

*Andrzej Czerniak, Agata Poszyler-Adamska*

**OCENA ZASIĘGU MIGRACJI PIERWIASTKÓW  
ŚLADOWYCH GENEROWANYCH PRZEZ RUCH  
SAMOCHODOWY METODĄ POMIARÓW  
MAGNETOMETRYCZNYCH GLEB**

***ROAD TRANSPORTATION IMPACT ON THE SOIL  
ENVIRONMENT – TRACE METALS MIGRATION RANGE  
ASSESSED BY MAGNETIC SURVEY OF SOIL***

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono nową metodę oceny zasięgu migracji pionowej i poziomej pierwiastków śladowych w glebach leśnych w sąsiedztwie dróg. W badaniach monitoringowych mierzono podatność magnetyczną gleb w układzie poziomym i pionowym w różnych odległościach od drogi o dużym nasileniu ruchu samochodowego. Procedura pomiarów podatności magnetycznej oparta jest na zauważalnym związku pomiędzy wzrostem podatności magnetycznej a zawartością metali ciężkich w środowisku glebowym.

Przeprowadzone badania wykazały podwyższoną powierzchnię podatność magnetyczną gleb w pasie przydrożnym o szerokości do 5,0 m (ok.  $50 \times 10^{-5}$  jednostek). Pas o szerokości od 5,0 do 40,0 m cechował się podatnością magnetyczną na poziomie tła ( $\kappa \leq 22 \times 10^{-5}$  jednostek). Średnia podatność magnetyczna dla gleb leśnych w Polsce wynosi  $22 \times 10^{-5}$  jednostek.

Analiza pionowych rozkładów podatności magnetycznej wykazała maksimum wartości  $\kappa$  na głębokości od 5,0 do 10,0 cm

Intensywny ruch samochodowy w krajach Europy Wschodniej wymusza rozbudowę i modernizację istniejącej sieci autostrad i tras szybkiego ruchu. Transport samochodowy generuje różne zanieczyszczenia chemiczne, w tym pierwiastki śladowe (Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu). Nadmierne ilości niektórych pierwiastków śladowych mogą destabilizować homeostazę środowiska glebowego oraz osłabiać kondycję drzewostanów. Szkodliwość pierwiastków śladowych zależy nie tylko od stężenia, ale także ich form występowania. Potencjalne zagrożenia dla środowiska glebowego pierwiastkami metalicznymi można ocenić stosując metodę

pomiaru podatności magnetometrycznej. Jest ona łatwo mierzalną wielkością geofizyczną opisującą zdolność danej substancji do zmian namagnesowania pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Magnetometria jest metodą alternatywną w stosunku do kosztownych metod geochemicznych. Podatność magnetyczna na powierzchni gleby wynosząca od 30 do  $50 \times 10^{-5}$  jednostek SI może oznaczać, że ilość przynajmniej jednego z metali przekracza wartość graniczną dopuszczalną dla gleb terenów leśnych.

Celem podjętych badań było określenie rozkładu powierzchniowej i pionowej podatności magnetycznej gleb w sąsiedztwie drogi krajowej nr 11. Pomiary podatności magnetycznej przeprowadzono wzdłuż wyznaczonych geodezyjnie transektów badawczych o długości 40 m i przebiegały prostopadle do krawędzi drogi. Odczyty wykonywano co 0,5m, a każdy ostateczny wynik uzyskiwano z uśrednienia 10 odczytów. Pionowy rozkład podatności magnetycznej określano do głębokości ok. 20 cm. Badania przeprowadzono miernikiem podatności magnetycznej SM 400 produkcji czeskiej typu ZH Instruments – Brno.

Przeprowadzone badania powierzchniowej i pionowej podatności magnetycznej wykazały, że największa koncentracja ferrimagnetyków występuje w nawierzchni i na poboczu drogi krajowej nr 11. Nie stwierdzono intensywnej migracji ferrimagnetyków do leśnych stref ekotonowych. Podwyższoną powierzchniową podatność magnetyczną gleb odnotowano w pasie przydrożnym o szerokości do 5,0 m (ok.  $50 \times 10^{-5}$  jednostek). Pas o szerokości od 5,0 do 40,0 m cechował się podatnością magnetyczną na poziomie tła ( $\kappa \leq 20 \times 10^{-5}$  jednostek). Średnia podatność magnetyczna dla gleb leśnych w Polsce wynosi  $22 \times 10^{-5}$  jednostek. Analiza pionowych rozkładów podatności magnetycznej wykazała maksimum wartości  $\kappa$  na głębokości od 5,0 do 10,0 cm.

