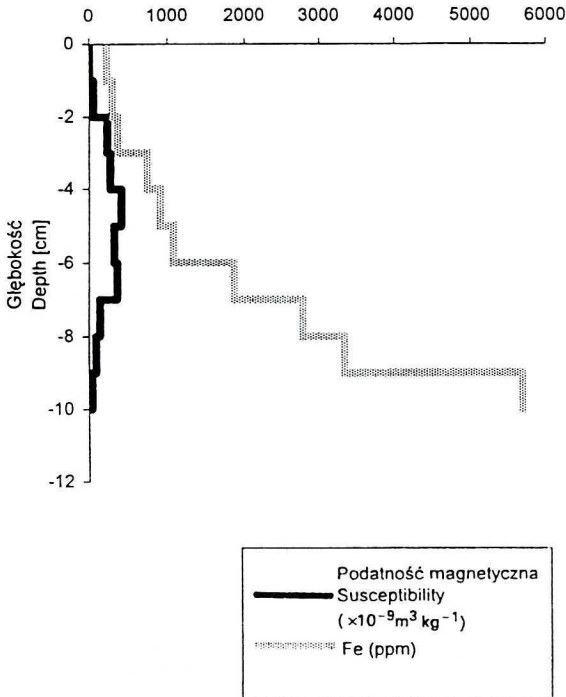
– zawartość metali ciężkich, takich jak: Pb, Zn, Cd oraz Se, w celu wychwycenia ich maksymalnych i minimalnych zawartości w profilach i porównania ich z wartością podatności magnetycznej.

Choć w rejonach odległych od dużych źródeł emisji zawartość antropogenicznych cząstek magnetycznych może być niewielka, to jednak może być wykryta za pomocą czulej aparatury magnetycznej wchodzącej w skład zestawu MS2 firmy Bartington, będącego na wyposażeniu Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze, a zakupionego z funduszy przyznanych przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej. Badania te mogą się przyczynić do lepszego rozpoznania wielkości emisji przemysłowych na terenie całego kraju w podobnych do siebie środowiskach glebowo-roślinnych. Pozwolą również na określenie różnicy w depozycji zanieczyszczeń pomiędzy obszarami niezalesionymi a zalesionymi. W tym celu do interpretacji wykorzystano wielkości opadu pyłu w pobliżu torfowisk, które prowadził Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie [11].

WYNIKI BADAŃ

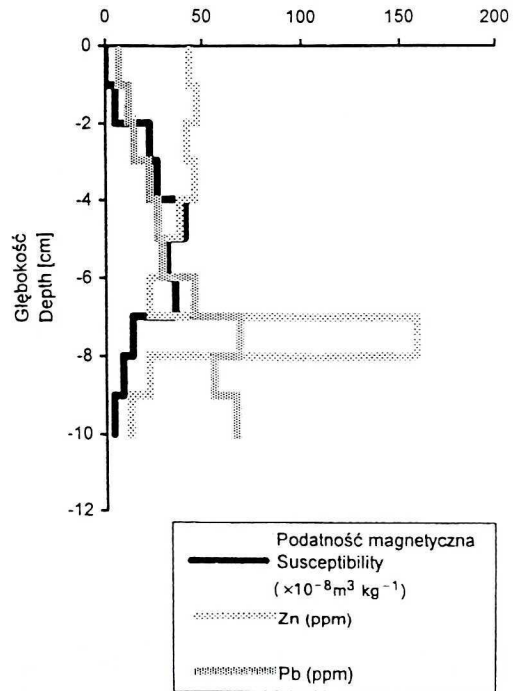
TRANSEKT ZACHODNI

W rejonie Świnoujścia odnotowano niską podatność magnetyczną torfów. Największe nagromadzenie ferromagnetyków stwierdzono na głębokości 2–7 cm (Rys. 2a i b). Nieco inny układ wykazuje zawartość Zn i Pb (Rys. 2b). Ilość ołowiu wzrasta wraz z głębokością, przy czym od głębokości 8 cm ołów



Rys. 2a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Świnoujście

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Świnoujście



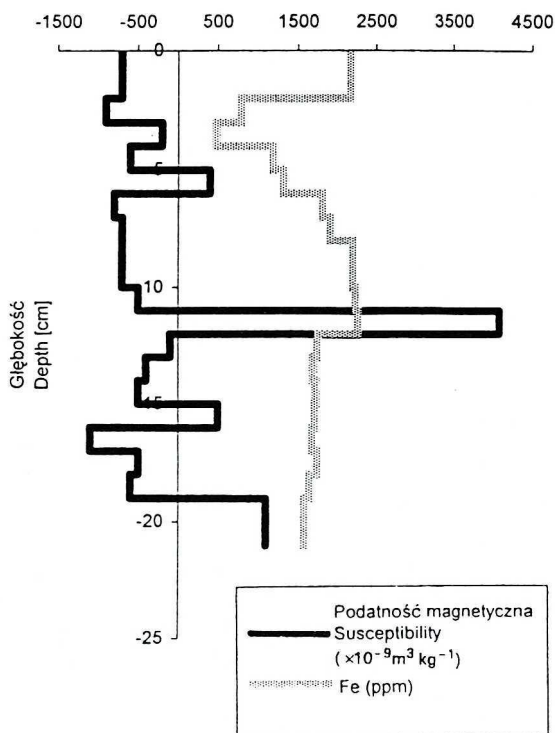
Rys. 2b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Świnoujście

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Świnoujście

zdecydowanie przeważa nad cynkiem. Według danych IBL [11], średni opad pyłu w rejonie badań to $40,4 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Maksymalny opad to $244 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że w opadzie przeważają pyły naturalne związane z erozją wietrzną, źródłem której są wysychające w okresach suszy plaże.

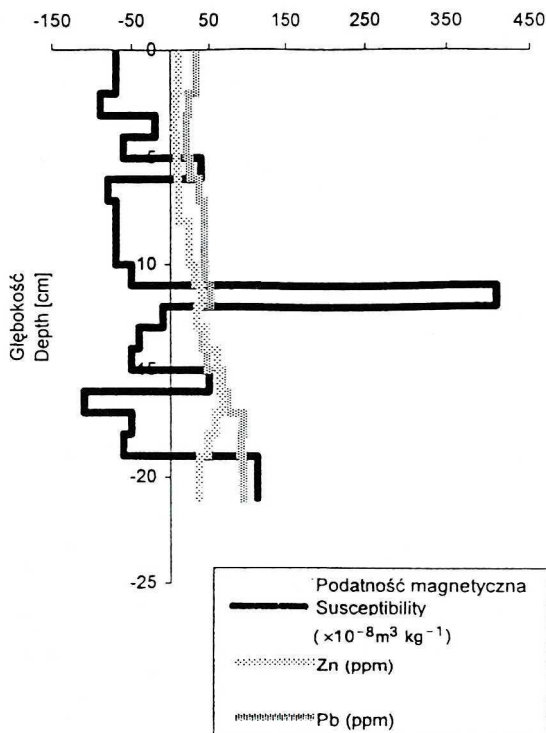
W drugim punkcie transektu – Puszczy Bukowej, nie stwierdzono obecności ferromagnetyków (Rys. 3a), a wśród metali ciężkich cynk przeważa nad ołowiem prawie w całym profilu (Rys. 3b). Opad pyłu w rejonie badań jest większy i sięga wartości $61,8 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, przy maksymalnej osiągającej prawie $700 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Należy przypuszczać, że przyczyny wzrostu zapylenia są podobne jak w Świnoujściu. Torfowisko położone jest w znacznej odległości od lokalnych źródeł emisji.

Podobny układ ferromagnetyków stwierdzono w torfowisku Dębno, w którym niewielka ilość ferromagnetyków występuje w warstwie 1–4 cm, a następnie ich zawartość maleje do zera (ujemna podatność). Podobny układ dotyczy



Rys. 3a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Puszcza Bukowa

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Puszcza Bukowa

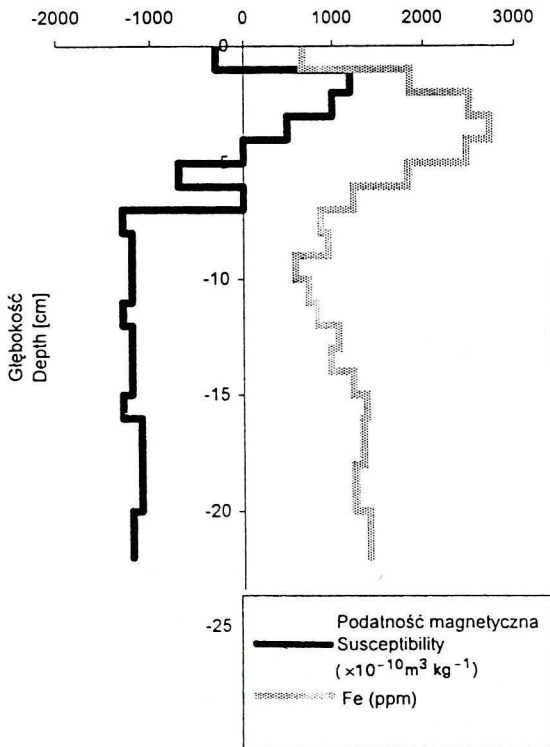


Rys. 3b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Puszcza Bukowa

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Puszcza Bukowa

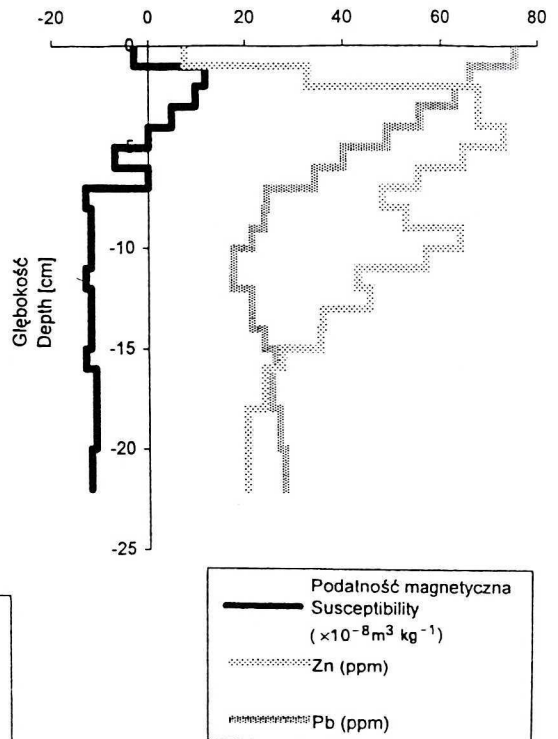
również żelaza (Rys. 4a). Zwraca uwagę przewaga ołowiu nad cynkiem w warstwie poniżej 2–10 cm (Rys. 4b). Świadczy to o tym, że w rejon badań napływają zanieczyszczenia pyłowe o charakterze antropogenicznym. Opad pyłu wynosi prawie $88 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, ale maksymalny jest niższy ($168 \text{ g/m}^2/\text{rok}$) w porównaniu z poprzednim punktem. Przy przewadze wiatrów zachodnich i południowo-zachodnich liczyć się należy z napływem zanieczyszczeń z rejonu Słubic i Frankfurtu nad Odrą.

