

*Andrzej Czerniak*

## **FORMY WYSTĘPOWANIA CHROMU W ZASIĘGU ODDZIAŁYWANIA LEŚNYCH DRÓG CEMENTOWO-GRUNTOWYCH**

### **Streszczenie**

Kompozyty cementowo-gruntowe są powszechnie stosowane w podbudowach dróg publicznych zlokalizowanych również na terenach leśnych. Warstwy gruntu stabilizowanego cementem stosuje się w konstrukcjach drogowych jako ulepszone podłoże gruntowe lub podbudowę zasadniczą. W drogownictwie leśnym zagęszczone warstwy cementowo-gruntowe użytkowane są jako samodzielne nawierzchnie drogowe, nawierzchnie przeciwpożarowych lotnisk leśnych, placów manewrowych, parkingów leśnych, składnic i torowisk. Stosunkowo mały udział procentowy spoiwa powoduje, że cementogrunt cechuje się dość dużą wodoprzepuszczalnością i jest podatny na uszkodzenia w formie złuszczeń i pęknięć oraz infiltrację przez wody opadowe.

Cementy zawierają obok klinkieru portlandzkiego inne, nieklinkierowe składniki mineralne, głównie odpady przemysłowe. Źródłem zanieczyszczeń chemicznych spoiw cementowych mogą być surowce oraz paliwo zastępcze (np. odpady przemysłowe i komunalne) stosowane w piecach do wypału klinkieru.

Ogólnym celem projektu badawczego było określenie wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na przydrożne strefy ekotonowe w lesie mieszanym świeżym (LMśw). Przeprowadzone badania miały rozpoznać procesy wymywania związków chemicznych z podbudów w zależności od rodzaju zastosowanego cementu i stanu podbudowy. Do stabilizacji odcinków doświadczalnych użyto 5 rodzajów cementu o różnym udziale składników nieklinkierowych (popiołów lotnych i żużli wielkopieczowych).

Badania chemiczne eluatów z cementów i cementogrunów wykazały, że z cementowo-gruntowych podbudów drogowych wypłukuje się przede wszystkim chrom. O ewentualnym oddziaływaniu chromu na

ekosystem leśny można wnioskować określając formy chemiczne jego występowania decydujące o mobilności i biodostępności.

Celem prezentowanych badań było określenie udziału poszczególnych form chromu w poziomach próchnicznych na skraju lasu i w odległości 10 m od krawędzi korony: 5 odcinków doświadczalnych stabilizowanych różnymi cementami oraz odcinka kontrolnego. Przeprowadzone badania wykazały, że odcinki doświadczalne wzmocnione testowanymi rodzajami cementów nie wpłynęły destabilizująco na równowagę przyrodniczą przydrożnych stref ekotonowych LMśw. Analiza specyjalna przeprowadzona metodą ekstrakcji sekwencyjnej wykazała, że w glebach stref ekotonowych chrom występował głównie w formach słabo przyswajalnych tzn.: tlenkowej, organicznej i jako pozostałości.

**Słowa kluczowe:** las, droga, cementy, monitoring, formy chromu

## WSTĘP

Niniejsza publikacja jest kolejną z cyklu opisującego procesy oddziaływania cementowo-gruntowych podbudów drogowych odcinków doświadczalnych na strefę przydrożną w lesie mieszanym świeżym [Czerniak: 2002, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2005a, 2005b, 2005c]. Na terenach leśnych zagęszczone warstwy cementowo-gruntowe użytkowane są jako samodzielne nawierzchnie drogowe. W konstrukcjach dróg publicznych stabilizację cementem wykonuje się w celu ulepszenia podłoża drogowego lub uzyskania podbudowy zasadniczej. Skrzypek [2000] podaje, że cementy mogą zawierać metale ciężkie (np. chrom), a ich źródłem są surowce (żużle i popioły) oraz paliwo zastępcze stosowane w piecach do wypału klinkieru. Niewielki udział procentowy spoiwa w stosunku do stabilizowanego gruntu sprawia, że cementogrunt cechuje się dość dużą wodoprzepuszczalnością. Ługowane związki chemiczne z cementogrunty monolitycznych i skorodowanych w wyniku działania obciążeń dynamicznych i czynników zewnętrznych, specyficznych dla środowiska leśnego mogą jako inhibitory aktywności procesów życiowych edafonu zmieniać mikrobiologiczną aktywność poziomów próchnicznych i kumulować się w roślinach. Ogólnym celem zrealizowanego projektu badawczego było określenie wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na środowisko przydrożnych leśnych stref ekotonowych oraz stworzenie podstaw do racjonalnego stosowania technologii wzmacniania cementem leśnych dróg gruntowych.

