

**Joanna FRONCZYK¹, Mariusz LECH¹, Maja RADZIEMSKA²,
Joanna SYCHOWICZ**

¹Katedra Geoinżynierii, ²Katedra Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
¹Department of Geotechnical Engineering, ²Department of Environmental Improvement
Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Wybrane parametry fizyko-chemiczne gleb wzdłuż trasy komunikacyjnej zlokalizowanej na obszarach cennych ekologicznie

Selected physico-chemical parameters of soil along road located in ecologically valuable areas

Słowa kluczowe: trasy komunikacyjne, zanieczyszczenie, środowisko glebowe i gruntowo-wodne, metody elektrooporowe
Key words: roads, pollution, soil-water environment, electrical resistivity method

Wprowadzenie

Gleba, jako jeden z podstawowych komponentów środowiska naturalnego, narażona jest na degradację wynikającą z działalności człowieka. Do głównych źródeł mogących znacząco pogorszyć jakość środowiska glebowego i gruntowo-wodnego należą: odprowadzanie ścieków, emisja gazów i pyłów z zakładów przemysłowych, unieszkodliwianie odpadów przemysłowych i komunalnych, intensywne rolnictwo oraz transport kolejowy i kołowy (Helena i in., 2000; Kau-

shal i in., 2011). W skład zanieczyszczeń antropogenicznych związanych z eksploatacją tras komunikacyjnych wchodzi: cząstki opon, elementów pojazdów i tarcz hamulcowych; gazy spalinowe; wycieki z silników i innych elementów pojazdów, smary, oleje; środki zwalczania śliskości jezdni; skażenia spowodowane wypadkami (Kołodziejczyk, 2007; Fronczyk i in., 2010).

Stosowanie środków chemicznych w utrzymaniu dróg w okresie zimowym (najczęściej chlorku sodu, ale również chlorku wapnia i chlorku magnezu) prowadzi do zasolenia gleb oraz liniowego wyniszczenia zieleni wzdłuż ciągów komunikacyjnych (Czerniawska-Kusza, Kusza i Dużyński 2004). Problem ten jest szczególnie istotny w krajach środkowej Europy, w których panuje klimat umiarkowany. W glebach zasole-

lonych występują w nadmiernej ilości sole nieorganiczne, najczęściej pod postacią roztworów wodnych (chlorki, siarczany oraz węglany sodu, wapnia i potasu), które mogą prowadzić do naruszenia równowagi jonowej środowiska, zmiany odczynu (pH) oraz ograniczenia przepuszczalności gruntów (Przybulewska i Krompiewska, 2005; Mazur, Radziemska i Deptuła, 2011). Dodatkowo w warunkach obniżonego pH gleb i gruntów możliwe jest przejście metali ciężkich pochodzących ze spływów drogowych do roztworu glebowego i migracji w kierunku wód gruntowych (Krajewska i Niesio-będzka, 2009).

Najpowszechniej stosowaną metodą określania stopnia zanieczyszczenia środowiska glebowego i gruntowo-wodnego jest metoda polegająca na pobraniu próbek gleb lub gruntów, a następnie ich analiza chemiczna w warunkach laboratoryjnych. Do metod pośrednich zaliczyć można badania geofizyczne, które wychodząc naprzeciw problemom związanym z zanieczyszczeniem gleb i gruntów, znajdują coraz szersze zastosowanie w inżynierii i ochronie środowiska (Lech, Garbulewski i Fronczyk, 2009; Reynolds, 2011). Metody te należą do bezinwazyjnych technik pomiarowych umożliwiających określenie parametrów gruntowych bez naruszania struktury gruntu, które stwarzają nowe możliwości w zakresie badań parametrów podłoża gruntowego i ich oceny. Ponadto są one źródłem informacji o strefach występowania zanieczyszczeń oraz lokalizacji obiektów, które mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego.