Mniejsza zawartość ferrimagnetyków w glebie w sąsiedztwie brzoź może wynikać z predyspozycji tego gatunku do intensywnego pobierania i bioakumulacji pierwiastków śladowych w aparacie asymilacyjnym.

### Summary

*Policy of road transportation development in the countries of Central Europe imposes construction of new and modernization of existing roads for still increasing transportation burdens. Road transportation release broad range of chemical pollutants, including trace metals (Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu). High concentration of some chemical elements may destabilize homeostatic balance of the soil environment and may decrease health of forest stands. Negative impact of trace metals depends not only on its concentration but also on a form as well as chemical activity of chemical compounds which include trace metals. Potential negative impact of trace metals on the soil environment can be assessed with utilization of magnetic soil survey methods. An easy-to-measure geophysical indicator of magnetic properties of some materials is magnetic susceptibility, which describes the magnetic response of a sample when exposed to a weak increasing magnetic field and is directly linked to concentrations of ferromagnetic minerals. For example, if magnetic susceptibility over soil surface equals 30 to  $50 \times 10^{-5}$  SI units, it may be assumed that concentration of at least one trace metal goes beyond threshold natural value for forest ecosystem soils.*

*The aim of the research was assessment of spatial distribution of magnetic susceptibility of forest soils in the vicinity of the state expressway no. 11. Magnetic*

susceptibility was measured along 40 m transects established with utilization of land survey methods. The transect axis were perpendicularly oriented against verge of road section. The resolution of measurements was 0.5 m. The result of measurement for transect axis was an average value calculated out of 10 separate measurements. Vertical distribution of magnetic susceptibility was measured up to 20 cm b.g.s. Magnetic susceptibility of cores was measured in the cores with MS2F sensor (Bartington Instruments).

The highest  $\kappa$  values were noted for the asphalt concrete road pavement layer which was constructed with material containing ferromagnetic minerals. In general, patterns of  $\kappa$  values vertical distribution at experimental site were similar to the distribution patterns typical for natural, unpolluted forest soils. Intensive migration of ferromagnetic particles into forest ecotone zones was not identified. Increased surface magnetic susceptibility was noted for the area stretching up to 5 m from the road surface verge. ( $\kappa$  values no less than  $50 \times 10^{-5}$  SI units). Farther away from the road verge (5 to 40 m) soil magnetic susceptibility did not exceed  $22 \times 10^{-5}$  SI units – average threshold value for natural soil magnetic susceptibility of forest areas in Poland. Vertical magnetic survey returned maximum  $\kappa$  values at depth 5 to 10 cm b.g.s. Suppressed concentration of ferromagnetic particles in soil under Silver Birch stands may result from the species capability to uptake and bioaccumulate the magnetic particles in assimilative organs.

## WSTĘP

W związku z intensyfikacją ruchu samochodowego, kraje Europy Wschodniej zmuszone są rozbudowywać i modernizować istniejącą sieć autostrad i tras szybkiego ruchu. Założenia inwestycyjne przewidują, że w Polsce do 2010 r. powstanie 1700 km nowych autostrad i 1500 km dróg ekspresowych. Transport samochodowy generuje różne zanieczyszczenia chemiczne, w tym pierwiastki śladowe (Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Cr, Ni, Cu).

Nadmierne ilości niektórych pierwiastków śladowych mogą destabilizować homeostazę środowiska glebowego oraz osłabiać kondycję drzewostanów. Szkodliwość pierwiastków śladowych zależy nie tylko od stężenia, ale także ich form występowania [Czerniak 2004]. Zawartość pierwiastków śladowych w glebie i wodzie podlega w Polsce kontroli w oparciu o Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r.