Do badań wytypowano pięć rodzajów cementu o różnym udziale popiołów lotnych i żużla wielkopiecowego. Proces wymywania z cementogrunty związków chemicznych określony został dwukierunkowo tzn. na podstawie badań laboratoryjnych oraz badań terenowych. Laboratoryjną ocenę ługowania zanieczyszczeń chemicznych z cementogrunty przeprowadzono na próbkach w kształcie walca. Odcinki doświadczalne wykonano zgodnie z normą PN-S-96012 [1997]. Każdy odcinek doświadczalny stabilizowano innym rodzajem cementu. Transekty badawcze do badań geochemicznych wyznaczono na skraju lasu i w odległości 10 m od krawędzi korony drogi.

Ogólny zakres badań laboratoryjnych obejmował:

- optymalizację składu mieszanek cementowo-gruntowych niezbędną do zaprojektowania i wykonania odcinków doświadczalnych,
- określenie stopnia zanieczyszczenia cementów i kruszywa metalami ciężkimi, chlorkami i siarczanami,
- ocenę stężenia zanieczyszczeń w eluatach z cementogrunty monolitycznych i uszkodzonych,
- analizę specyjną z zastosowaniem ekstrakcji sekwencyjnej umożliwiającą ilościowe określenie form występowania chromu w poziomach próchnicznych,
- określenie odczynu eluatów z cementogrunty,
- ocenę stopnia zanieczyszczenia cementu dioksynami (polichlorowane dibenzodioksyny PCDDs i dibenzofurany PCDFs),
- ocenę radiologiczną cementów,
- próbę ograniczenia procesu wymywania zanieczyszczeń z cementogrunty poprzez ich modyfikację mikrobrojeniem.

Ogólny zakres badań terenowych obejmował:

- badania glebowe i geotechniczne w sąsiedztwie odcinków doświadczalnych,
- ocenę chemiczną i biologiczną stref ekotonowych przed wykonaniem odcinków doświadczalnych,
- ocenę migracji poziomej i pionowej metali ciężkich z odcinków doświadczalnych metodami magnetometrycznymi,
- ocenę stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi, chlorkami i siarczanami gleb stref ekotonowych na podstawie badań geochemicznych,
- ocenę aktywności mikrobiologicznej gleb przydrożnych na podstawie aktywności: dehydrogenaz, fosfataz, ureazy i proteazy,

- określenie odczynu gleb stref ekotonowych,
- ocenę wpływu odcinków doświadczalnych na zawartość metali ciężkich, chlorków i siarczanów w aparacie asymilacyjnym drzew i runie,
- bioindykację przydrożnych stref ekotonowych na podstawie wybranych cech fizycznych igieł sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.),
- ocenę stanu zdrowotnego drzew rosnących w strefie oddziaływania odcinków doświadczalnych,
- ogólną ocenę fitosocjologiczną na podstawie inwentaryzacji roślinności stref ekotonowych,
- monitoring techniczny odcinków doświadczalnych.

W badaniach chemoindykacyjnych uwzględniono metale ciężkie, które występują w cementach i mogą podlegać biologicznej akumulacji w środowisku leśnym tzn.: cynk, ołów, nikiel, kadm, chrom, miedź, kobalt, żelazo.

#### **CEL I ZAKRES BADAŃ**

Badania chemiczne eluatów z cementów i cementogrunty wykazały, że z cementowo-gruntowych podbudów drogowych wypłukuje się przede wszystkim chrom. O ewentualnym oddziaływaniu chromu na ekosystem leśny można wnioskować określając formy chemiczne jego występowania decydujące o mobilności i biodostępności. Bezpośrednie oznaczanie specyficznych połączeń metali śladowych ze względu na dużą różnorodność możliwych połączeń, ich amorficzny charakter oraz małą zawartość metali w poszczególnych związkach jest praktycznie niemożliwe. Przy obecnym stanie wiedzy i technice analitycznej ekstrakcje sekwencyjne są najlepszymi metodami rozdzielania ogólnej zawartości metali śladowych występujących w fazie stałej gleby. Ekstrakcję sekwencyjną stosuje się do specjacji metali w próbkach środowiskowych stałych np. osadach dennych [Sobczyński, Siepak 2001], kompostowanych odpadach, osadach morskich oraz ściekach [Bezak-Mazur, Dąbek 2003].

Celem prezentowanych badań było określenie udziału poszczególnych form chromu w poziomach próchnicznych na skraju lasu i w odległości 10 m od krawędzi korony 5 odcinków doświadczalnych stabilizowanych różnymi cementami oraz odcinka kontrolnego.