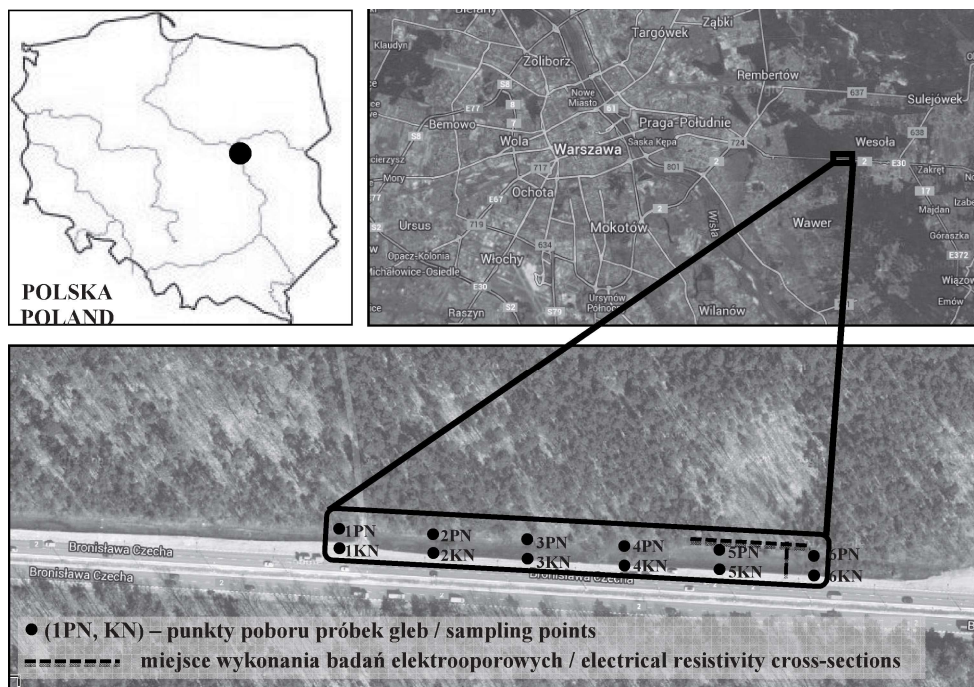
Celem przeprowadzonych w ramach niniejszego artykułu prac badawczych było określenie stopnia zanieczysz-

czenia przypowierzchniowej warstwy gleby oraz głębszych warstw gruntu na podstawie badań laboratoryjnych (pH, EC, chlorki, uziarnienie, zawartość części organicznych) i terenowych badań elektrooporowych.

Material i metody

Charakterystyka obiektu badawczego

W ramach prac służących osiągnięciu wyżej wymienionego celu przeprowadzono serię badań laboratoryjnych gleb pobranych z pobocza drogi na terenie aglomeracji warszawskiej oraz serię terenowych badań elektrooporowych. Poletko badawcze zlokalizowane było wzdłuż ul. Czecha w dzielnicy Wawer (52°3'32" N, 21°10'5"E) – rysunek 1. Od strony północnej, wschodniej i zachodniej poletko badawcze otacza kompleks Lasu im. Króla Jana Sobieskiego należący do Mazowieckiego Parku Krajobrazowego utworzonego w celu ochrony lasów i najcenniejszych przyrodniczo obszarów po prawej stronie Wisły. Od strony południowej analizowany obszar graniczy z nawierzchnią asfaltową ul. Czecha o średnim natężeniu ruchu wynoszącym 19 442 pojazdów na dobę (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2010), która jest częścią międzynarodowej drogi E30 łączącej Europę Zachodnią z Rosją i Białorusią. Wody opadowe z nawierzchni ul. Czecha odprowadzane są trawiastymi rowami infiltracyjnymi. Nasyp w najwyższym punkcie analizowanego odcinka drogi (wschodnia i środkowa część analizowanego obszaru) ma wysokość 1,5 m. Wysokość nasypu zmniejsza się w kierunku zachodnim do poziomu terenu na zachodniej granicy badanego odcinka drogi.