W nowoczesnym monitoringu środowiska należy stosować najefektywniejsze metody pozwalające i zobrazować obecny stan środowiska oraz prognozować przyszłe zmiany stanu środowiska [Poszyler-Adamska, Czerniak 2007]. Potencjalne zagrożenia dla środowiska glebowego pierwiastkami metalicznymi można ocenić stosując metodę pomiaru podatności magnetycznej. Podatność magnetyczna jest łatwo mierzalną wielkością geofizyczną opisującą zdolność danej substancji do zmian namagnesowania pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Na terenach zanieczyszczonych podatność magnetyczna jest znacznie podwyższona w stosunku do naturalnej [Czerniak 2006]. Procedura pomiarów podatności magnetycznej oparta jest na zauważalnym związku

między wzrostem podatności magnetycznej a zawartością metali ciężkich w środowisku glebowym. Beckwith [1986] wykazał zależność liniową pomiędzy zawartością cząstek magnetycznych a zawartością w pyłach miejskich Cu, Fe, Pb, i Zn. Magnetometria jest metodą alternatywną w stosunku do kosztownych metod geochemicznych [Magiera i in. 2003]. Metoda ta jest szczególnie przydatna na obszarach leśnych, gdzie długotrwała depozycja zanieczyszczeń (w tym również cząstek magnetycznych) następuje w sposób niezakłócony zabiegami agrotechnicznymi. W typowym profilu glebowym na terenach będących pod wpływem czynników antropogenicznych najwyższą podatność magnetyczną odnotowuje się w podpoziomie detrytusowym (Ofh), a więc w zależności od rozwoju profilu glebowego i grubości ściółki leśnej na głębokości ok. 3–7 cm. Strzyszczy i Magiera [2003] podają, że podatność magnetyczna na powierzchni gleby wynosząca od  $30$  do  $50 \times 10^{-5}$  jednostek SI może oznaczać, że ilość przynajmniej jednego z metali przekracza wartość graniczną dopuszczalną dla gleb terenów leśnych.

Podatność magnetyczną gleb można analizować poprzez określenie rozkładu powierzchniowego lub pionowego ferrimagnetyków. Ferrimagnetyki antropogeniczne pochodzenia pyłowego gromadzą się głównie w podpoziomie butwinowym (Of) i podpoziomie epihumusowym (Oh). Rozkład pionowej podatności magnetycznej można przeprowadzać z rozdzielczością 0,2 mm. Tak duża dokładność nie jest możliwa przy zastosowaniu tradycyjnych metod chemicznych. Znajomość rozkładu pionowego ferrimagnetyków pozwala określić antropogeniczne bądź naturalne źródło ich pochodzenia oraz modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w glebie.

Najbogatsze w ferrimagnetyki są pyły metalurgiczne związane z hutnictwem żelaza. Wysoka podatność magnetyczna pyłów i żużli metalurgicznych związana jest głównie z wysoką zawartością tlenków żelaza i innych pierwiastków metalicznych. Głównym źródłem ferrimagnetyków w popiołach lotnych są ferrimagnetyki zawarte w węglu oraz siarczki ulegające w trakcie spalania przekształceniu w magnetyczne formy żelaza.

W Polsce badania podatności magnetycznej w glebach leśnych prowadzono na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach oraz parków narodowych [Strzyszczy, Magiera 2003]. Podatność magnetyczna tych gleb jest ściśle skorelowana z koncentracją metali ciężkich. Podwyższona zawartość ferrimagnetyków w górnej warstwie gleby ma istotny wpływ na mikroorganizmy glebowe. Przyjmuje się, że gleby nie zanieczyszczone charakteryzują się naturalną podatnością magnetyczną (poniżej  $30,0 \times 10^{-5}$  jednostek SI). Podatność magnetyczna w przedziale od  $30,0 \times 10^{-5}$  do  $50,0 \times 10^{-5}$  jednostek SI wskazuje na podwyższoną zawartość antropogenicznych ferrimagnetyków. Podatność magnetyczną od  $50,0 \times 10^{-5}$  do  $100,0 \times 10^{-5}$  jednostek SI uznaje się jako wysoką, a powyżej  $100,0 \times 10^{-5}$  jako bardzo wysoką. Średnia krajowa podatność magnetyczna dla gleb leśnych wynosi  $22,0 \times 10^{-5}$  jednostek SI.