## ANALIZA SPECJACYJNA METODĄ EKSTRAKЦИИ SEKWENCYJNEJ

Do prawidłowej oceny wpływu metali ciężkich na środowisko oprócz sumarycznych zawartości, niezbędne jest zidentyfikowanie form pierwiastków metalicznych w glebie. Poszczególne formy chemiczne metali ciężkich cechują się zróżnicowanym stopniem przyswajalności i szkodliwości dla roślin. Zjawisko występowania różnych chemicznych i fizycznych form monoatomowych lub cząsteczkowych konfiguracji, w jakich dany pierwiastek może występować w matrycy środowiskowej określa się pojęciem specjacji. Formy związania decydują o ruchliwości metali w glebie i ich przemieszczaniu się w profilu glebowym. Tylko biodostępne metale ciężkie mogą przedostawać się do żywych organizmów roślinnych i zwierzęcych. Metale wbudowywane są w tkanki, a częściowo wydalone wraz z produktami przemiany materii i substancjami organicznymi. Ligandy obok związków kompleksotwórczych mogą powodować tworzenie złożonych połączeń kompleksowych metali i w ten sposób zmniejszać ich biodostępność. Substancje organiczne mogą wiązać również metale na drodze adsorpcji fizycznej, chemisorpcji, strącania i kompleksowania. Znaczna ilość metali może być uwięziona w sieci krystalicznej krzemianów lub tworzyć związki o znikomej rozpuszczalności. Metale w takiej formie nie mogą przedostać się w warunkach naturalnych do organizmów żywych i nie stanowią zagrożenia dla środowiska. Czekala, [1997] prowadząc badania poziomów próchnicznych niezanieczyszczonych gleb uprawnych, wykazał, że chrom występował głównie w połączeniach mineralno-organicznych. W stosunku do chromu ogólnego chrom rozpuszczalny w glebach uprawnych stanowił ok. 1,48–5,02 %.

Analiza specjacyjna jest procesem identyfikacji i oznaczania różnych form chemicznych i fizycznych będących częścią całkowitego stężenia danego pierwiastka w badanym materiale [Sobczyński, Siepak 2001; Zerbe i in. 1995]. Dla pierwiastków (np. chromu), występujących w różnych wartościowościach decydujących o stopniu toksyczności określa się procentowy udział poszczególnych stopni utlenienia. Każda z form oznaczanego analitu ma inne właściwości biochemiczne, a tym samym toksykologiczne [Siepak 2003]. Z analizy specjacyjnej wyodrębniono pojęcie frakcjonowania. Frakcjonowanie jest to proces klasyfikacji analitu lub grupy analitów z danej próbki według właściwości fizykalnych ze względu na różny rozmiar cząstek, różną

rozpuszczalność lub właściwości chemiczne. Ekstrakcja sekwencyjna polega na stopniowym oddzieleniu specyficznymi ekstrahentami metali występujących w różnych formach. Zastosowanie sekwencyjnych ekstraktów chemicznych umożliwia wydzielenie pięciu różnych form pierwiastka: wymienną (I), węglanową (II), tlenkową (III), organiczną (IV) i pozostałą (V). Formę wymienną uznaje się za łatwo przemieszczającą się i dostępną dla roślin. Pozostałe formy pobierane są w mniejszym stopniu, ale w odpowiednich warunkach (małe pH, zmiany potencjału oksydacyjno-redukującego), węglany i tlenki mogą uzupełniać formy: rozpuszczalną i wymienną. W warunkach sprzyjających utlenianiu także metale związane z formą organiczną mogą być dostępne dla roślin.

Eksperymentalne metody określania form pierwiastków śladowych ewoluowały od ekstrakcji pojedynczymi roztworami w celu ługowania tzw. form dostępnych dla roślin do skomplikowanych ekstraktów sekwencyjnych rozdzielających pierwiastki na kilka zdefiniowanych form [Chłopecka 1994]. Występowanie metali w poszczególnych formach zależy od doboru odczynników, kolejności zastosowania roztworów ekstrakcyjnych, czasu trwania ekstrakcji oraz stosunku ilości roztworu do ilości analizowanego materiału. Istotny wpływ na końcowy wynik mają również niepełna selektywność roztworów ekstrakcyjnych oraz zjawisko wtórnej adsorpcji.