RYSUNEK 1. Lokalizacja poletka badawczego (google.pl/maps)
 FIGURE 1. Location of study area (google.pl/maps)

Badania laboratoryjne

Próbki przypowierzchniowej warstwy gleby pobrano przy użyciu laski Egnera w kwietniu 2012 roku z sześciu punktów pomiarowych rozmieszczonych co 30 m na odcinku o długości 150 m z pobocza drogi w odległości 0,5 m od krawędzi jezdni (korona nasypu) i u podstawy nasypu w odległości 4,0 m od krawędzi jezdni (rys. 1). Próbki pobrano w dwóch powtórzeniach z głębokości 0,10–0,30 m, następnie zmieszano, otrzymując próbki reprezentatywne dla danego miejsca i odległości. Przed przystąpieniem do badań laboratoryjnych próbki wysuszone, następnie oznaczono odczyn (pH) i przewodność elektryczną (EC) metodą potencjometryczną w roztworze wodnym (w 1 : 2,5 grunt : woda)

przy użyciu miernika wieloparametrowego handylab pH/LF 12 (Schott, Niemcy). W celu oznaczenia wymywania chlorków 10 g gleby wytrząsano przez 24 godziny na wytrząsarce obrotowej GFL 3040 (Niemcy) w 100 ml wody destylowanej o przewodnictwie właściwym $0,055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Po wytrząsaniu, próbki przesączono przez papier filtracyjny Whatman do uzyskania klarownego roztworu. Stężenie chlorków w wyciągach wodnych oznaczone zostało metodą Mohra – miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (PN-ISO 9297:1994). Pobrane próbki gleb poddano również badaniu składu granulometrycznego (ISO/TS 17892-4:2009) i zawartości części organicznych na podstawie strat przy

prażeniu w temperaturze 550°C. W celu scharakteryzowania i porównania składu chemicznego gleb obliczono wartości średnie z dwóch powtórzeń. Otrzymane wyniki badań właściwości fizycznych gleby zweryfikowano za pomocą metod statystycznych, korzystając z programu XLStat firmy Addinsoft.

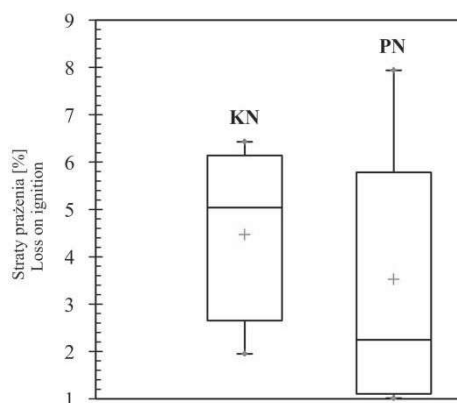
Badania terenowe metodą elektrooporową

W ramach badań opisanych w niniejszym artykule obok poboru próbek gleby do badań laboratoryjnych wykonano pomiary techniką profilowania elektrooporowego. Na analizowanym obiekcie przeprowadzono 52 pomiary oporności elektrycznej gruntów na różnych głębokościach w zakresie od 0,5 do 8,0 m p.p.t. Badania wykonano metodą Wennera korzystającą z układu złożonego z czterech elektrod. Wartości oporności elektrycznej na objętym badaniami obszarze wyinterpolowane zostały metodą Krigingu przy użyciu programu Surfer 10 (Golden Software Inc., USA). Badania elektrooporowe wykonano na wiosnę (po roztopach i intensywnych opadach deszczu) w dwóch przekrojach: pierwszy przekrój został poprowadzony wzdłuż skarpy nasypu drogowego w odległości 3,5 m od krawędzi korony, a drugi przekrój poprowadzono prostopadle do skarpy nasypu – od krawędzi korony do punktu oddalonego o 3,5 m od jego podstawy.

Wyniki i dyskusja

Badania laboratoryjne

Wyniki badań strat przy prażeniu oraz składu granulometrycznego gleb przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

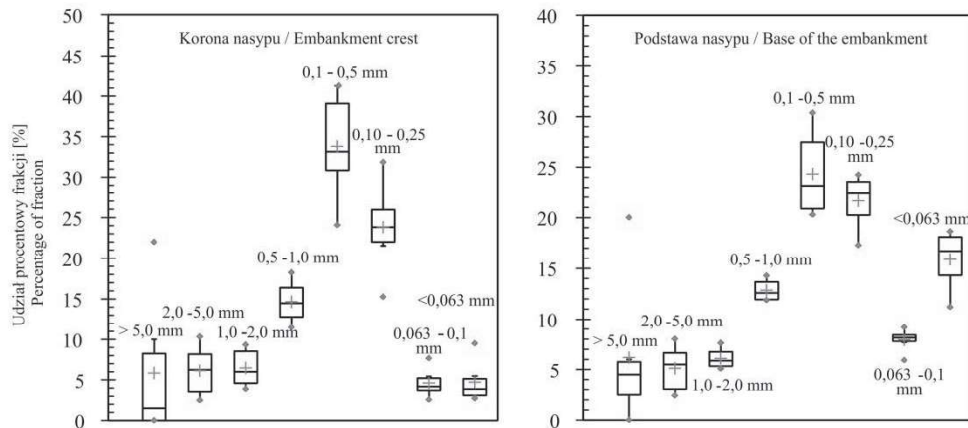


RYSUNEK 2. Straty prażenia gleb pobranych z korony (KN) i podstawy nasypu (PN)