## CEL I LOKALIZACJA BADAŃ

Źródła cząstek magnetycznych deponowanych w glebie przydrożnej to: sadza z układów wydechowych, cząstki pochodzące ze zużywających się metalowych części ruchomych, hamulców, opon, cząstki magnetyczne z korozji elementów metalowych i powłok lakierniczych oraz ścierająca się nawierzchnia asfaltowa.

Celem podjętych badań było określenie rozkładu powierzchniowej i pionowej podatności magnetycznej gleb w sąsiedztwie drogi krajowej nr 11. Badania przeprowadzono w Nadleśnictwa Doświadczalnym Siemianice należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

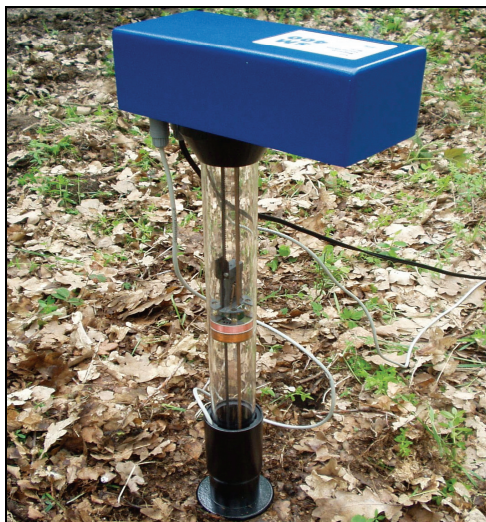
## METODA BADAŃ

Pomiary podatności magnetycznej przeprowadzano wzdłuż wyznaczonych geodezyjnie transektów badawczych. Transekty miały długość 40 m i przebiegały prostopadle do krawędzi drogi. Odczyty wykonywano co 0,5 m. Każdy ostateczny wynik dla wyznaczonego transektu uzyskiwano z uśrednienia 10 odczytów. Poszczególne odczyty, z których obliczano średnie, wykonywano w 3 minitransektach prostopadłych to transektu głównego. Wartości podatności magnetycznej podano w bezwymiarowych jednostkach SI.

Pionowy rozkład podatności magnetycznej określano do głębokości ok. 20 cm. Badania przeprowadzono miernikiem podatności magnetycznej SM 400 produkcji czeskiej typu ZH Instruments – Brno (rys. 1). Pobierano również rdzenie glebowe sondą Huga o długości 20 cm. Rdzenie o średnicy 35 mm pobierano zachowując naturalny układ profilu glebowego. Pomiary podatności magnetycznej w rdzeniach wykonano czujnikiem MS2F „Bartington” z rozdzielczością 0,2 mm.

Do pomiarów powierzchniowej podatności magnetycznej użyto miernika wyposażonego w angielski czujnik terenowy MS2D firmy „Bartington Instruments” (rys. 2.). W celu precyzyjnego określania pozycji geograficznej mierzonego punktu czujnik podatności magnetycznej zintegrowano z systemem GPS „Pathfinder” amerykańskiej firmy „Trimble”. Sprzęt pomiarowy udostępnił Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze.

W pracy zaprezentowano najbardziej charakterystyczne rozkłady poziomej i pionowej podatności magnetycznej.