Najbardziej znaną procedurą ekstrakcji sekwencyjnej jest procedura TESSIERA [Tessier i in. 1979]. Procedura TESSIERA poddawana jest różnym modyfikacjom np. poprzez rozdzielenie frakcji I na trzy podfrakcje. WELTE zaproponował dwustopniową ekstrakcję frakcji III w celu uzyskania fazy łatwo redukującej się chlorowodorkiem hydroksyloaminy zakwaszonym 0,01M HNO<sub>3</sub> oraz fazy umiarkowanie redukującej się [Welte i in. 1983]. Fernex wyodrębnił z frakcji IV (organiczej) na drodze ekstrakcji roztworem NaOH metale związane z kwasami huminowymi i fulwowymi [Fernex i in. 1986]. Förstner proponował stosować w badaniach monitoringowych skróconą metodę TESSIERA poprzez połączenie fazy wymiennej i węglanowej. Montau z zespołem modyfikował schemat FÖRSTNER-A-TESSIERA wyróżniając tylko cztery frakcje [Muntau i in. 1992].

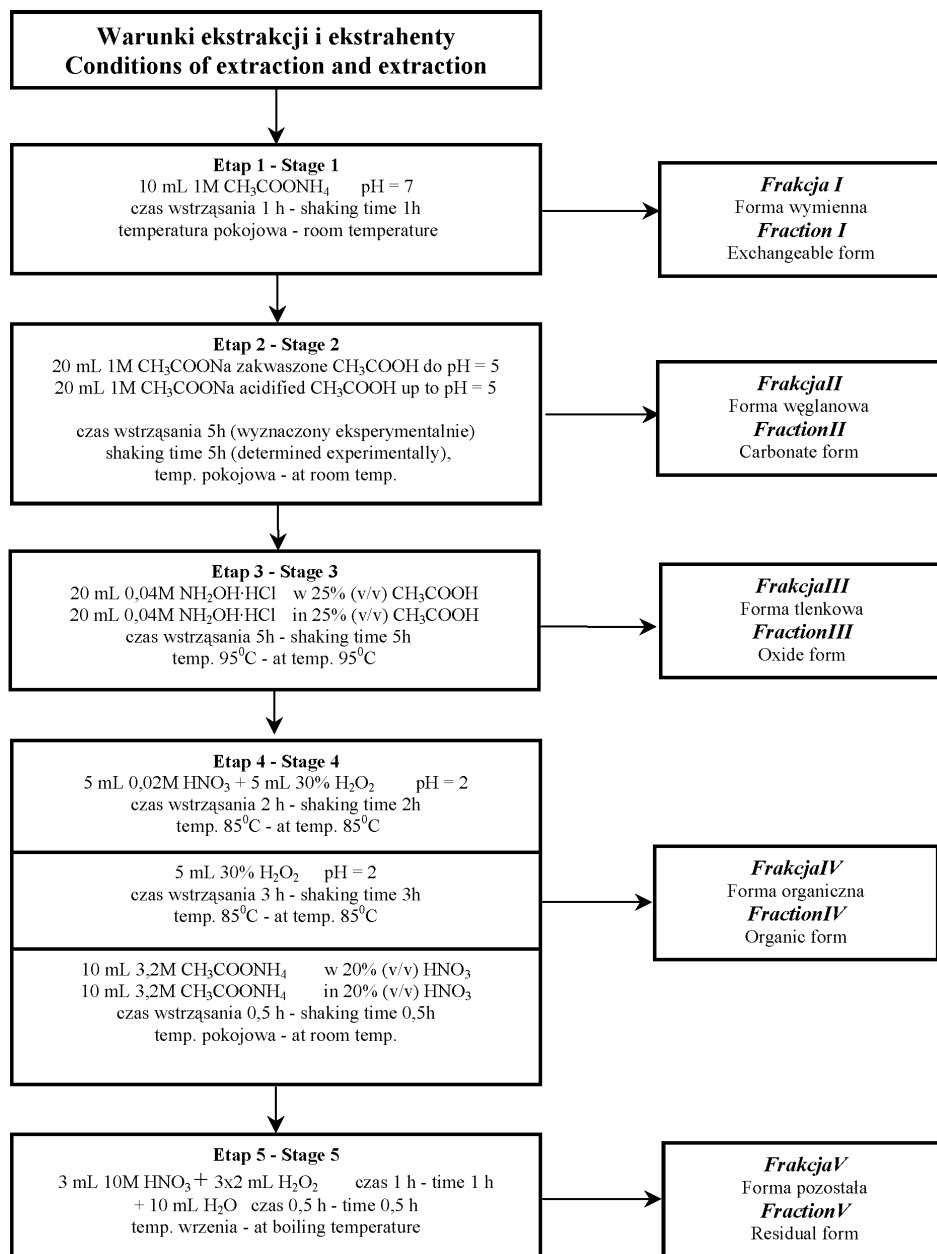
## METODA BADAŃ

Każdy z odcinków doświadczalnych, stabilizowano metodą *in situ* innym rodzajem cementu [Czerniak 2004e]:

- odcinek **A** stabilizowano cementem portlandzkim CEM I 32,5R-Na,
- odcinek **B** stabilizowano cementem drogowo-mostowym CEM I MSR NA-24,5,
- odcinek **C** stabilizowano cementem wieloskładnikowym żużlo-wopopiołowym CEM II/B-SV 32,5R,
- odcinek **D** stabilizowano cementem wieloskładnikowym popiołowym CEM II/B-V 32,5,
- odcinek **E** stabilizowano cementem hutniczym CEM III/A-32,5NA.