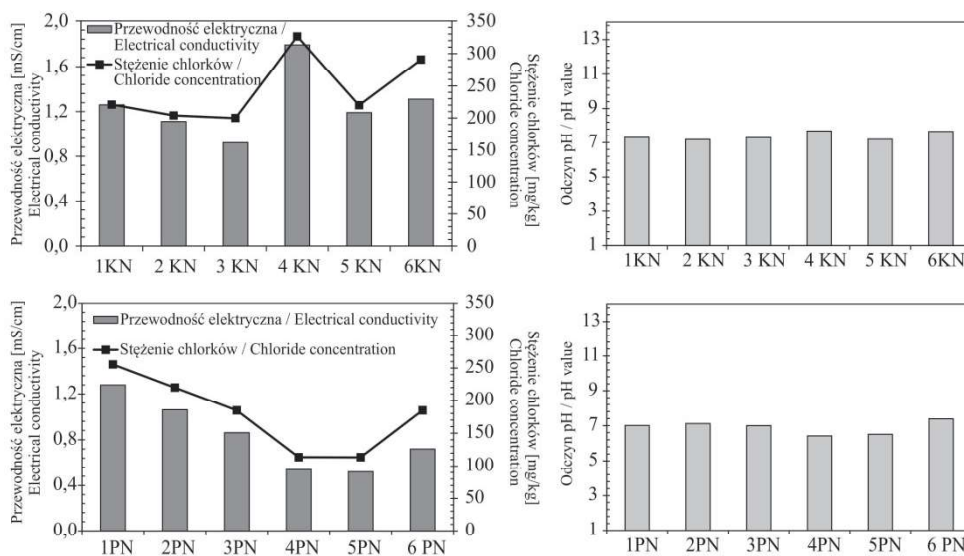
FIGURE 2. Loss on ignition of soil samples taken from the embankment crest (KN) and the base of the embankment (PN)

Średnia zawartość części organicznych wyrażona stratami przy prażeniu dla próbek wierzchniej warstwy gleb z korony nasypu wynosiła 4,5% ($\pm 2,0\%$) i była większa niż w próbkach pobranych z podstawy nasypu (3,5% $\pm 3,1$). Nasyp zbudowano z piasków średnich (MSa), żwirowych (grSa) i pylastych (siSa) na gruntach rodzimych, których wierzchnią warstwę budują piaski pylaste (siSa).

Wyniki przeprowadzonych analiz chemicznych gleb przedstawiono na rysunku 4. W próbkach pochodzących z przypowierzchniowej warstwy gleby pobranej u podnóża skarpy nasypu drogowego średnie wartości przewodności elektrycznej ($0,83 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), zawartości chlorków ($178 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i wartości pH (6,9) przyjmowały mniejsze wartości niż w próbkach pobranych z pobocza jezdni (z korony nasypu), które odpowiednio wynosiły: $1,26 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, $244 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 7,39. Przewodność elektryczna u podnóża skarpy mieściła się w zakresie od 0,52 do $1,28 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, zaś na poboczu



RYSUNEK 3. Skład granulometryczny próbek gleb pobranych z korony (KN) i podstawy nasypu (PN)
 FIGURE 3. Grain size distribution of soil samples taken from the embankment crest (KN) and the base of the embankment (PN)



RYSUNEK 4. Przewodność elektryczna, stężenie chlorków oraz pH próbek gleby pobranych z korony (KN) i podstawy nasypu (PN)
 FIGURE 4. Electrical conductivity, chloride concentration and pH of soil samples taken from the embankment crest (KN) and the base of the embankment (PN)

jezdni od 0,92 do 1,79 mS·cm⁻¹; zawartość chlorków przyjmowała wartości w zakresie od 113 do 255 i od 200 do 291, oraz pH odpowiednio w przedziałach 6,4–7,4 i 7,2–7,7. Zgodnie z klasyfika-