W rejonie Węglińca podatność magnetyczna torfów wzrasta 10-krotnie w porównaniu ze Świnoujściem (Rys. 5) i jest najwyższa z wszystkich badanych profili ($391 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$). Począwszy od głębokości 2 cm zdecydowana jest przewaga ołowiu nad cynkiem (Rys. 5b). Opad pyłu jest mniejszy niż w Świnoujściu ($30,7 \text{ g/m}^2/\text{rok}$), ale wśród pyłów przeważają cząstki pochodzenia przemysłowego miejscowe oraz napływające z Niemiec. Torfowisko jest położone na skraju miasta, toteż udział w opadzie pyłu mają również emisje lokalne (niska emisja).



Rys. 4a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Dębno

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Dębno

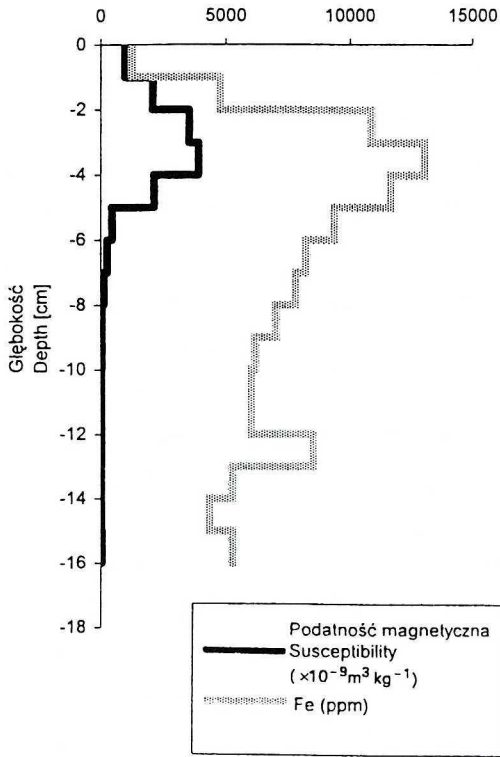


Rys. 4b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Dębno

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Dębno

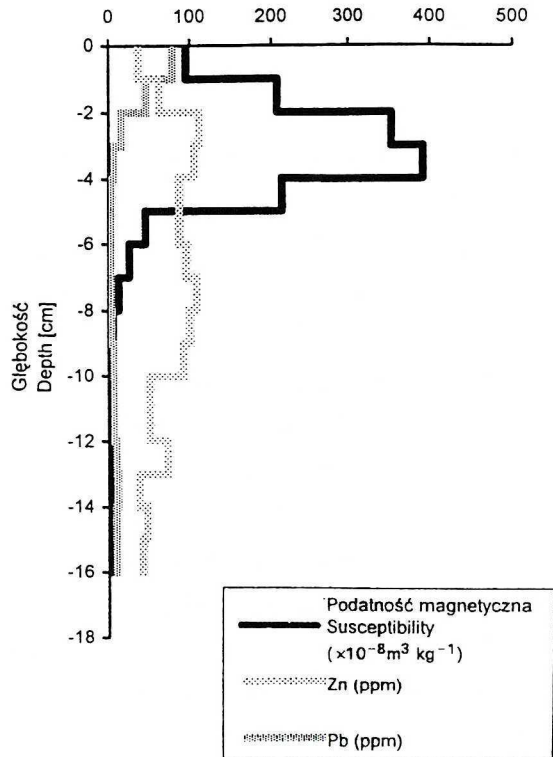
Podatność magnetyczna torfów w rejonie Wróciszowa Dolnego wykazuje inny układ (Rys. 6). Jest mniejsza niż w rejonie Węglińca, ale sięga głębokości 24 cm (Rys. 5). Może na to wpływać podłoże geologiczne, które w tym rejonie stanowią skały wylewne, często o znacznej zawartości magnetytu. Ołów przeważa nad cynkiem na głębokości 8 cm, osiągając poniżej 16 cm zdecydowaną przewagę (Rys. 6b). Opad pyłu jest wyższy niż w Węglińcu ($47,1 \text{ g/m}^2/\text{rok}$). Dotyczy to również opadu maksymalnego, przekraczającego $224 \text{ g/m}^2/\text{rok}$ [11].

Torfowiska Gór Izerskich wykazują podwyższoną podatność magnetyczną w warstwie do 10 cm (Rys. 7). Czynnikiem decydującym o wzroście podatności magnetycznej torfów, oprócz zanieczyszczeń napływających z rejonu Turoszowa, Czech i Niemiec, są lokalne źródła (hutnictwo szkła na Hali Izerskiej). Na zdecydowanie antropogeniczny charakter zanieczyszczeń wskazuje przewaga ołowiu nad cynkiem we wszystkich badanych torfach, ilość ołowiu zaś



Rys. 5a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Węgliniec

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Węgliniec



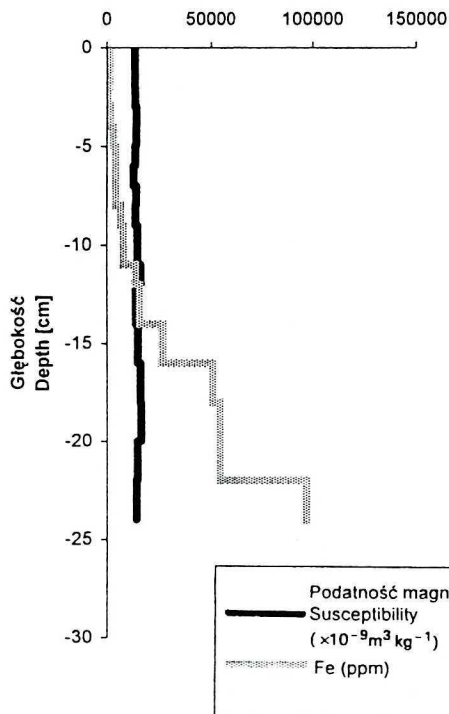
Rys. 5b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Węgliniec

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Węgliniec

przekracza dopuszczalne stężenie tego składnika w glebach [2] (Rys. 7b). Również badania magnetyczne torfowisk po czeskiej stronie Gór Izerskich i Karkonoszy potwierdziły podobne wartości podatności magnetycznej i zdecydowanie antropogeniczny charakter cząstek magnetycznych będących jej źródłem [10].

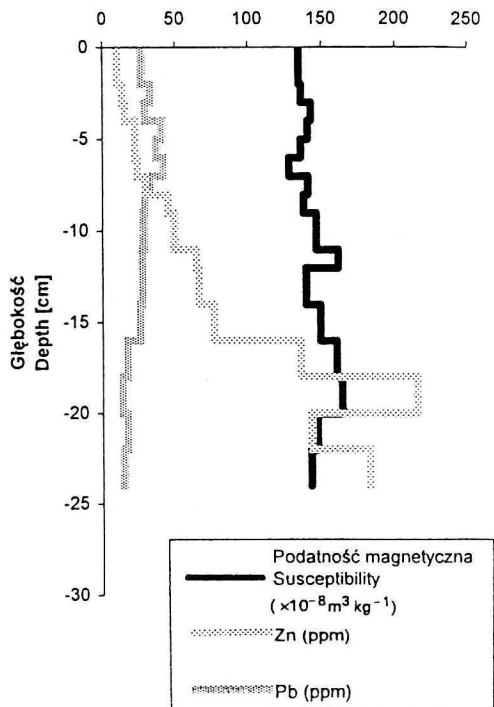
Opad pyłu waha się od 24,5 do 28,7 $\text{g/m}^2/\text{rok}$, a maksymalna wartość – od 93,5 $\text{g/m}^2/\text{rok}$ w Szklarskiej Porębie do 142,0 $\text{g/m}^2/\text{rok}$ w Karkonoskim Parku Narodowym [11].

Porównując podatność magnetyczną gleb leśnych z torfowiskami w transekcie zachodnim [17], stwierdzić należy, że te ostatnie wykazują zdecydowanie mniejsze zanieczyszczenie składnikami emisji przemysłowych. Nagromadzenie zanieczyszczeń w górnych poziomach gleb leśnych (Of/Oh) jest 5–10-krotnie większe niż w torfach.