Odcinek **K** pozostawiono w stanie niezmienionym jako odcinek kontrolny.

Badania specjacyjne próbek poziomów próchnicznych z przydrożnych stref ekotonowych przeprowadzono zgodnie z wytycznymi opracowanymi przez Komisję Analizy Śladowej Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) (rys. 1). Ekstrakcje sekwencyjne obejmowały rozróżnienie i ilościowe oznaczenie zaproponowanych i zdefiniowanych przez TESSIERA pięciu form występowania metali [Tessier i in. 1979]. Próbki pobrano wzdłuż transektów równoległych do odcinków doświadczalnych oraz odcinka kontrolnego dwa lata po wybudowaniu odcinków doświadczalnych. Pobrane próbki do czasu wykonywania analiz przechowywano w temperaturze -20°C. Poszczególne etapy ekstrakcji sekwencyjnej prowadzono w probówkach wirówkowych o pojemności 50 ml. Próbki wstrząsano na wstrząsarce poziomej, wyposażonej w termostat wodny z programowaną temperaturą w zakresie od 20°C do 100°C z dokładnością do  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Po każdym etapie ekstrakcji próbkę odwirowywano przez 30 minut, uzyskując przeciążenie równe około 2000 g (g – przyspieszenie ziemskie). Klarowny roztwór odpipetowywano z osadu i przenoszono do kalibrowanej próbki polipropylenowej z hermetycznym zamknięciem. Pozostały w próbce wirówkowej osad płukano 5 ml wody demineralizowanej, ponownie wirowano 30 minut, odpipetowywano roztwór popłuczny i łączono go z pierwszą porcją ekstraktu. Otrzymane roztwory pozostawiano do oznaczenia metali metodą płomieniowej absorbcyjnej spektrometrii atomowej (ASA), przy czym roztwory z trzech pierwszych etapów ekstrakcji zakwaszono stężonym kwasem azotowym. Ekstrakcję sekwencyjną wykonano w trzech powtórzeniach. Urządzenia pomiarowe udostępnił Zakład Analizy Wody i Gruntów Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu.



**Rysunek 1.** Schemat frakcjonowania chromu  
z próbek glebowych stref ekotonowych  
**Figure 1.** Scheme of fractionation of chromium soil samples  
coming from ecotonic zones



## WYNIKI

Przeprowadzona ekstrakcja sekwencyjna umożliwiła zidentyfikowanie następujących form chromu: wymiennej (frakcja I), węglanowej (frakcja II), tlenkowej (frakcja III), organicznej (frakcja VI), pozostałej (frakcja V).

**Formę wymienną** stanowił chrom związany siłami elektrostatycznego przyciągania na ujemnie naładowanych miejscach wymiany, znajdujących się na minerałach, cząstkach materii organicznej i wodorotlenkach. Jest to frakcja najłatwiej dostępna dla organizmów żywych.

**Formę węglanową** tworzył chrom związany z węglanami. Wiązania z węglanami mogą być uwalniane w wyniku obniżenia pH gleby.

**Formę tlenkową** tworzył chrom związany z uwodnionymi tlenkami, głównie żelaza i manganu. Frakcja ta jest wrażliwa na zmiany potencjału oksydacyjno-redukującego i jest termodynamicznie nietrwała w warunkach beztlenowych. Forma tlenkowa obejmuje metale zasorbowane lub strącane z tlenkami i wodorotlenkami występującymi w formie cienkich warstw lub w postaci drobnych cząstek na minerałach glebowych.

**Forma organiczna** zawierała chrom związany z materią organiczną gleby. Kompleksy metalo-organiczne różnią się stabilnością i występują od łatwo uwalnianych do bardzo odpornych na rozkład. W warunkach naturalnych formy organiczne metalu są okresowo niedostępne dla organizmów żywych. Zachodzące procesy rozkładu tlenowego bądź beztlenowego organicznej matrycy mogą powodować ich przejście do innych form.