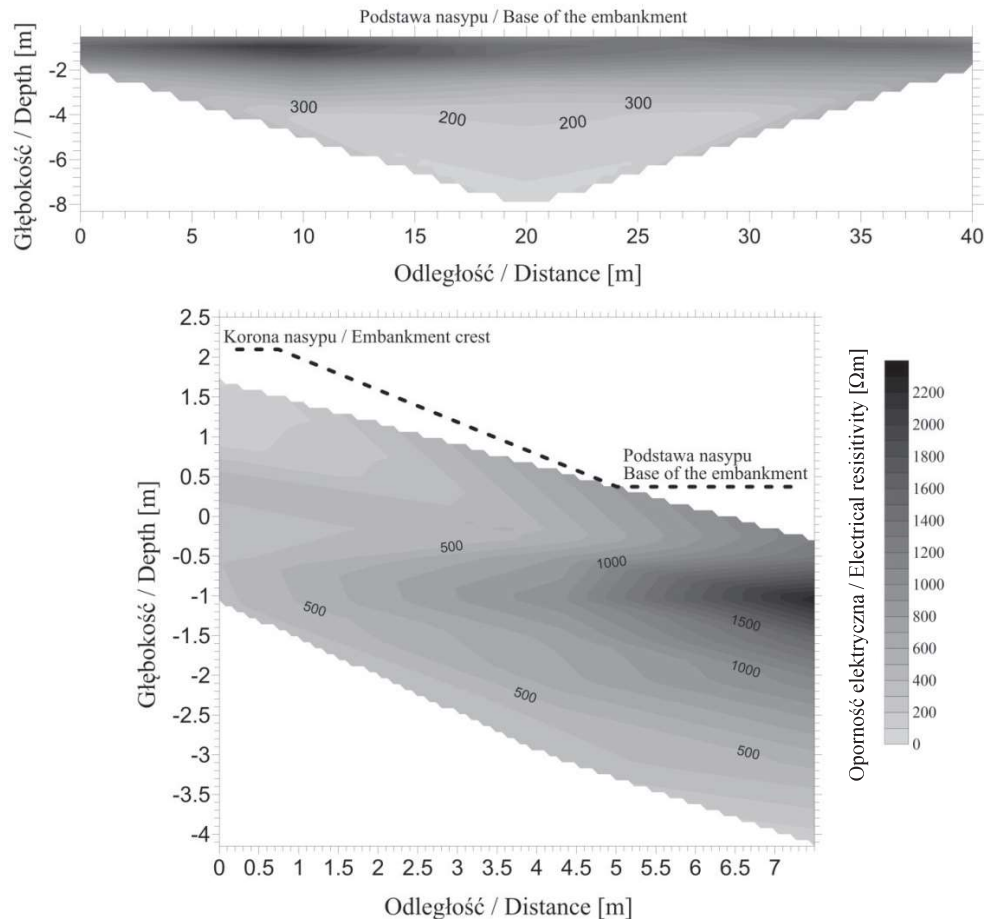
cją zaproponowaną przez Gołdę (2005) pomierzone wartości przewodności elektrycznej dla próbek z korpusu nasypu (przewodność elektryczna w przedziale od 1 do 2 mS·cm⁻¹ z wyjątkiem