**Rysunek 1.** Miernik pionowego rozkładu podatności magnetycznej

**Figure 1.** Surface magnetic susceptibility meter set



**Rysunek 2.** Miernik poziomego rozkładu podatności magnetycznej

**Figure 2.** Vertical magnetic susceptibility meter set

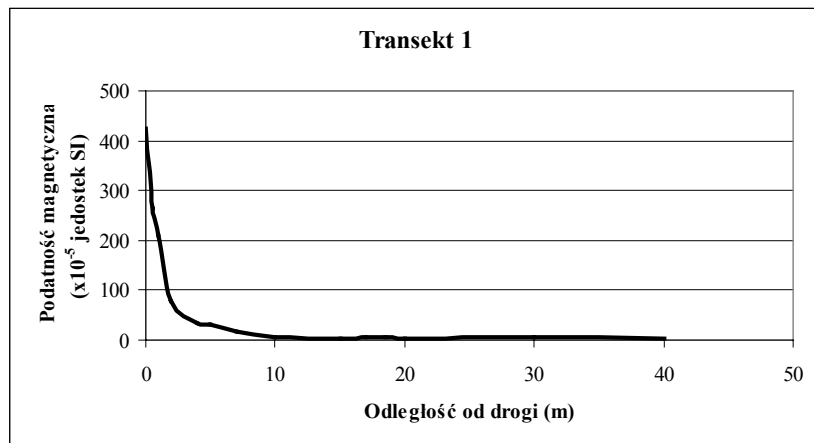
### WYNIKI BADAŃ PODATNOŚCI MAGNETYCZNEJ MIERZONEJ NA POWIERZCHNI GLEBY

Największe wartości  $\kappa$  powierzchniowej podatności magnetycznej odnotowano w nawierzchni asfaltowej. Wartości te były wysokie i wynikały z obecności ferrimagnetyków w kompozycie asfaltowym, z którego wykonano nawierzchnię drogową. Pomierzone wartości mieściły się w przedziale od  $1011\text{--}1337 \times 10^{-5}$  jednostek SI. Podatność magnetyczna nawierzchni była stosunkowo jednorodna, zmienność wartości  $\kappa$  nie przekroczyła 10%.

W transektach 1 i 2 wartości  $\kappa$  odnotowane na granicy nawierzchni i pobocza były mniejsze o ok. 50% (rys. 3, 4). W transekcje 3 wartość  $\kappa$  wynosiła ok. 200 jednostek SI (rys. 5.).

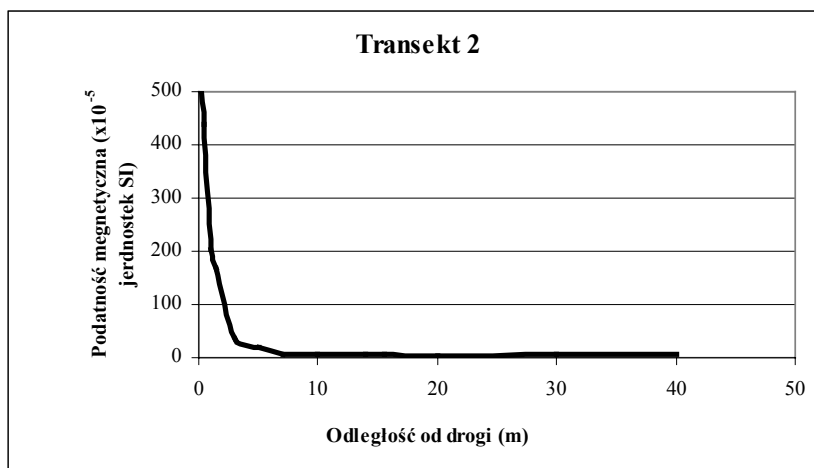
W transekcje nr 1 średnie wartości  $\kappa$  pomierzone 1,0 m od krawędzi asfaltu były dość wysokie w granicach  $160\text{--}210 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI i cechowały się dosyć dużą zmiennością. Cząstki magnetyczne rozmieszczone były w badanym podłożu nierównomiernie. W odległości 2,0 m od drogi wartość  $\kappa$  spadła do  $96,0 \times 10^{-5}$  jednostek, a w odległości 4,0 m do ok.  $50,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI, przy czym była ona bardziej jednorodna na mierzonej powierzchni. Na odcinku od 5,0 m do 20,0 m od krawędzi drogi wartość  $\kappa$  wa-

hała się pomiędzy  $15,0$  i  $20,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Na zaoranym pasie przeciwpożarowym wartość  $\kappa$  wynosiła  $10,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Wartości te uznawane są powszechnie jako naturalne [Strzyszczyński, Magiera 2003].