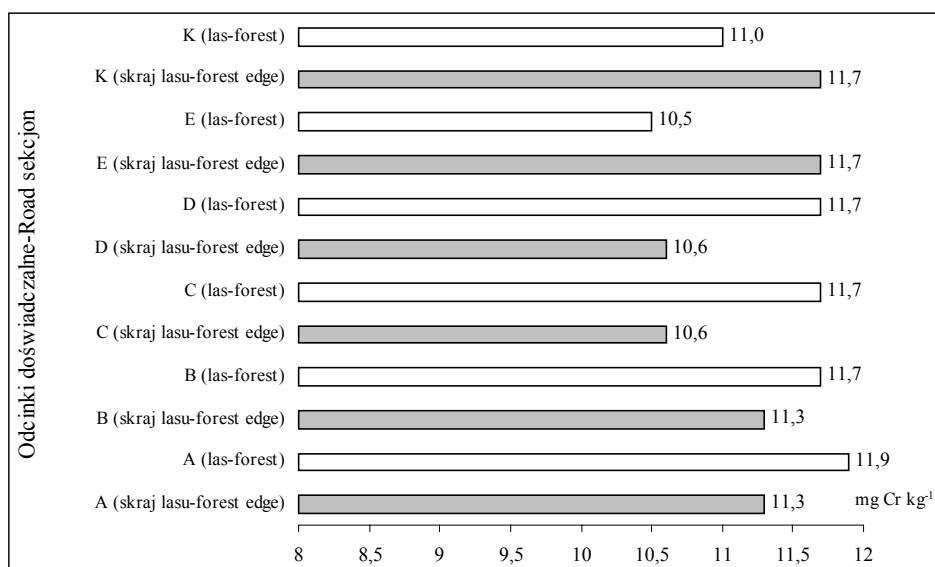
**Forma pozostała** obejmowała chrom związany w sieci krystalicznej minerałów pierwotnych i wtórnych. W warunkach naturalnych metale tak związane są niedostępne dla organizmów żywych i można je uważać za trwale unieruchomione.

## PODSUMOWANIE

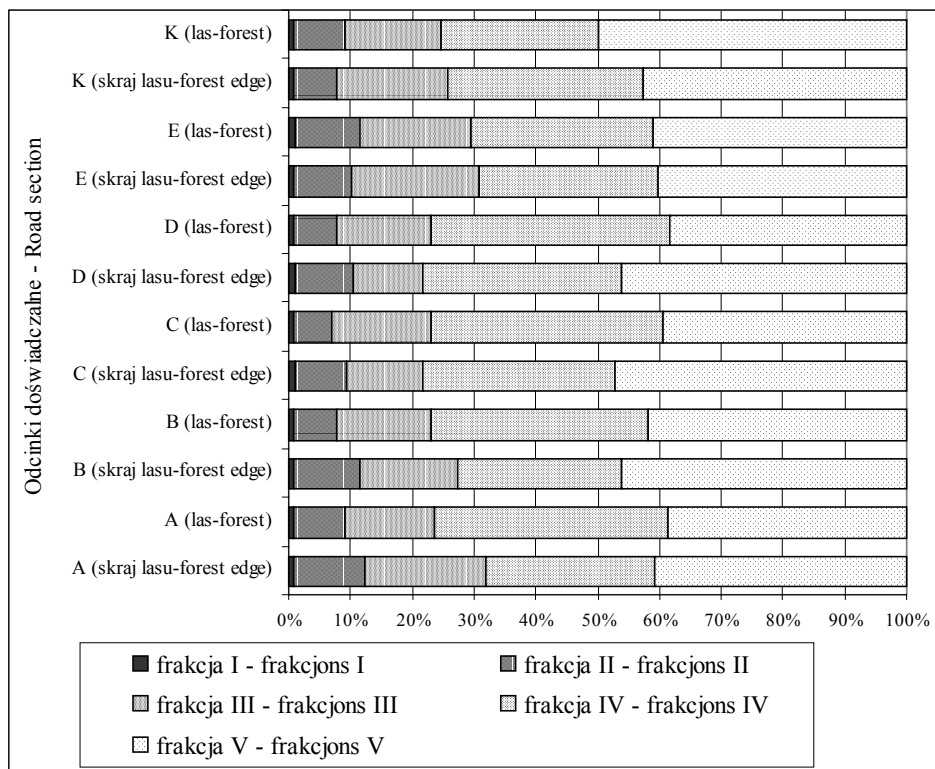
Przeprowadzone badania wykazały, że sumy zidentyfikowanych frakcji w próbkach pobranych z poziomów próchnicznych na skraju lasu w sąsiedztwie dróg cementowo-gruntowych są zbliżone i nie różniły się znacząco od sumarycznej zawartości frakcji w poziomach próchnicznych przyległych do odcinka kontrolnego. Nie zaobserwowano również istotnych różnic zawartości chromu w transekcie bezpo-

średnio przyległym do odcinków doświadczalnych i transekcje w głębi stref ekotonowych (rys. 2).