Rys. 6a Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Wróciszów Dolny

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Wróciszów Dolny



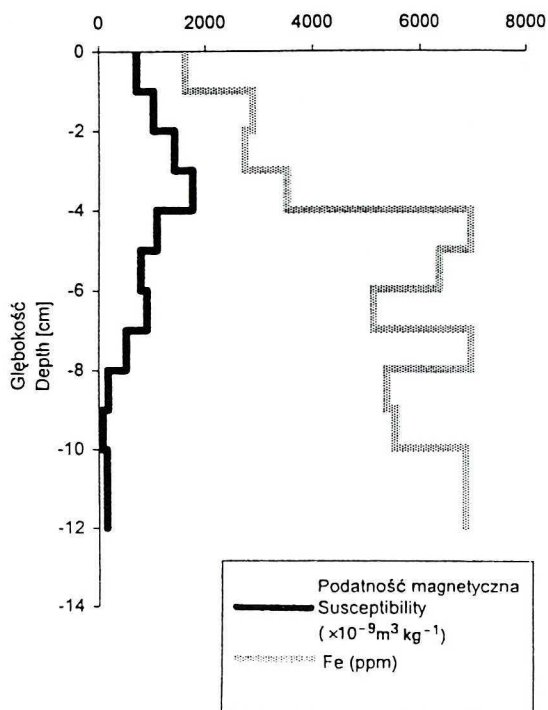
Rys. 6b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Wróciszów Dolny

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Wróciszów Dolny

TRANSEKT ŚRODKOWY

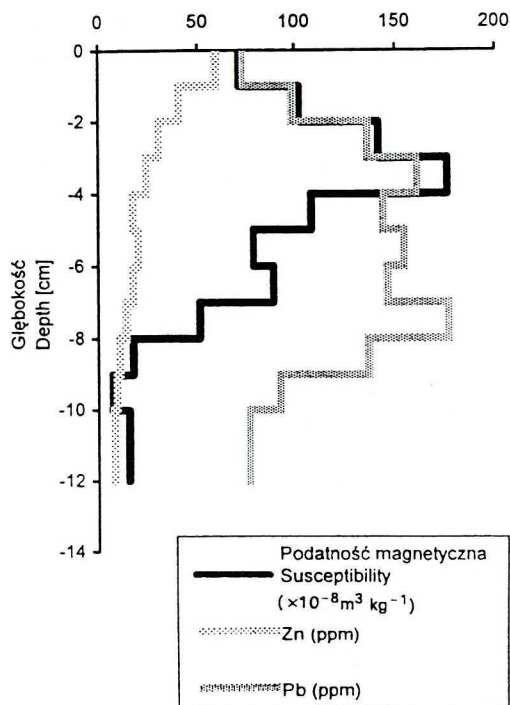
Podatność magnetyczna torfowisk w rejonie Łeby (Słowiński Park Narodowy) jest mniejsza w porównaniu do Świnoujścia. Mniejsza też jest zawartość metali ciężkich (Rys. 8), a ich układ jest różny. Czasem przeważa cynk nad ołowiem, zwłaszcza na głębokości poniżej 10 cm. Opad pyłu jest wyższy ($66,7 \text{g/m}^2/\text{rok}$), ale udział w nim pyłów pochodzenia antropogenicznego jest mniejszy. Lokalnym źródłem pyłów naturalnych są tu wydmy nadmorskie.

Torfowiska Borów Tucholskich wykazują ujemną podatność magnetyczną, charakterystyczną dla czystej, diamagnetycznej materii organicznej. Również zawartości metali ciężkich są niewysokie, a wśród nich cynk zdecydowanie przeważa nad ołowiem (Rys. 9). Opad pyłu nieznacznie przekracza wartość $13 \text{g/m}^2/\text{rok}$. Są to najmniejsze wartości, jakie stwierdzono w toku badań w 3 transektach.



Rys. 7a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Torfowisko Izerskie

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Torfowisko Izerskie

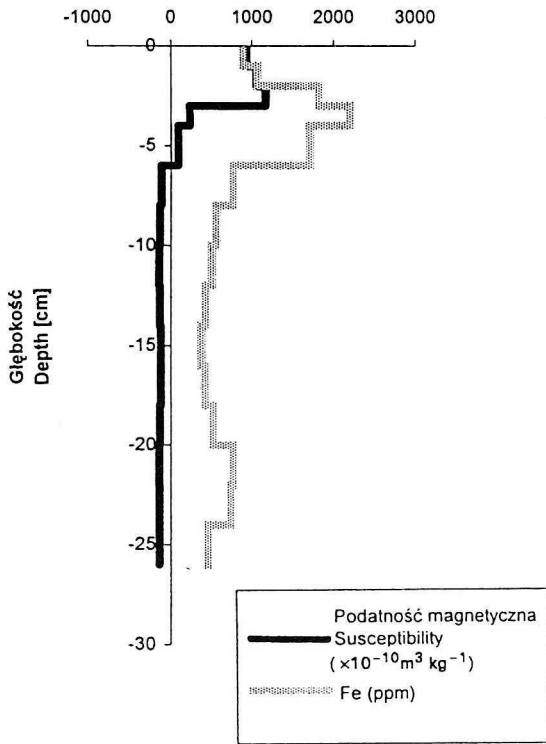


Rys. 7b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Torfowisko Izerskie

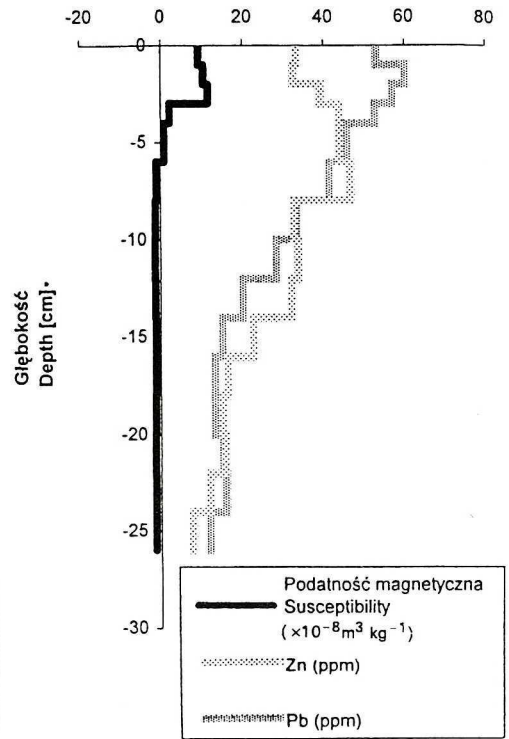
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Torfowisko Izerskie

Torfowiska w Kampinoskim Parku Narodowym do głębokości 10 cm wykazują nieznaczną podatność magnetyczną (Rys. 10), natomiast wśród metali do głębokości 4 cm cynk przeważa nad ołowiem. Poniżej tej wartości ołów przeważa nad cynkiem (Rys. 10b). Opad pyłu przekracza wartość $62,7 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, a maksymalny przekracza $660 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Przyczyną jest napływ zanieczyszczeń z aglomeracji warszawskiej.

W kierunku Katowic podatność magnetyczna torfowisk w okolicy Myszkowa wzrasta i jest bardziej wyrównana do głębokości 8 cm. Począwszy od głębokości 4–13 cm, zawartość ołowiu w porównaniu do cynku wzrasta i przekracza dopuszczalne wartości dla gleb (Rys. 11). Opad pyłu przekracza wartość $25 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, przy maksimum do $90 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Są to jednak zdecydowanie pyły pochodzenia przemysłowego z rejonu Częstochowy i Śląska. Przekroczone wielkości graniczne dla Zn i Pb mogą być również wynikiem działalności przemysłu metali nieżelaznych i eksploatacji rud cynkowo-olowiowych z rejonu Olkusza i Bytomia. Przy tego typu specyficznych źródłach



Rys. 8a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Łeba
Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Łeba



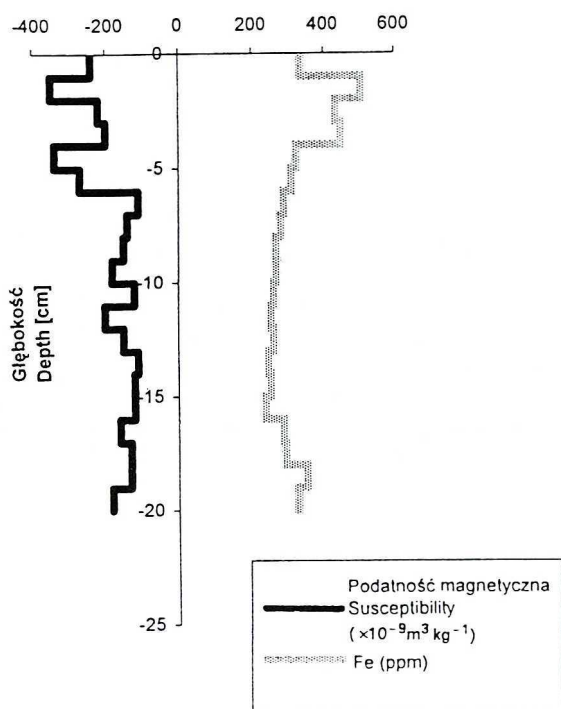
Rys. 8b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Łeba
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Łeba

emisji metali ciężkich nie obserwuje się korelacji między metalami a podatnością.

Nieco inny układ wykazują torfy w rejonie Czarnego Dunajca (Rys. 12). Do głębokości 10 cm podatność jest mała, a następnie wzrasta do głębokości 30 cm. Podobny układ wykazują Zn i Pb, przy czym cynk przeważa nad ołowiem (Rys. 12b). Mniejsza podatność magnetyczna górnej warstwy jest spowodowana spadkiem zanieczyszczeń w ostatnich latach. Opad pyłu waha się od 35–36 g/m²/rok, a maksymalny od 97 do 551 g/m²/rok. Ostatnia wartość występuje jednak coraz rzadziej, na co wpływa spadek emisji napływającej z rejonu Krakowa i Śląska.

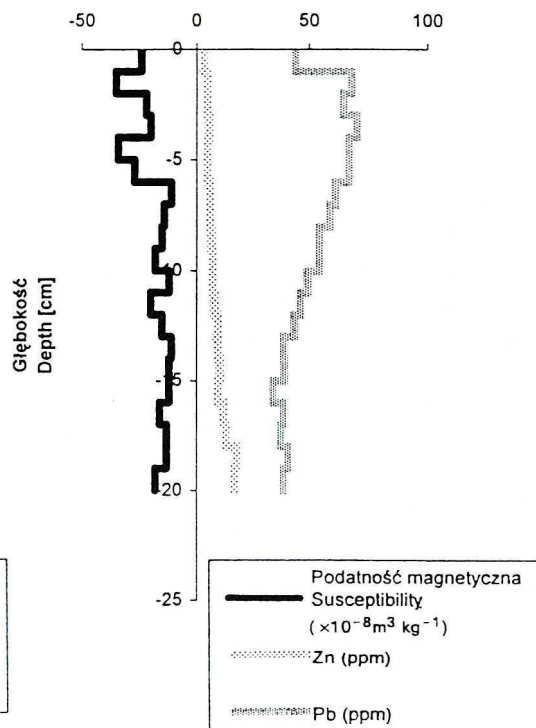
TRANSEKT WSCHODNI

Torfowiska Wigierskiego Parku Narodowego wykazują niską podatność magnetyczną na głębokości poniżej 6 cm (Rys. 13). Na głębokości poniżej 9 cm



Rys. 9a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Bory Tucholskie

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Bory Tucholskie



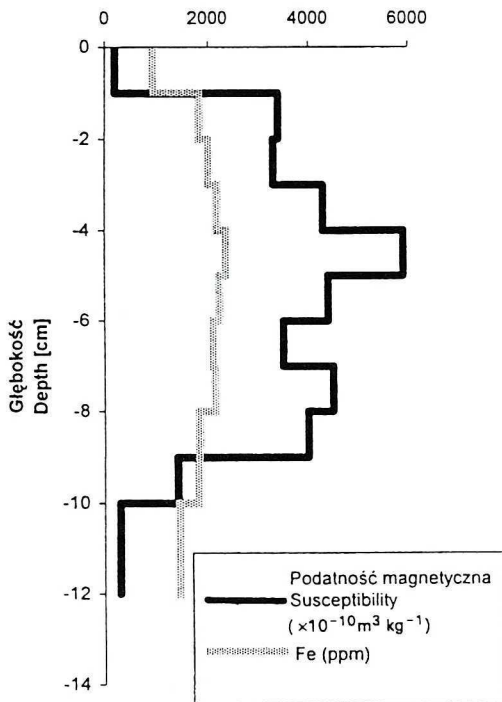
Rys. 9b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Bory Tucholskie

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Bory Tucholskie

występuje przewaga ołowiu nad cynkiem (Rys. 13b). Przewaga ta utrzymuje się do głębokości 28 cm. Na tej głębokości cynk znów przeważa nad ołowiem. Opad pyłu przekracza wartość 23 g/m²/rok, a maksymalny sięga 97 g/m²/rok.