jednej próbki – $0,92 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) sugerują, że przy dobrym uwilgotnieniu podłoża mogą występować objawy zasolenia dla wielu gatunków roślin lub przy przedłużającej się suszy stężenia soli mogą być szkodliwe dla większości roślin. Próbki pobrane u podnóża skarpy charakteryzowała przewodność elektryczna mniejsza od wartości granicznej zasolenia dla roślin bardzo wrażliwych – $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tylko dla dwóch próbek większe od $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Stężenie jonów chlorkowych zakumulowane w gruncie w okresie zimy przyjmowały wartości zbliżone do wartości uzyskanych dla próbek pobranych w Olsztynie przez Mazura, Radziemską i Deptułę (2011) – maksymalna średnia zawartość chlorków wyniosła $225 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. oraz w Opolu przez Kochowską i Kuszę (2010) – maksymalna średnia zawartość chlorków wyniosła $217 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. W badaniach własnych średnia zawartość chlorków w odległości 0,5 m od krawędzi jezdni wynosiła $244 \pm 52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a u podnóża skarpy (w odległości 4 m od krawędzi jezdni) – $178 \pm 57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Wartości te były zbliżone do stężenia chlorków w glebach pobranych wzdłuż dróg na Litwie. Jak podaje Cekstere, Nikodemus i Osvalde (2008) stężenie Cl^- mieściło się w przedziale od 48 do $360 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W Colorado stężenie chlorków wynosiło około $450 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w glebach pobranych przy krawędzi jezdni oraz około $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w glebach pobranych w odległości 3 m od krawędzi jezdni (Goodrich, Koski i Jacobi, 2009), a w Norwegii odnotowano stężenia Cl^- nawet do $700 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (Amundsen i in., 2010). Ponadto, przedstawione na rysunku 4 wyniki badań jednoznacznie wskazują na kierunki spływu wód opa-

dowych i ich infiltrację w podłoże, o czym świadczą zwiększające się stężenia chlorków i wartości przewodności elektrycznej gleb pobranych z punktów oznaczonych jako 1PN, 2PN i 3PN. Infiltracja zanieczyszczonych wód spływowych na analizowanym obszarze jest ułatwiona ze względu na występowaniu w podłożu materiałów dobrze przepuszczalnych. Jak podaje Państwowy Instytut Geologiczny (PIG, 1997), opisywany teren pod względem hydrogeologicznym charakteryzuje się wysokim stopniem zagrożenia ze względu na brak izolacji od wpływów z powierzchni terenu, więc zanieczyszczenia wraz z infiltrującą wodą mogą przedostać się do wód gruntowych. Wszystkie analizowane próbki gleb należy uznać za zasolone, ponieważ, jak podaje Zimny (2005), za takie uznaje się gleby, w których stężenie chlorków przekracza $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Należy również zaznaczyć, że dla analizowanych próbek nie zaobserwowano zależności między stężeniem chlorków a zawartością części organicznych wyrażoną stratami przy prażeniu.

Badania terenowe

Wyniki badań elektrooporowych przedstawiono na rysunku 5. Przekrój zlokalizowany wzdłuż skarpy nasypu sięga do głębokości 8 m p.p.t. Od powierzchni terenu do głębokości około 2,6 m wartości oporności elektrycznej osiągają wartości $800 \Omega\text{m}$ i większe, przy czym z lewej strony przekroju w strefie przypowierzchniowej obserwujemy strefę o wartościach dochodzących nawet do $2400 \Omega\text{m}$. Wartości te wskazują na występowanie w tym rejonie gruntów niespoistych o mniejszej wilgotności



RYSUNEK 5. Przekroje elektrooporowe w rejonie ul. Czecha w Warszawie
 FIGURE 5. Electrical resistivity cross-sections in the region of Czech St. in Warsaw

i mniejszym zasoleniu w porównaniu do pozostałej części przekroju. Wyniki te są zgodne z wynikami analiz chemicznych zawartości chlorków w próbkach pobranych u podstawy nasypu. Poniżej można zauważyć przewarstwienia gruntu o opornościach rzędu 100–800 Ωm . Analizując przekrój, można wyróżnić dwie strefy gruntów, co wynika z położenia zwierciadła wody gruntowej (oporność elektryczna warstwy wodonośnej wynosi około 200 Ωm). Na podstawie przepro-

wadzonych badań można przypuszczać, że zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości około 4 m p.p.t. tj. około 6 m poniżej korony nasypu jezdni.

Na przekroju poprowadzonym prostopadle do osi nasypu można zauważyć, że korpus nasypu budują grunty o opornościach zawierających się w przedziale 100–500 Ωm , a u podstawy nasypu wartości oporności elektrycznych przyjmują wartości dochodzące do 1500 Ωm i więcej. Układ izolinii oporności elek-

trycznych odzwierciedla kierunek wód spływających tuż pod powierzchnią skarpy, gdzie widoczny jest charakterystyczny „klin”. Analizując przekrój poprzeczny i warunki gruntowo-wodne, można stwierdzić, że najmniejsze oporności, rzędu kilkudziesięciu miliohmów, występują na koronie nasypu i zwiększają się wraz ze spadkiem skarpy i głębokością. Może być to wynikiem zanieczyszczenia gruntu spowodowanego gromadzeniem się np. soli pochodzącej z zabiegów utrzymania bezpieczeństwa na drogach w okresie zimowym, spływem powierzchniowym i przenikaniem w głąb profilu.