W glebach silnie zanieczyszczonych metale ciężkie występują głównie w formie wymiennej i węglanowej. Przeprowadzone badania ekstrakcyjne wykazały, że chrom w analizowanych glebach występuje głównie w formach: tlenkowej, organicznej i jako pozostałości (rys. 3). Rozmieszczenie poszczególnych form chromu w glebach stref ekotonowych sąsiadujących z odcinkami cementowo-gruntowymi kształtowało się podobnie jak w próbkach gleb pobranych ze strefy ekotonowej odcinka kontrolnego. Spośród pięciu analizowanych frakcji specyacyjnych frakcje biodostępne: wymienna i węglanowa stanowiły łącznie ok. 10% ogólnej zawartości chromu, przy czym frakcja I najłatwiej dostępna dla organizmów żywych stanowiła ok. 0,1% zawartości całkowitej. Największy udział w ogólnej zawartości chromu stanowiła frakcja V, w której chrom jest trwale unieruchomiony.



**Rysunek 2.** Sumaryczna zawartość chromu w poziomach próchnicznych gleb stref ekotonowych (wartości średnie)  
**Figure 2.** Total chromium content in humus soil levels of ecotonic zones (means)



**Rysunek 3.** Procentowy udział poszczególnych frakcji chromu w poziomych próchnicznych stref ekotonowych (wartości średnie)  
**Figure 3.** Percentage share of chromium fractions at humus levels of ecotonic zones (means)

## BIBLIOGRAFIA

- Bezak-Mazur E., Dąbek L. *Analiza metali ciężkich w osadach ściekowych z wykorzystaniem ekstrakcji sekwencyjnej*. Zesz. Nauk. Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej, nr 21, seria: Inżynieria Środowiska, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2003, s. 183–194.
- Chłopecka A. *Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartości w roślinach*. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Dział Wyd. Nauk. w Puławach. Praca doktorska, 1994, s. 1–63.
- Czekała J. *Chrom w glebie i roślinie – występowanie, sorpcja i pobieranie w zależności od jego formy i dawki, właściwości środowiska i nawożenia*. Wyd. AR w Poznaniu, Rozp. Nauk., 1997.

- Czerniak A. *Techniczne i ekologiczne aspekty wzmacniania cementem dróg gruntowych*. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Inżynieria Rolnicza nr 8, 2002, s. 73–84.
- Czerniak A. *Badania nad przydatnością różnych rodzajów cementów do stabilizacji dróg gruntowych*. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Inżynieria Rolnicza nr 3, 2003a, s. 161–173.
- Czerniak A. *Przydatność cementu drogowo-mostowego do stabilizacji leśnych dróg gruntowych*. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 94, 2003b, s. 29–37.
- Czerniak A. *Aktywność enzymatyczna gleby leśnej sąsiadującej z drogami cementowo-gruntowymi (Badania wstępne)*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich PAN Oddz. Kraków, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, nr 1, 2004a, s. 107–121.
- Czerniak A. *Stężenie metali ciężkich w eluatach z cementogrunty dróg*. Roczniki AR w Poznaniu, Melioracje i Inżynieria Środowiska, nr 25, 2004b, s. 43–51.
- 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, 2004c, s. 22–27.
- Czerniak A. *Wymywalność chromu z cementogrunty dróg w aspekcie ochrony środowiska leśnego*. Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus 3(1), Kraków, 2004d, s. 41–53.
- Czerniak A. *Zanieczyszczenie i bioindykacja stref ekotonowych lasu mieszanego świeżego (LMśw) w zasięgu oddziaływania cementowo-gruntowych podbudów drogowych*. Wydawnictwo AR w Poznaniu, zeszyt 357, 2004e.
- Czerniak A. *Zawartość dioksyn w spoiwie cementowym stosowanym w inżynierii środowiska*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska nr 22, Politechnika Koszalińska, seria Inżynieria Środowiska, 2005a, s. 573–581.
- Czerniak A. *Wpływ podbudów drogowo-cementowych na odczyn gleb siedliska lasu mieszanego świeżego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich Polska Akademia Nauk Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi nr 3, 2005b, s. 19–33.
- Czerniak A. *Monitoring biogeochemiczny lasu mieszanego świeżego w strefie oddziaływania cementowo-gruntowych podbudów drogowych*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk vol. 33, tom 2. Rozdz. V: Problemy monitoringu i analityki środowiska, ISBN 83-89293-16-1, 2005c, s. 367–376.
- Fernex F. E., Span D., Flatau G. N., Renard D. *Behavior of Some Metals in Surficial Sediments of the Northwest Mediterranean Continental Shelf*. Sediments and Water Interactions Proceedings of the Third International Symposium on Interactions Between Sediments and Water, held in Geneva, Switzerland, August, 1986, s. 27–31.
- Muntau H., Bianchi M., Cenci R., Fytianos K., Bovolenta S., Baudo R., Lattanzio A. *Sequential metal extraction from sediments and soil: Applications and justification of the European Communities*. Joint Research Centre, Environment Institute, Ispra, Italy, 1992.
- PN-S-96012:1997. *Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem*.
- Prusinkiewicz Z., Pokojska U. *Wpływ emisji przemysłowych na gleby. Życie drzew w skażonym środowisku*. Państwowe Wyd. Nauk., Warszawa-Poznań 1989, s. 235–243.
- Siepak J. *Kierunki i tendencje rozwoju współczesnej analityki próbek środowiskowych*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki

- Koszalińskiej, nr 21, seria Inżynieria Środowiska, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2003, s. 53–78.
- Skrzypek J. *Wybrane metale ciężkie w cemencie, kruszywie i betonie oraz ich wpływ na środowisko i zdrowie człowieka*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1478, Budownictwo z. 88, Gliwice 2000, s. 219–224.
- Sobczyński T., Siepak J. *Badania kumulacji związków biogenicznych i specjacji metali w osadach dennych jezior Wielkopolskiego Parku Narodowego*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej, nr 20, seria: Inżynieria Środowiska, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2001, s. 265–290.
- Tessier A., Campbell P. G., Bisson M. *Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals*. Anal. Chem., 51, 1979, s. 844–850.
- Welte B., Bles N., Montel A. *Etudes des differentes methodes de speciation des metaux lourds dans les sediments*. I. Etude bibliographique. Environ. Technol. Let., 4, 1983, s. 79–88.
- Zerbe J., Sobczyński T., Siepak J. *Metale ciężkie w osadach dennych, ich specjacja na drodze ekstrakcji sekwencyjnej*. Ekologia i Technika, nr 3(15), Bydgoszcz, 1995, s. 7–12.

dr hab. inż. Andrzej Czerniak  
Katedra Inżynierii Leśnej AR  
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań  
tel. 061-848-73-67  
e-mail: aczerni@ua.poznan.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Józef Suliński

*Andrzej Czerniak*

## **FORMS OF CHROMIUM OCCURRENCE IN THE AREA OF THE CEMENT-GROUND FOREST ROADS IMPACT**

### **SUMMARY**

Ground-cement composites are commonly used in public road foundations constructed also in forested areas. Layers of cement stabilized ground are utilized in road construction as improved basement soil or basic foundation. Compacted cement-ground composite layers are independently utilized as road surfaces, surfaces of fire emergency airports, manoeuvre areas, forest car parks, wood depots and peat-lands surfaces in forest road construction. A relatively low percentage of the binder brings

about a fairly high permeability of the utilized cement-ground and makes it more susceptible to flaking and cracking, as well as infiltration by precipitation water.

The cements contain, apart from Portland clinker, other non-clinker mineral components, mainly industrial refuse. The source of chemical pollution of the cement binders may originate from materials and substitute fuel (e.g. industrial and domestic refuse).

The general objective of the project was to evaluate the influence of cement-ground composite road foundations on the roadside ecotone zones in the fresh mixed broadleaved forest. The carried out investigations aimed at recognizing the process of washing out of chemical compounds from foundations depending upon the applied cement and condition of the foundation. Five types of different cements with a different share of non-clinker components (fly-ashes and blast furnace slags) were used for stabilization of the experimental sections.

Chemical tests of the eluates from cements and cement-ground composites proved that chromium is the element which is as the first one leached from the cement-ground foundations. Defining the chemical forms of chromium occurrence deciding about mobility and availability, its possible impact on the forest ecosystem can be described.

The aim of the presented research was defining the participation of respective chromium forms in humus horizons at the forest edge and in the distance of 10 m. from the crown edge: 5 experimental sections stabilized with different types of cement and the control section.

The carried out investigations proved that the sections reinforced with the tested cements had no de-stabilizing influence on the natural balance of the roadside ecotone zones of the fresh mixed forest. Speciation analysis carried out applying the sequence extraction method proved that chromium occurred mainly in the

**Key words:** forest, road, cements, monitoring, forms of chromium