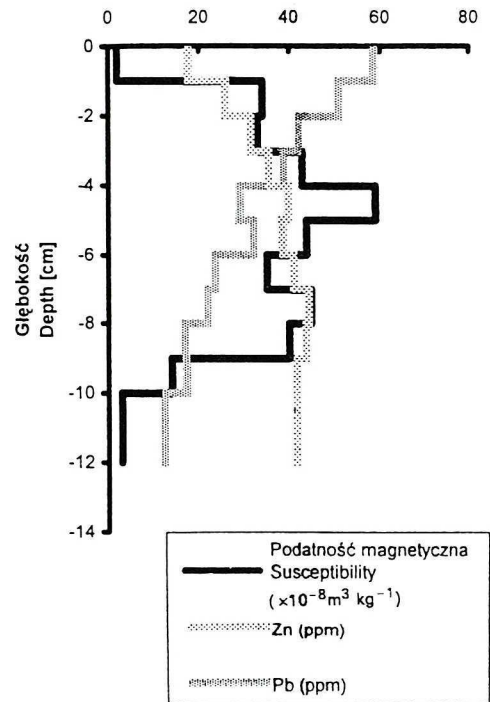
Bardziej wyrównana, choć niska, jest podatność magnetyczna torfów Puszczy Knyszyńskiej (Rys. 14). Opad pyłu przekraczał wartość 60 g/m²/rok, a wartość maksymalna to 203 g/m²/rok. Układ cynku i ołowiu jest spotykany w innych torfowiskach, to znaczy, że w górnej warstwie (do 5 cm) cynk przeważa nad ołowiem.

Wyższe wartości podatności magnetycznej stwierdzono w torfach Białowieskiego Parku Narodowego, a układ cynku i ołowiu w warstwie poniżej 6 cm jest podobny (Rys. 15). Może to być jednak związane z obserwowaną większą zawartością substancji mineralnej w próbach torfów pobranych w tym rejonie. Zawartość metali ciężkich nie przekracza wartości dopuszczalnych dla gleb. Średni roczny opad pyłu jest niższy w porównaniu z poprzednim punktem, maksymalny zaś podobny (203 g/m²/rok).



Rys. 10a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Kampinos

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Kampinos

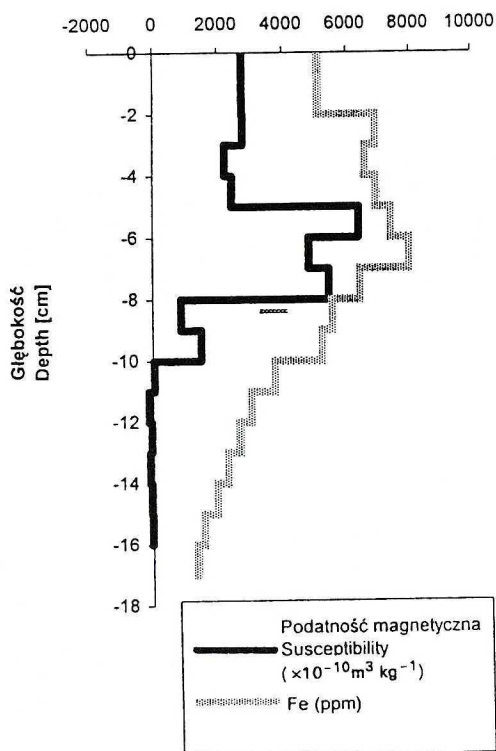


Rys. 10b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Kampinos

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Kampinos

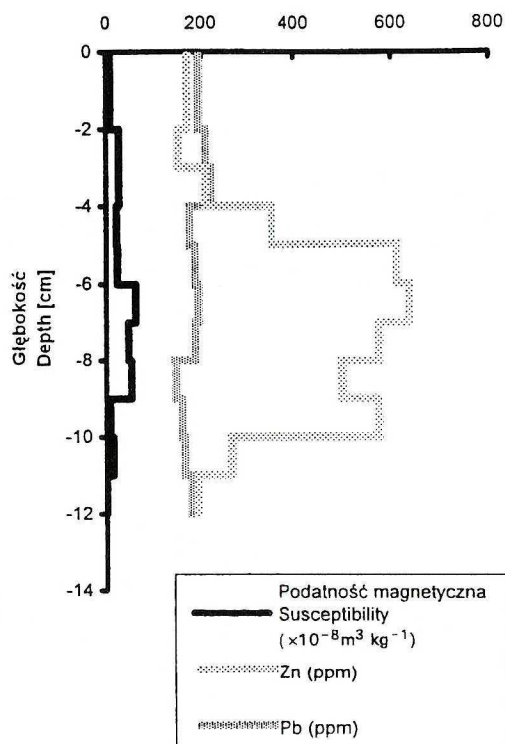
W rejonie Brześcia podatność magnetyczna jest w górnej warstwie niska, ale zróżnicowana (Rys. 16). Podobny układ występuje w zawartości cynku i ołowiu. Ten ostatni wzrasta wraz z głębokością (Rys. 16b). Opad pyłu $39 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, maksymalny $212 \text{ g/m}^2/\text{rok}$.

Podobny jest układ podatności magnetycznej w torfowiskach rejonu Sobibora i w Lasach Janowskich (Rys. 17 i 18). W tych ostatnich podatność magnetyczna jest nieco wyższa w górnych poziomach. Torfy z rejonu Sobiboru wykazują przewagę ołowiu nad cynkiem już na głębokości 4 cm i układ taki sięga końca profilu (Rys. 17b). Podobny układ jest w torfach Lasów Janowskich, choć rozpoczyna się nieco niżej (6–7 cm) (Rys. 18b). Opad pyłu przekracza wartość $48 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, maksymalny zaś przekracza $133 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Jedną z przyczyn stosunkowo wysokich wartości może być oddziaływanie cementowni z rejonu Chełma.



Rys. 11a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Myszków

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Myszków

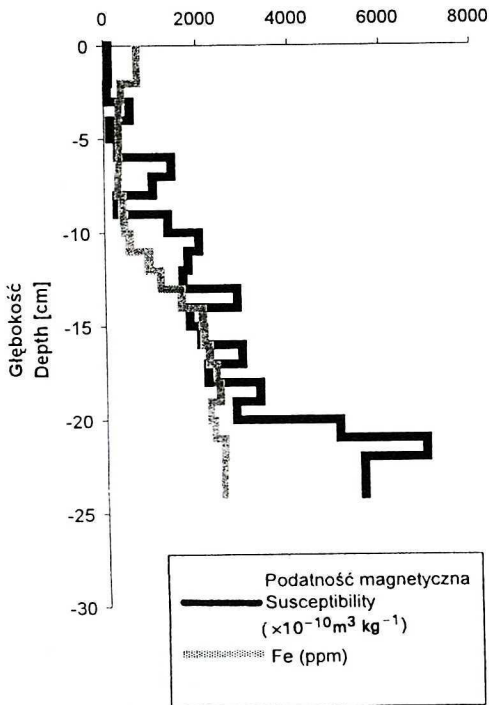


Rys. 11b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Myszków

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Myszków

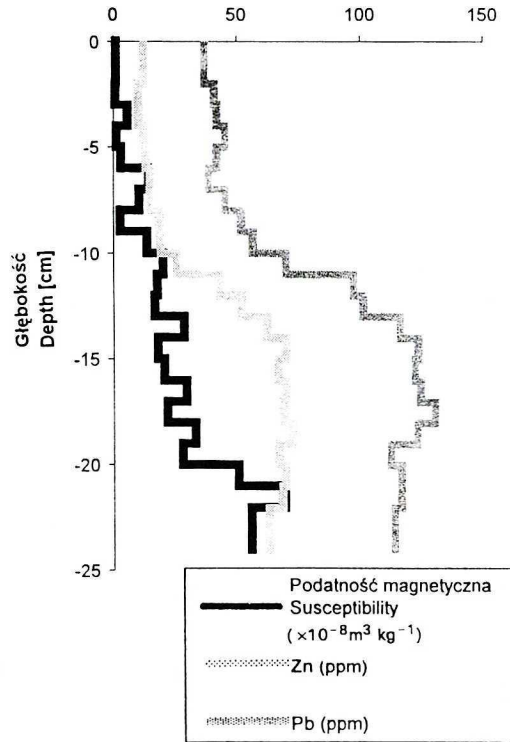
Między torfowiskami w Tarnawie i Wołosatym w Bieszczadzkim Parku Narodowym występują dość znaczne różnice, zarówno w podatności magnetycznej, jak i zawartości oraz układzie cynku i ołowiu (Rys. 19 i 20). W Tarnawie w całym profilu ołów przeważa nad cynkiem, a w warstwie 6–11 cm nastąpiło silne nagromadzenie ołowiu. Przyczyną jest bliskość drogi. Torfowisko w Bieszczadzkim Parku Narodowym wykazuje podatność magnetyczną do głębokości 5 cm. Do głębokości 2 cm cynk przeważa nad ołowiem, następnie radykalnie spada do wartości 4 mg/kg (Rys. 20b). Opad pyłu przekracza $37 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, a wartość maksymalna to $101 \text{ g/m}^2/\text{rok}$. Podobnie jak w innych transektach, podatność magnetyczna torfów jest zdecydowanie mniejsza w porównaniu z glebami leśnymi.