Na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych w latach ubiegłych na średnich i grubych piaskach wiślanych (Lech, 2007) i przy założeniu, że wskaźnik uformowania (FF) piasków średnich, których występowanie stwierdzono w warstwie wodonośnej w podłożu sąsiadującym z nasypem drogowym, wynosi 5–7, można stwierdzić, że przewodność elektryczna wód podziemnych w tej warstwie wynosi od około 2500 do 3500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Według polskich norm (Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie jakości wód podziemnych z 2008 roku – Dz.U. 2008 nr 143, poz. 896, przewodnictwo elektryczne wód gruntowych odpowiada tu III, IV lub V klasie jakości wody. Wskazuje to na oddziaływanie w tym rejonie czynników antropogenicznych, np. wcześniej wspomniane stosowanie środków chemicznych w celu utrzymania dróg w okresie zimowym.

Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badań wskazują, że gleby i grunty w bezpośrednim sąsiedztwie tras komunikacyjnych są narażone na podwyższone zasolenie. Potwierdziły to zarówno laboratoryjne badania przewodności elektrycznej i stężenia chlorków w próbkach gleb, jak i terenowe badania profilowania elektrooporowego.

Średnie stężenie chlorków w próbkach gleb pobranych wiosną wynosiło $211 \pm 62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby i było ściśle zależne od odległości od krawędzi jezdni. Zawartość chlorków w glebach pobranych z korony nasypu wynosiła średnio $244 \pm 52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i była większa o 36% od zawartości chlorków w próbkach pobranych u podstawy skarpy. Podobne zależności zaobserwowano dla przewodności elektrycznej i odczynu wierzchniej warstwy podłoża.

Ze względu na budowę podłoża gruntowego na analizowanym obszarze, zakumulowane w okresie zimowych sole mogą być wymywane do głębszych warstw gruntu, nawet do wód gruntowych, których zwierciadło w okresie badawczym zaobserwowano na głębokości około 4 m p.p.t.

Ponadto przeanalizowane w artykule wyniki badań potwierdziły możliwość zastosowania metody elektrooporowej do oceny stopnia degradacji gruntów, przede wszystkim zasolenia gruntów, na obszarach cennych ekologicznie sąsiadujących z trasami komunikacyjnymi.