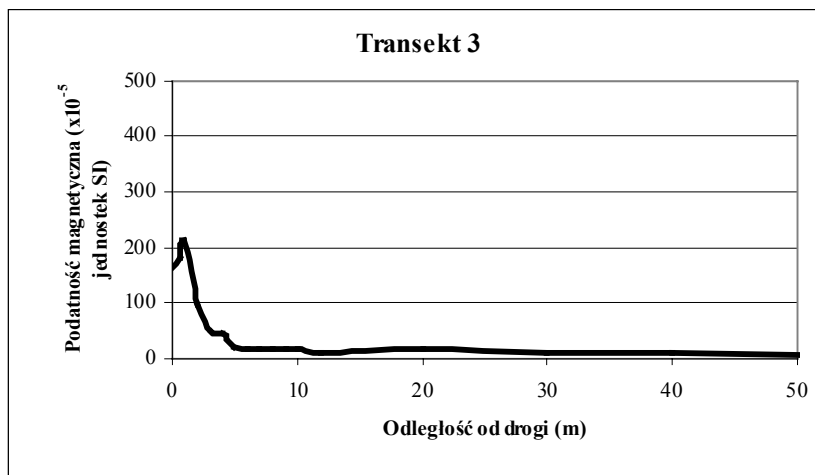
**Rysunek 3.** Rozkład powierzchniowej podatności magnetycznej w glebie wzdłuż transektu nr 1

**Figure 3.** Distributions of surface magnetic susceptibility along distance gradient to road for transect no. 1



**Rysunek 4.** Rozkład powierzchniowej podatności magnetycznej w glebie wzdłuż transektu nr 2

**Figure 4.** Distributions of surface magnetic susceptibility along distance gradient to road for transect no. 2



**Rysunek 5.** Rozkład powierzchniowej podatności magnetycznej w glebie wzdłuż transektu nr 3

**Figure 5.** Distributions of surface magnetic susceptibility along distance gradient to road for transect no. 3

W transekcje nr 2 średnia wartość  $\kappa$  pomierzona przy krawędzi drogi była znacznie wyższa niż w transekcje 1 i wynosiła  $587,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Podatność raptownie spadała w każdym kolejnym mierzonym punkcie, by osiągnąć  $167,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI w odległości 1,5 m od drogi na krawędzi przydrożnego rowu. Na dnie rowu przydrożnego wartość  $\kappa$  wynosiła  $340,0 \times 10^{-5}$ , a na zewnętrznej skarpie rowu, w odległości 5,0 m od drogi  $19,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Odnotowany rozkład był podobny do wartości mierzonych w odległości 5 m. od drogi w transekcje 1. W punkcie pomiarowym w odległości 7 m od krawędzi drogi wartość  $\kappa$  spadła już do  $8,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI i utrzymywała się na tym poziomie aż do końca transektu, czyli do odległości 40 m od drogi. Można więc z całą pewnością stwierdzić, że w w badanych transektach maksymalny zasięg emisji cząstek magnetycznych z drogi wynosił tylko ok. 5,0m.

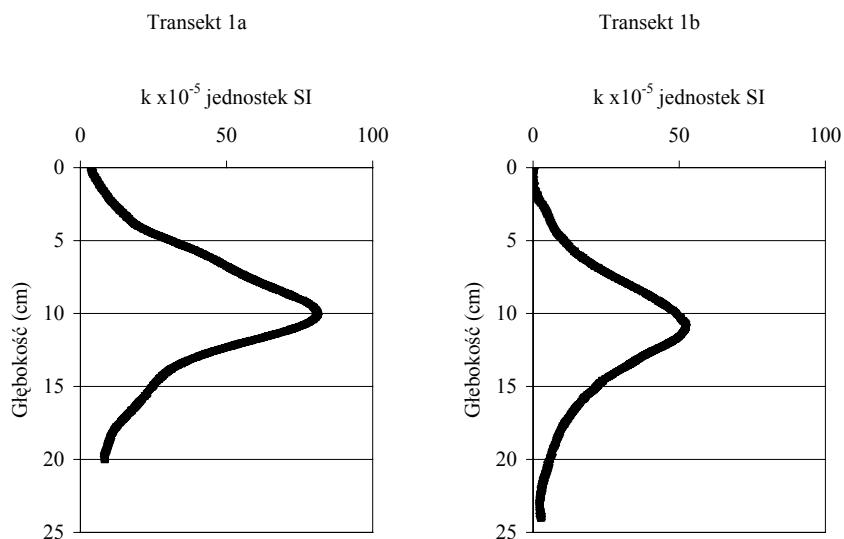
W transekcje nr 3 wartość  $\kappa$  przy krawędzi drogi wynosiła  $223,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI, przy czym była mniej jednorodna niż samej nawierzchni asfaltowej (zmienność sięgała 15%). Wartości  $\kappa$  powyżej  $200,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI utrzymywały się do odległości 1,0 m (krawędź skarpy rowu przydrożnego), następnie malała do ok.  $80,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI na krawędzi skarpy i ok.  $30,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI na dnie rowu i zewnętrznej krawędzi skarpy. W odległości 7 m od drogi warto-



ści  $\kappa$  kształtowały się już na poziomie  $17,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI, a dalej wynosiły poniżej  $10,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI (przy niewielkiej zmienności przestrzennej).