W większości badanych torfowisk wartość podatności magnetycznej, niezależnie od jej wielkości bezwzględnej, wykazuje nagły skokowy wzrost na



Rys. 12a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Czarny Dunajec

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Czarny Dunajec

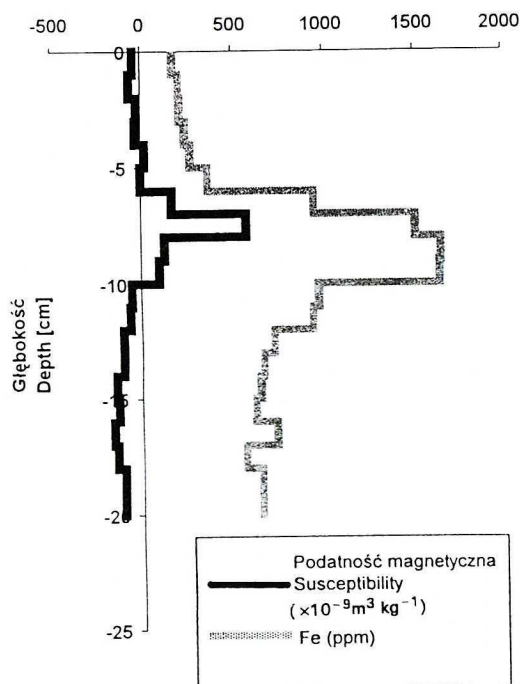


Rys. 12b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Czarny Dunajec

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Czarny Dunajec

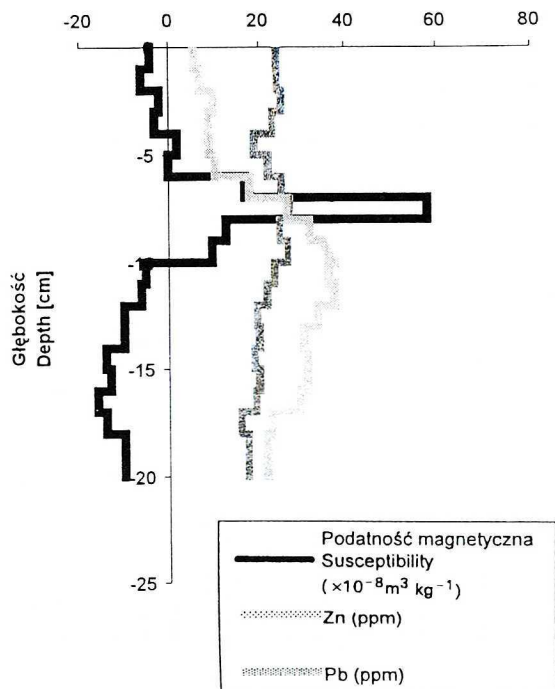
głębokości ok. 8–10 cm i rośnie w górę profilu. Szczególnie dobrze jest to widoczne w torfowiskach Węglińca i Gór Izerskich, ale również w przypadku Myszkowa, Puszczy Kampinoskiej, Lasów Janowskich czy nawet Słowińskiego Parku Narodowego. Badania radiometryczne przeprowadzone w Laboratorium Radiometrii Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, metodą radiowęglą ^{14}C , wykazały, że wzrost ten odpowiada chronologicznie okresowi powojennej industrializacji (1945–1955), a wyraźne maksima notowane są w latach siedemdziesiątych (wyniki niepublikowane). Zjawisko to w większym lub mniejszym natężeniu ma więc charakter ogólnopolski. Jedynie w przypadku torfowisk z Puszczy Bukowej i Borów Tucholskich nie odnotowano tego wzrostu.

Zawartość selenu (Tab. 1), oznaczana w wybranych poziomach o podwyższonej wartości podatności magnetycznej lub podwyższonej zawartości metali ciężkich w wybranych profilach, wahała się od 0,094 mg/kg w powierzchniowej części profilu z Kampinoskiego Parku Narodowego do wartości 2,563 mg/kg



Rys. 13a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Wigry

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Wigry



Rys. 13b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Wigry

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Wigry

w warstwie 3–4 cm w profilu z Węglińca, a więc w warstwie o najwyższej podatności magnetycznej (ponad $350 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$). Współczynnik korelacji pomiędzy zawartością selenu a podatnością magnetyczną wynosi 0,685, co wskazuje, że korelacja jest istotna (Tab. 1).

Analiza magnetomineralogiczna frakcji magnetycznej dokonana w poziomach profili z Gór Izerskich i Węglińca, a więc z miejsc, gdzie zawartość ferromagnetyków była dostatecznie wysoka, wykazała, że w poziomach tych z minerałów ferromagnetycznych występują prawie wyłącznie pseudopojedyncze (PSD) lub multidomeny (MD) magnetytu, o średnicy ziaren określonej na podstawie stosunku M_r (wysycenie remanencji) do podatności, pomiędzy 20 a 60 μm [12]. Pętla histerezy pokazuje, że materiał ten jest wysycany w polu 300 mT (Rys. 21). Z jednym wyjątkiem zależność częstotliwościowa (χ_{fd}) podatności magnetycznej (Tab. 2) waha się w granicach 2,0–3,3%, co jest charakterystyczne dla antropogenicznych cząstek magnetycznych pochodzących z popiołów lotnych po spalaniu węgla kamiennego lub brunatnego [9, 17]. Wartość koercji (H_c) dla ferromagnetyków występujących w torfach

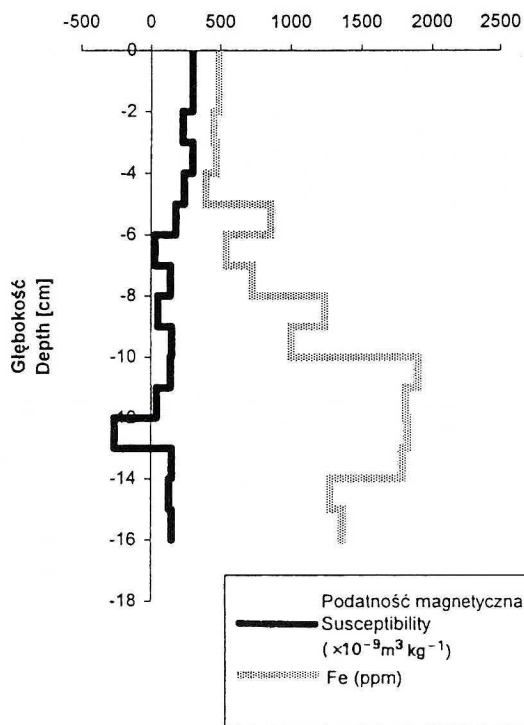
Tabela 1. Zawartość selenu w próbach torfu
Selenium content in peat samples

Nr próby Simple No	Miejsce poboru Localization	Głębokość Depth [cm]	Zaw. Se Se content [mg/kg]	χ [$10^{-8}m^3kg^{-1}$]
1	Góry Izerskie	0–1	0,98	63
2	Góry Izerskie	3–4	0,855	62,6
3	Góry Izerskie	6–7	0,192	69,8
4	Góry Izerskie	8–9	0,631	32,1
5	Góry Izerskie	12–13	0,426	–1,2
6	Węgliniec	0–1	0,143	85,3
7	Węgliniec	1–2	0,614	180,4
8	Węgliniec	3–4	2,563	252,8
9	Węgliniec	5–6	0,854	27,7
10	Węgliniec	9–10	0,647	0,6
11	Kampinoski PN	0–1	0,094	2,2
12	Kampinoski PN	4–5	0,271	26
13	Kampinoski PN	7–8	0,727	13,9
14	Czarny Dunajec	0–2	0,274	1,2
15	Czarny Dunajec	17–18	0,525	29,7
16	Świnoujście	7–8	0,381	2,2
17	Myszków	5–6	0,239	48,3
18	Wołosate	1–2	0,853	12,3
19	Wigierski PN	10–11	0,415	–0,5
20	Słowiński PN	0–1	0,362	7,4
Współczynnik korelacji Correlation coefficient		0,685		

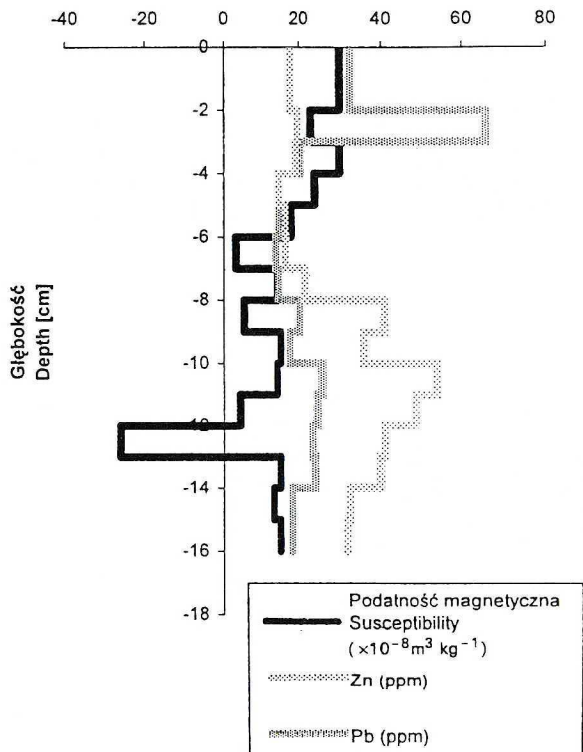
Tabela 2. Charakterystyka magnetyczna cząstek magnetycznych z torfowisk Gór Izerskich i Węglińca