Literatura

- Amundsen, C.E., Håland, S., French, H., Roseth, R. i Kitterød, N.O. (2010). Environmental damages caused by road salt – a literature review. *Technology Report*, 258, 1-98.
- Cekstere, G., Nikodemus, O. i Osvalde, A. (2008). Toxic impact of the de-icing material to street greenery in Riga, Latvia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7, 207-221.
- Czerniawska-Kusza, I., Kusza, G. i Dużyński, K. (2004). Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the Opole Region. *Environmental Toxicology*, 19, 296-304.
- Fronczyk, J., Pawluk, K. i Michniak, M. (2010). Application of permeable reactive barriers near roads for chloride ions removal. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 42(2), 249-259.
- Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (2010). Generalny Pomiar Ruchu. Pobrano z lokalizacji: http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/g/generalny_pomiar_ruchu_2010/0.1.1.4_sdr_w_pkt_pomiarowych_w_2010_roku.pdf.
- Gołda, T. (2005). *Rekultywacja*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- Goodrich, B.A., Koski, R.D. i Jacobi, W.R. (2009). Condition of soils and vegetation along roads treated with magnesium chloride for dust suppression. *Water Air and Soil Pollut.* 198, 165-188.
- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M. i Fernandez, L. (2000). Temporal evolution of ground water composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, 34, 807-816.
- ISO/TS 17892-4:2009. *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego*.
- Kaushal, S.S., Groffman, P.M., Band, L.E., Elliott, E.M., Shields, C.A. i Kendall, C. (2011). Tracking nonpoint source nitrogen pollution in human-impacted watersheds. *Environmental Science and Technology*, 45, 8225-8232.
- Kochowska, K. i Kusza, G. (2010). Wpływ zasolenia na właściwości fizyko-chemiczne gleb Opola w latach 1994 i 2009. *Inżynieria Ekologiczna*, 23, 14-21.
- Kołodziejczyk, U. (2007). Wpływ chlorku sodu stosowanego w zimowym utrzymaniu dróg na kapilarność gruntów. *Geologos*, 11, 218-226.
- Krajewska, E. i Niesiołbódzka, K. (2009). Wpływ zasolenia spływów powierzchniowych na wymywanie metali z pyłów ulicznych do fazy wodnej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 137-143.
- Lech, M. (2007). *Zastosowanie metody elektrooporowej do analizy warunków przepływu wody w ośrodku gruntowym*. Praca doktorska (materiał niepublikowany).
- Lech, M., Garbulewski, K. i Fronczyk, J. (2009). Wykorzystanie metody elektrooporowej do badania zdolności sorpcyjnej materiałów reaktywnych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 18, 3(45), 3-13.
- Mazur, Z., Radziemska, M. i Deptuła, D. (2011). Wpływ środków zwalczania śliskości jezdni na zawartość chlorków w glebach wzdłuż ulic Olsztyna. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 50, 212-217.
- PIG (Państwowy Instytut Geologiczny) (1997). *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50000. Arkusz 524 Warszawa Wschód wraz z objaśnieniami*. Warszawa: PIG i MOŚZNIŁ.
- PN-ISO 9297:1994. *Jakość wody. Oznaczanie chlorków. Metoda miareczkowania azotem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra)*.
- Przybulewska, K. i Krompniewska, A. (2005). Wpływ wzrastającego zasolenia NaCl na liczebność drobnoustrojów metabolizujących wybrane związki organiczne w glebie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 505, 232-329.
- Reynolds, J.M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. New Delhi: Wiley-Blackwell.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. Dz.U. 2008 nr 143, poz. 896.
- Zimny, H. (2005). *Ekologia miast*. Warszawa: ARW.

Streszczenie

Wybrane parametry fizyko-chemiczne gleb wzdłuż trasy komunikacyjnej zlokalizowanej na obszarach cennych ekologicznie. Celem badań, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule, było zbadanie wpływu tras komunikacyjnych na zanieczyszczenie gleb. W ramach prac badawczych na poletku badawczym przy ul. Czecha w warszawskim Wawrze pobrano próbki gleb do laboratoryjnych analiz chemicznych (stężenia chlorków, przewodności elektrycznej i pH), jak również właściwości fizycznych (uziarnienia i zawartości części organicznych wyrażonej stratami przy prażeniu). Dodatkowo w warunkach terenowych wykonano pomiary techniką profilowania elektrooporowego. Wyniki badań wskazały, że gleby i grunty w bezpośrednim sąsiedztwie tras komunikacyjnych charakteryzują się podwyższonym zasoleniem. Przeprowadzone badania potwierdziły również możliwość zastosowania metody elektrooporowej do oceny stopnia degradacji gruntów na obszarach cennych ekologicznie.

Summary

Selected physico-chemical parameters of soil along road located in ecologically valuable areas. The aim of presented re-

search was to examine the impact of roads on soil pollution. Within conducted studies on experimental site, the soil samples were taken for laboratory chemical analyses of chloride concentration, electrical conductivity and pH, as well as physical properties (grain size distribution and organic content expressed as loss on ignition). Moreover, the measurements of electrical resistivity of soil using profiling technique were made. The results showed that the soil in the vicinity of roads are characterized by increased salinity. The study also confirmed the possibility of using of electrical resistivity method to assess the degree of soil degradation at ecologically valuable areas.

Authors' address:

Joanna Fronczyk, Mariusz Lech
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
SGGW
Katedra Geoinżynierii
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland
e-mail: joanna_fronczyk@sggw.pl
mariusz_lech@sggw.pl
asia.sychowicz@gmail.com

Maja Radziemska
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
SGGW
Katedra Kształtowania Środowiska
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland
e-mail: maja_radziemska@sggw.pl