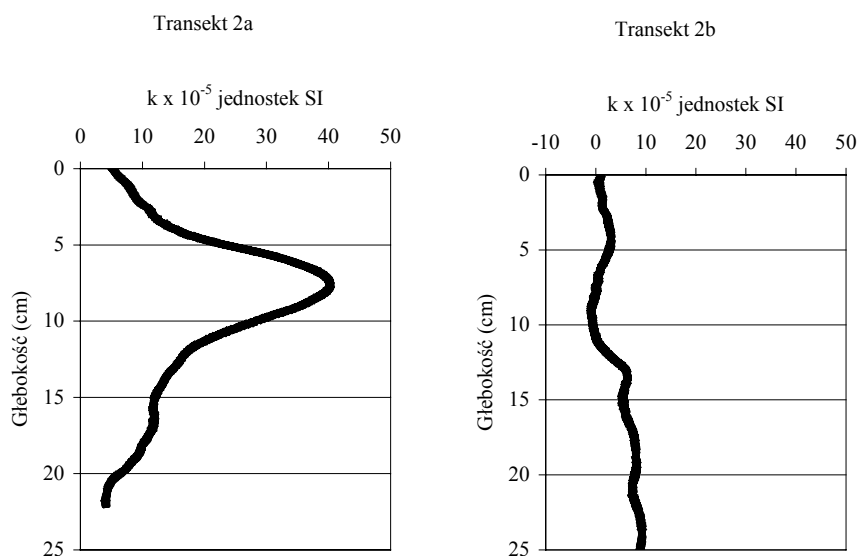
### WYNIKI BADAŃ ROZKŁADU PIONOWEGO PODATNOŚCI MAGNETYCZNEJ W GLEBIE

Punkty pomiarowe dla analizy pionowych rozkładów podatności magnetycznej wyznaczono w leśnej strefie ekotonowej w odległości 10,0 i 12,0 m od krawędzi jezdni. Pomiarów pionowych rozkładów wartości  $\kappa$  wykonano miernikiem SM 400. Maksymalne wartości  $\kappa$  (ok.  $50,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI) odnotowano na głębokości ok. 10,0 cm (rys. 6, 7). Uzyskane rozkłady nie odbiegają znacząco od typowych rozkładów dla gleb nie zanieczyszczonych pierwiastkami śladowymi.



**Rysunek 6.** Rozkład pionowej podatności magnetycznej gleb w transekcji 1 w odległości 10,0 m (1a) i 12,0 m od drogi (1b)

**Figure 6.** Distributions of vertical magnetic susceptibility for transect no. 1 at the distance 10 m (1a) and 12 m (1b)



**Rysunek 7.** Rozkład pionowej podatności magnetycznej gleb w transekcie 2 w odległości 10,0 m (2a) i 12,0 m (2b) od drogi

**Figure 7.** Distributions of vertical magnetic susceptibility for transect no. 2 at the distance 10 m (2a) and 12 m (2b)

Przeprowadzone badania wykazały wpływ składu gatunkowego drzewostanu na rozkład pionowej podatności magnetycznej bowiem pomiary wykonywano w drzewostanach różniących się składem gatunkowym: w drzewostanie z przewagą brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) oraz w drzewostanie sosnowym (*Pinus sylvestris* L.). W obydwu przypadkach pionowe rozkłady wartości  $\kappa$  różniły się. W profilach pionowych zlokalizowanych w sąsiedztwie brzozy wartości  $\kappa$  były bardzo małe. Wzrost wartości  $\kappa$  w poziomie organicznym, który zwykle jest wyznacznikiem koncentracji antropogenicznych cząstek magnetycznych, był ledwie zauważalny, a maksymalna wartość  $\kappa$  na głębokości 4 cm jedynie nieznacznie przekroczyła wartość  $3,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Zdecydowanie wyższe wartości odnotowano w poziomie mineralnym ( $10,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI). W profilu pionowym w drzewostanie sosnowym antropogeniczny pik podatności zarysował się wyraźnie w poziomie organicznym. Pik wystąpił nieco niżej w profilu niż zazwyczaj, bo na głębokości 7,5 cm, a wartość  $\kappa$  wynosiła ok.  $40,0 \times 10^{-5}$  jednostek magnetycznych SI. Analizowany rozkład podatności był wynikiem stosunkowo dużej miąższości poziomu organicznego na siedlisku borowym.