Characteristic of magnetic particles from Izer Bog and Węgliniec

Torfowisko Peat bog	χ [$10^{-8}m^3kg^{-1}$]	χ_{fd} [%]	H_c [mT]	H_{cr} [mT]	M_s [mAm^2kg^{-1}]	M_r [mAm^2kg^{-1}]
Izerskie	117	4,0	10,29	–	40,06	9,59
	136	3,3	10,80	26,22	114,35	21,74
	32	2,1	14,76	–	36,76	7,07
	175	2,0	10,56	26,33	110,36	19,50
	17	2,3	11,30	–	41,77	6,17
Węgliniec	190	2,3	8,10	–	125,36	20,66
	350	2,1	9,17	23,34	239,48	41,58
	390	2,6	10,47	25,20	190,61	35,71
	51	2,9	10,76	–	49,42	9,31
	45	2,7	9,97	–	14,74	2,64



Rys. 14a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Puszcza Knyszyńska
Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Puszcza Knyszyńska

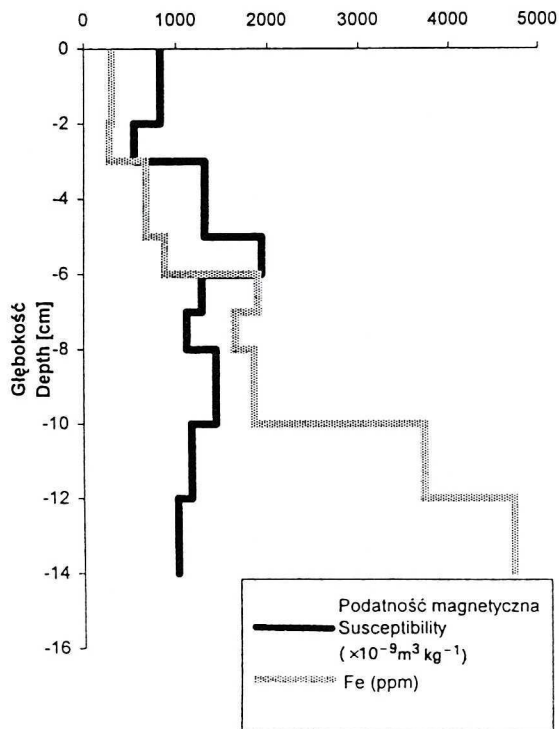


Rys. 14b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Puszcza Knyszyńska
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Puszcza Knyszyńska

Gór Izerskich wynosi od 10,29 do 14,76 mT (średnia 11,5), a dla ferromagnetyków z torfowisk Węglińca: od 8,10 do 10,76 (średnia 9,7) (Tab. 2). Według obserwacji dokonanych przez Flandersa [3] wartość H_c spada wraz ze wzrostem odległości od źródła emisji pyłów lotnych zawierających ferromagnetyki. Taka interpretacja sugerowałaby, że przynajmniej w części ferromagnetyki antropogeniczne obecne w torfowisku Węglińca pochodzą z emisji dalekiego zasięgu. Prawdopodobnie z Turowa lub nadgranicznych elektrowni niemieckich.

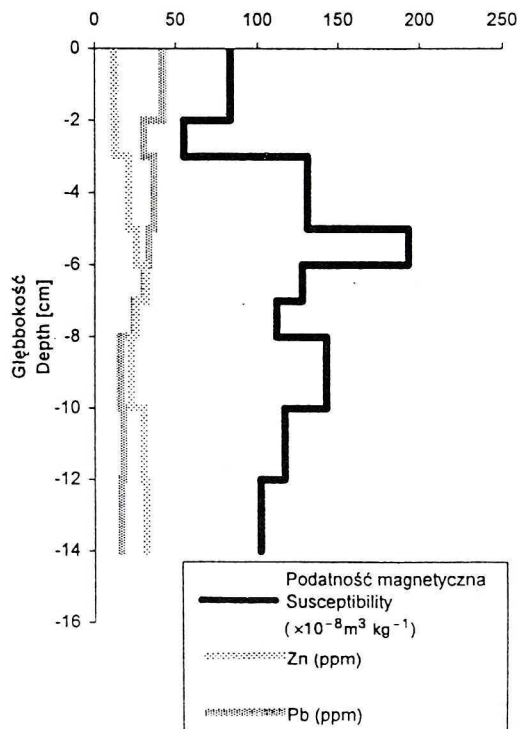
DYSKUSJA WYNIKÓW

Znaczny obszar badań, jak również zróżnicowana wielkość opadu powoduje określone trudności interpretacyjne zależności: podatność magnetyczna – wielkość emisji przemysłowych. Potęguje to fakt, że większość torfowisk wysokich występuje w rejonach o niewielkich emisjach i emisjach przemysłowych w północnej i wschodniej części kraju. W części północnej kraju, wzdłuż



Rys. 15a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Puszcza Białowiecka

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Puszcza Białowiecka

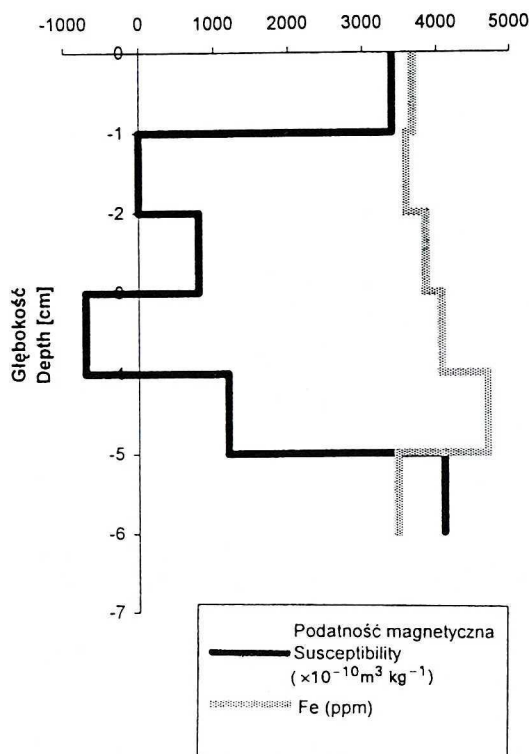


Rys. 15b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Puszcza Białowiecka

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Puszcza Białowiecka

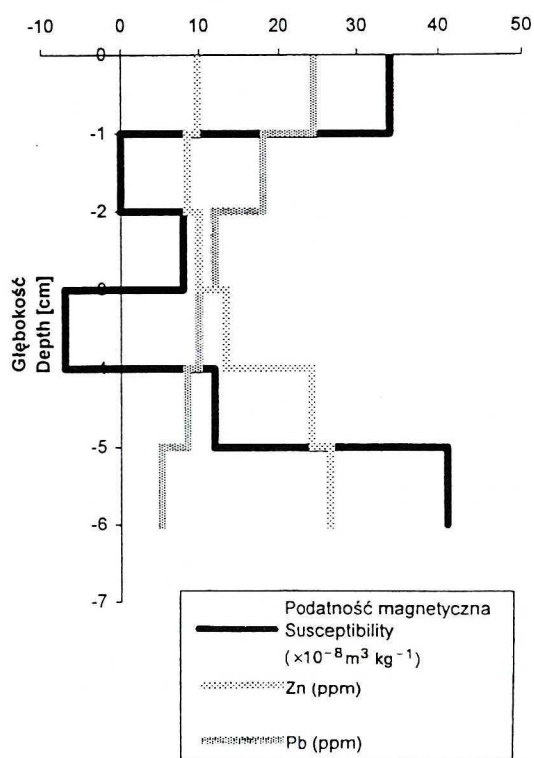
wybrzeża Morza Bałtyckiego, gdzie opad pyłu jest stosunkowo wysoki, podatność magnetyczna jest mała. Przyczyną tego jest znaczny udział w opadzie pyłu drobnych cząstek piasku i pyłu, źródłem których są piaszczyste plaże wybrzeża oraz wydmy nadmorskie. Udział w opadzie ferromagnetyków jest mały, stąd mała podatność magnetyczna torfów w tym rejonie, np. w rejonie Słowińskiego Parku Narodowego opad pyłu wynosi $67 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, a podatność magnetyczna maksymalna $8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. W rejonie Myszkowa, przy opadzie pyłu $26 \text{ g/m}^2/\text{rok}$, podatność magnetyczna wynosi $64 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Świadczy to, że w opadzie pyłów z Myszkowa znaczny jest udział ferromagnetyków, choć zawartość ich jest na tyle niska, że szczegółowa charakterystyka mineralogiczna przy wykorzystaniu parametrów magnetycznych jest utrudniona.

Dla gleb leśnych Rejonowej Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) w Katowicach współczynnik korelacji pomiędzy opadem pyłu a podatnością magnetyczną gleb wynosi 0,871 [18]. Zależność ta dla badanego obszaru torfowisk nie przekracza wartości 0,1. Jedną z przyczyn jest na pewno



Rys. 16a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Biała Podlaska

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Biała Podlaska

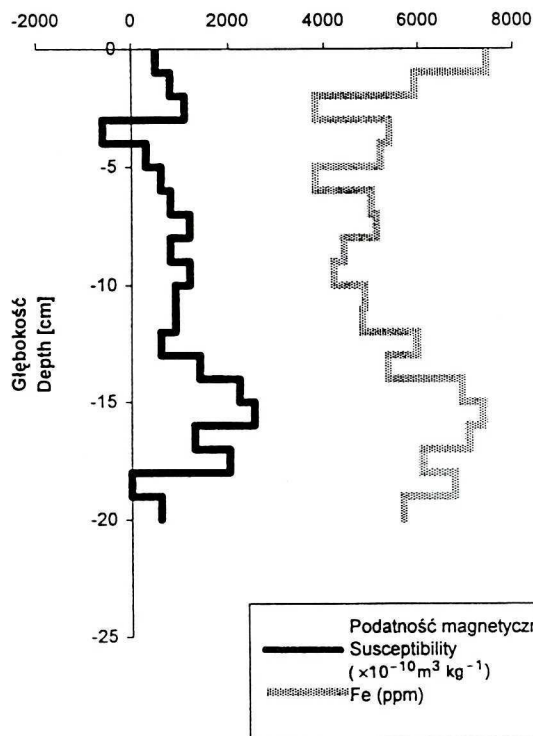


Rys. 16b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Biała Podlaska

Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Biała Podlaska

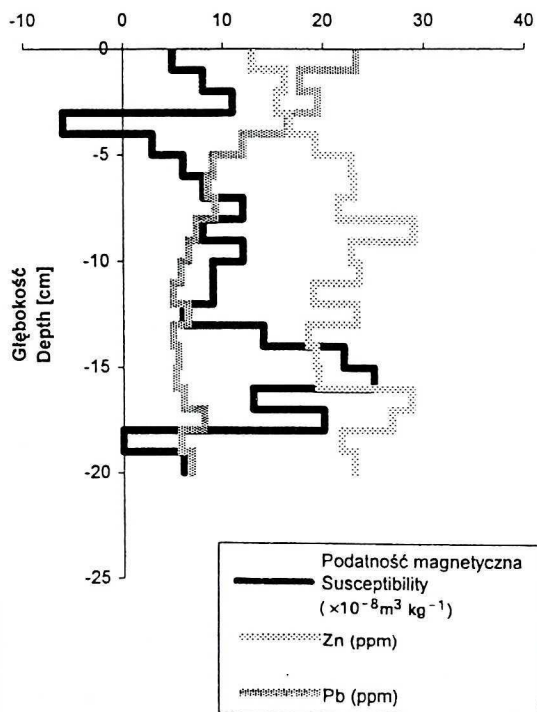
znaczna zmienność przestrzenna opadu pyłu i żelaza na obszarze całego kraju. Według badań IBL [11] współczynnik zmienności dla opadu pyłu w poszczególnych RDLP waha się od 67 do 267%, przy średniej 185% ($n = 350$ pkt). Jeszcze większe wahania występują w przypadku opadu żelaza. Współczynnik zmienności waha się od 74 do 300%, przy średniej 150 i $n = 350$. Zmienność jest więc ogromna i liczba punktów pomiaru, potrzebna do uzyskania statystycznie istotnych danych, przekracza na tym etapie możliwości finansowe Państwa.

Przeprowadzone badania torfowisk wskazują, że gdy podatność magnetyczna na terenach niezalesionych nie przekracza wartości $30 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, możemy mówić o małym zagrożeniu. Powyżej tej wartości zagrożenie przez imisje przemysłowe jest średnie, a powyżej $50 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ duże. Przy wartości $> 50 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, zawartość ołowiu w torfie z reguły przekracza graniczną wartość $50 \text{ mg}/\text{kg}$ [2].



Rys. 17a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Lasy Sobiborskie

Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Lasy Sobiborskie



Rys. 17b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Lasy Sobiborskie

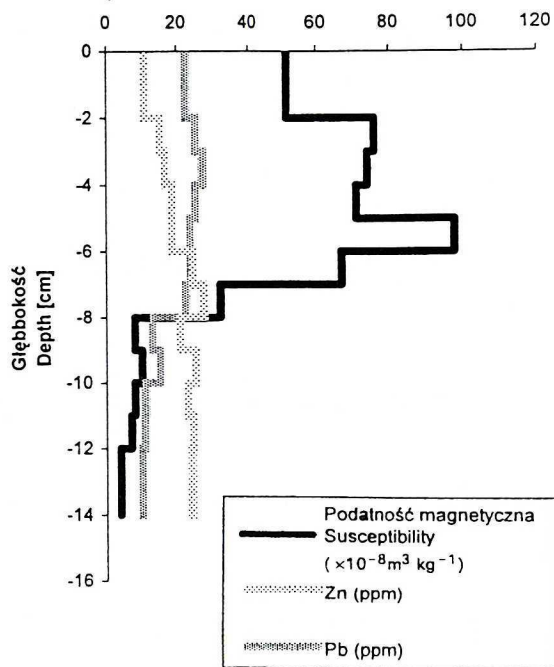
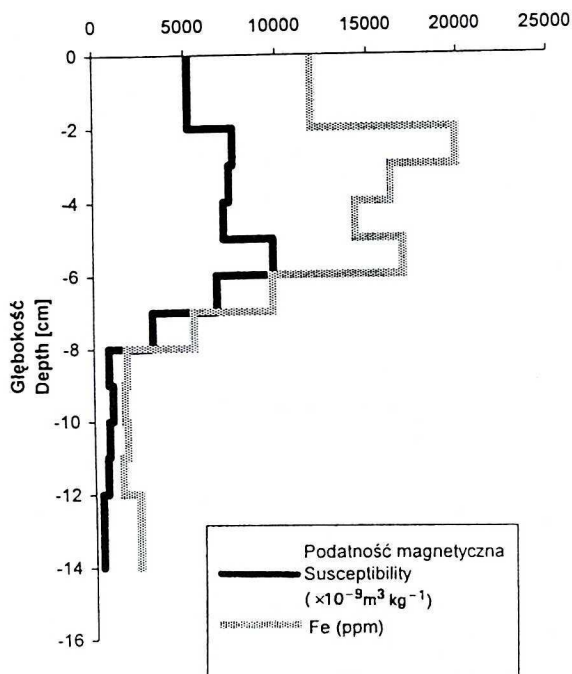
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Lasy Sobiborskie

Badania wykazały również, że na terenach bezleśnych, w określonym oddaleniu od skupisk miejskich i dróg, podatność magnetyczna torfów jest 20–100-krotnie mniejsza w porównaniu do gleb leśnych. Mniejszej podatności towarzyszy również mniejsza zawartość ołowiu i innych metali w torfach.

Jak wynika z wcześniejszych badań zawartości metali ciężkich w torfach [14], współczynnik nagromadzenia metali ciężkich jest największy dla ołowiu, i w torfach na Hali Szrenickiej (Karkonosze) wynosił 100 dla ołowiu, a dla cynku 1,9, kadmu 5,0, żelaza 4,7, miedzi 4,5, manganu 3,0.

Dość wyraźna jest korelacja pomiędzy zawartością selenu w torfach a ich podatnością magnetyczną (Tab. 1). Znacznie większe są wahania współczynnika korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną torfów a zawartością ołowiu (Tab. 3).

Z danych (Tab. 3) wynika, że współczynnik korelacji jest wyższy w rejonach, gdzie stwierdzono wyższą podatność magnetyczną (Czarny Dunajec, Myszków, Wróciszów Dolny).

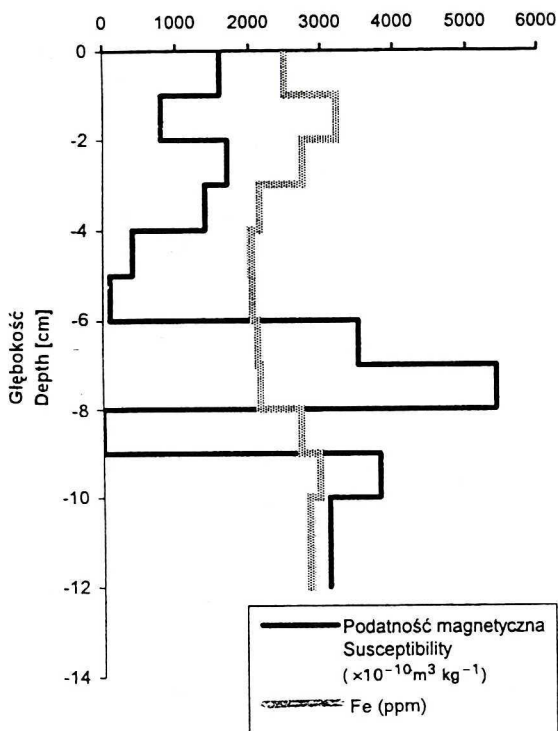


Rys. 18a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Lasy Janowskie
Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Lasy Janowskie

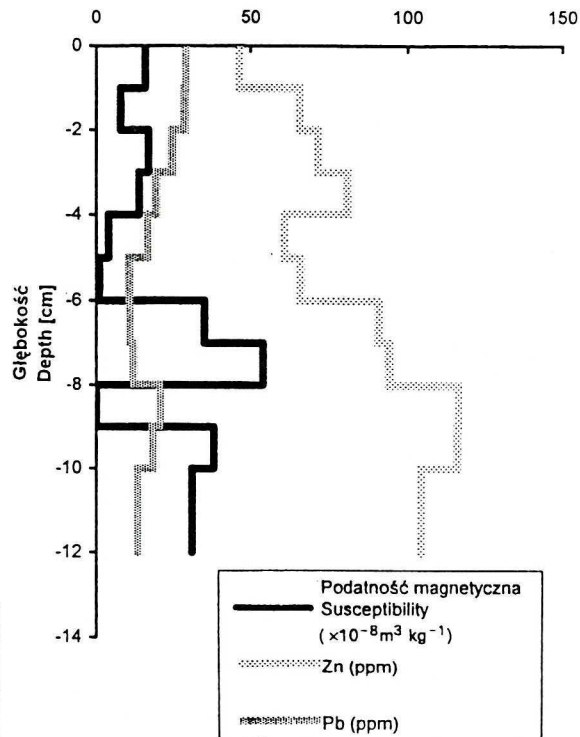
Rys. 18b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Lasy Janowskie
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Lasy Janowskie

Tabela 3. Współczynniki korelacji pomiędzy podatnością magnetyczną i zawartością metali ciężkich
Correlation coefficients between magnetic susceptibility and heavy metal content

	Fe	Zn	Pb
Biała Podlaska	-0,393	0,049	0,45
Bory Tucholskie	-0,632	-0,631	-0,493
Czarny Dunajec	0,589	-0,287	-0,534
Dębno	0,729	-0,862	-0,303
Kampinos	0,893	-0,074	-0,379
Lasy Janowskie	0,952	-0,907	-0,555
Lasy Sobiborskie	0,257	-0,388	-0,182
Łeba	-0,015	0,105	-0,319
Myszków	0,299	0,735	-0,794
Puszcza Białowieska	0,037	-0,049	-0,488
Puszcza Bukowa	-0,315	-0,389	-0,237
Puszcza Knyszyńska	-0,599	-0,185	-0,5
Swinoujście	-0,305	-0,112	-0,082
Tarnawa	-0,02	-0,383	-0,426
Węgliniec	0,585	-0,169	-0,41
Wigry	0,564	-0,678	-0,256
Wróciszów Dolny	0,478	-0,673	0,67
Wołosate	0,652	-0,946	0,124



Rys. 19a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Tarnawa
Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Tarnawa