W profilach glebowych zlokalizowanych w rejonie transektu nr 3 różnice w rozkładzie podatności magnetycznej były już znacznie mniejsze i zarówno pod brzozaami jak i pod sosnami występowały typowe wzmocnienie antropogeniczne, ale dopiero na głębokości ok. 10 cm.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania powierzchniowej i pionowej podatności magnetycznej wykazały, że największa koncentracja ferrimagnetyków występuje w nawierzchni i na poboczu drogi krajowej nr 11.

Nie stwierdzono intensywnej migracji ferrimagnetyków do leśnych stref ekotonowych. Podwyższoną powierzchnią podatność magnetyczną gleb odnotowano w pasie przydrożnym o szerokości do 5,0 m (ok.  $50 \times 10^{-5}$  jednostek). Pas o szerokości od 5,0 do 40,0 m cechował się podatnością magnetyczną na poziomie tła ( $\kappa \leq 20 \times 10^{-5}$  jednostek). Średnia podatność magnetyczna dla gleb leśnych w Polsce wynosi  $22 \times 10^{-5}$  jednostek (Strzyszczyński i Magiera 2003).

Analiza pionowych rozkładów podatności magnetycznej wykazała maksimum wartości  $\kappa$  na głębokości od 5,0 do 10,0 cm

Mniejsza zawartość ferrimagnetyków w glebie w sąsiedztwie brzoza mogła wynikać z predyspozycji tego gatunku do intensywnego poboru i bioakumulacji pierwiastków śladowych w aparacie asymilacyjnym (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Czerniak i Kayzer 2007a, b).

### BIBLIOGRAFIA

- Beckwith P. R., Ellis J., Revitt D. M., Oldfield F. *Heavy metal and magnetic relationships for urban source sediments*. Phys. Earth Planet Interiors: 42, 1986, s. 67–75.
- Czerniak A. *Horizontal and vertical migration of heavy metals leached out from forest roads cement-ground surfaces*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 15, No. 2A, 2006, 42–51.
- Czerniak A. *The influence of the cement-ground road foundations on the content of heavy metals in the assimilatory organs of the trees growing in the ecotone forest area*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 13/III, 2004, 22–27.
- Czerniak A., Kayzer D. *Assimilatory Apparatus of White Birch (Betula pendula Roth.) in Bioindication and Phytoremediation of Trace Elements*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No.3B, 2007, HARD Olsztyn, 2007a, 64–67.
- Czerniak A., Kayzer D. *Evaluation of Bioaccumulation of Trace Elements in Assimilatory Organs of Selected Tree Species by Canonical Variate Analysis Method*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No.3B, 2007, HARD Olsztyn, 2007b, s. 68–71.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk., PWN. Warszawa, 1999.
- Magiera T., Strzyszczyński Z., Ferdyn M., Gajda B. *Screening of anthropogenic dust pollutions in topsoil by using magnetic proxies*. Environmental Engineering Studies. Edited by Pawłowski et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 2003, 399–407.

Poszyler-Adamska A., Czerniak A. *Biological and chemical indication of roadside ecotone zones*. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, vol. XV, No 2. Vilnius Gediminas Technical University, 2007, 113–118.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. nr. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.).

Strzyszczyński Z., Magiera T. *Ocena zanieczyszczenia gleb leśnych na podstawie podatności magnetycznej na przykładzie nadleśnictwa Katowice*. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, ser. A: 961, 2003, 19–30.

Dr hab.inż Andrzej Czerniak  
Mgr inż. Agata Poszyler-Adamska  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Inżynierii Leśnej  
60-623 Poznań ul. Mazowiecka 41  
aczerni@au.poznan.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Wojciech Fiałkowski*