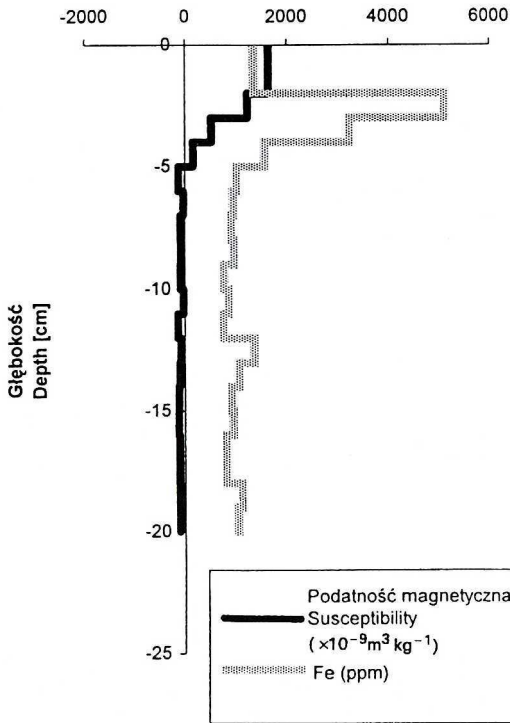
Rys. 19b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Tarnawa
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Tarnawa

WNIOSKI

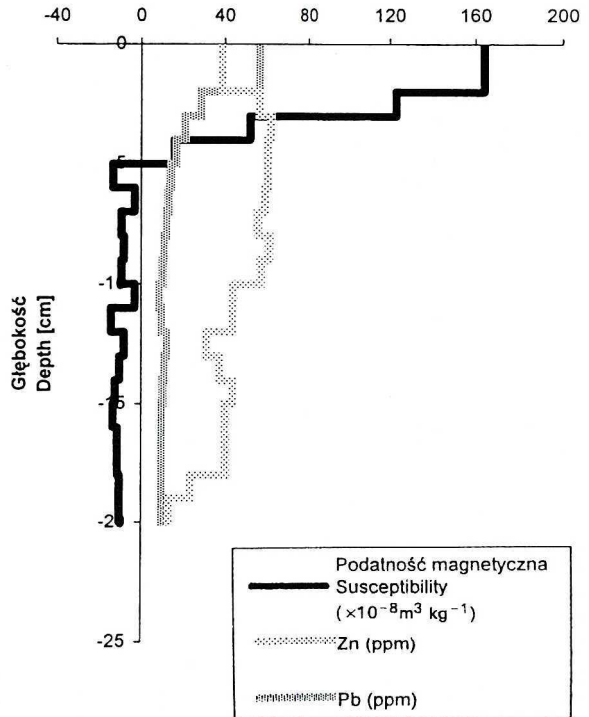
1. W przypadku znacznego udziału w całkowitym opadzie pyłów pochodzenia naturalnego, w których przeważa materiał diamagnetyczny (pyły eoliczne, erozyjne), korelacja pomiędzy wielkością opadu pyłu a podatnością magnetyczną zostaje zakłócona (np. obszary plaż i wydmy nadmorskich).

2. Podatność magnetyczna terenów bezleśnych, przy tym samym opadzie pyłów, jest 10–50 razy mniejsza w porównaniu z obszarami zalesionymi. Wynika to z zatrzymywania zanieczyszczeń przez korony drzew, a następnie ich przemieszczania do górnych poziomów gleb leśnych. Torfowiska uważa należy za jedyne obszary pozwalające na ocenę wielkości emisji przemysłowych w aspekcie historycznym.

3. Podatność magnetyczna torfowisk wzrasta z północy na południe oraz maleje z południowego zachodu na południowy wschód. Odpowiada to mniej więcej lokalizacji dużych elektrowni węglowych. Te ostatnie, dzięki wysokim kominom oraz znacznej emisji zanieczyszczeń ($< 10 \mu\text{m}$ aerozoli), są odpo-

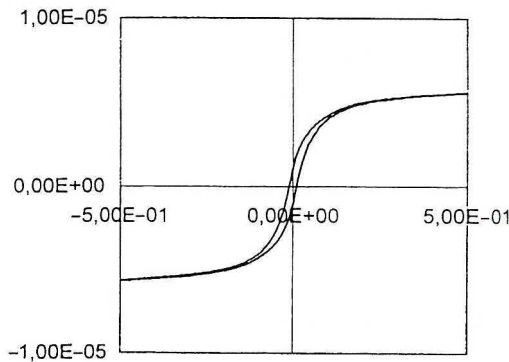


Rys. 20a. Podatność magnetyczna oraz zawartość Fe w profilu torfowym Wołosate
Magnetic susceptibility and Fe content in peat profile from Wołosate



Rys. 20b. Podatność magnetyczna oraz zawartość Zn i Pb w profilu torfowym Wołosate
Magnetic susceptibility and Zn and Pb contents in peat profile from Wołosate

Węgliniec Peat



Rys. 21. Pętla histerezy próby z najsilniejszego magnetycznie poziomu z torfowiska Węgliniec
Hysteresis loop of sample from most magnetically enhanced peat layers from the Węgliniec Bog

wiedzialne za stosunkowo wysoką podatność magnetyczną w części południowo-wschodniej oraz wykazywaną przewagę ołowiu nad cynkiem w torfach i glebach w tamtym rejonie. Spośród badanych torfowisk wysokich jedynie torfowiska w rejonie Węglińca i w Górach Izerskich wykazują wysoki stopień zanieczyszczenia.

4. W zachodniej części transektu wpływ na wielkość podatności magnetycznej torfów, oprócz źródeł lokalnych mają zanieczyszczenia napływające z Niemiec i Czech. W rejonach tych przeważają wiatry z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego.

Podatność magnetyczna torfowisk wydaje się być dobrym parametrem do oceny przemysłowego zanieczyszczenia terenów bezleśnych. Ocenę można pogłębić przez określenie zawartości żelaza, ołowiu i selenu w torfach, gdy podatność magnetyczna przekracza wartość $50 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

Praca została sfinansowana z grantu projektu KBN nr 3 P407 066 06 pt. „Ferromagnetyki pochodzenia antropogenicznego i ich przemiany w glebach objętych wpływem emisji przemysłowych”.

LITERATURA

- [1] Dedić A.N., P. Hoffmann, J. Ensling: *Chemical characterization of iron in atmospheric aerosols*. Atmospheric Environment, **26A**, 2545–2548 (1992).
- [2] Erläuterungen zur Verordnung vom 9. Juni 1986 über schadstoffe im Boden (VSBo), Bundesamt für Umweltschutz, Bern 1987.
- [3] Flanders P.J.: *Collection, measurements and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment*, J. Appl. Phys., **75**, 5931–5936 (1994).
- [4] Hławiczka S.: *Emisja metali do powietrza z procesów energetycznego wykorzystania paliw w Polsce. Cz. I. Spalanie węgla kamiennego*, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, **6**, 143–145 (1994).
- [5] Hławiczka S.: *Emisja metali do powietrza z procesów energetycznego wykorzystania paliw w Polsce. Cz. II. Spalanie węgla brunatnego, koksu, gazu, oleju opałowego, drewna*, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, **1**, 5–8 (1995).
- [6] Hulett L.D., A.J. Weinberger, K. J. Northcutt, M. Ferguson: *Chemical species in fly ash from coal-burning power plant*, Science, **210**, 1356–1358 (1980).
- [7] Koniecznyński J.: *Skuteczność pracy elektrofiltrów a emisja metali śladowych w spalinach elektrowni węglowych*, Ochrona Powietrza, **1–3**, 7–14 (1982).
- [8] Koniecznyński J., J. Tarkowski: *Sposób odpylania spalin kotłowych a emisja metali*, Archiwum Ochrony Środowiska, **2**, 33–51 (1984).
- [9] Magiera T., Z. Strzyszcz: *Ferromagnetic minerals of anthropogenic origin in soils of some Polish national parks*, Water Air and Soil Pollution, **124**, 37–48 (2000).
- [10] Magiera T., Z. Strzyszcz, A. Kapicka, E. Petrovsky: *Ferromagnetic minerals of anthropogenic origin in highland peats in south-western Poland and northern Bohemia*, Geologica Carpatica, **51**, 199–200 (2000).
- [11] *Monitoring Techniczny – Zanieczyszczenia Powietrza w latach 1986–1993*, Instytut Badawczy Leśnictwa (IBL), Warszawa 1994.
- [12] Oldfield F., K. Tolonen, R. Thompson: *History of particulate atmospheric pollution from magnetic measurements in dated Finnish peat profiles*, Ambio, **10**, 185–188 (1981).
- [13] Pacyna J.M.: *Elektrownie węglowe jako źródła skażenia środowiska metalami ciężkimi i radionuklidami*, Prace Naukowe IIS Politechniki Wrocławskiej, Seria monograficzna nr 17, Wrocław 1980.

- [14] Strzyszczyk Z.: *Ferromagnetism of soils in some Polish national parks*, *Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellschaft*, **66**, II, 1119–1122, (1991).
- [15] Strzyszczyk Z., L. Chróst: *Określenie depozycji niektórych metali ciężkich na przykładzie torfowiska wysokiego na Hali Izerskiej*, [in:] *Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy*, red. Z. Fischer, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN, 1995, 123–129.
- [16] Strzyszczyk Z., T. Magiera: *Ferromagnetyki – nowy wskaźnik zanieczyszczenia gleb leśnych przez emisje przemysłowe*, [in:] *Materiały III Krajowego Sympozjum Instytutu Dendrologii PAN „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”*, Wydawnictwo Naukowe „SORUS”, Poznań 1996, 193–198.
- [17] Strzyszczyk Z., T. Magiera: *Magnetic susceptibility of forest soils in Polish – German border area*, *Geologica Carpathica*, **49**, 241–242 (1998).
- [18] Strzyszczyk Z., T. Magiera, Z. Bzowski: *Magnetic susceptibility as indicator of soil contamination in some regions of Poland*, *Roczniki Gleboznawcze, Suppl.*, **XLIV**, 85–93 (1994).
- [19] Tolonen K., F. Oldfield: *The record of the magnetic-mineral and heavy metal deposition at Regent Street Bog, Fredicton, New Brunswick, Canada*, *Phys. Earth Planet Int.*, **42**, 57–66 (1986).
- [20] Tomza U.: *Trace element patterns in atmospheric aerosols at Katowice*, *Prace Naukowe UŚ*, 924, 120, Katowice 1987.
- [21] Żurek S.: *Złoża torfowe Polski na tle stref torfowych Europy*, *IGPZ PAN*, 4 (1987).

Wpłynęło: 2 czerwca 2000, zaakceptowano do druku: 18 grudnia 2000.