

*Andrzej Czerniak*

## **WPŁYW PODBUDÓW DROGOWO-CEMENTOWYCH NA ODCZYN GLEB SIEDLISKA LASU MIESZANEGO ŚWIEŻEGO**

### **Streszczenie**

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 przydrożną strefę ekotonową w lesie mieszanym świeżym (LMśw). 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. W celu określenia wpływu cementogrunty na kształtowanie się odczynu gleb stref ekotonowych analizowano odczyn eluatów z piasku i cementów oraz stwardniałych cementogrunty. Określano również odczyn ściółki i próbek glebowych pobranych z trzech głębokości. Monitoringiem objęto także aparat asymilacyjny drzew i runo leśne. Próby gleb do badań chemicznych i bioindykacyjnych pobierano z dwóch transektów wyznaczonych równolegle do osi każdego z pięciu odcinków doświadczalnych i odcinka kontrolnego.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że odczyn eluatów z wszystkich analizowanych cementów był silnie alkaliczny. Eluaty z cementogrunty zawierających cementy portlandzkie bez dodatków miały pH powyżej 10,0; odczyn kompozytów z cementami wieloskładnikowymi, zawierającymi odpady przemysłowe był nieco mniej alkaliczny. Nie stwierdzono natomiast alkalizującego oddziaływania podbudów cementowo-gruntowych na kształtowanie się odczynu

gleb stref ekotonowych. Przeprowadzone badania wykazały, że odcinki doświadczalne wzmocnione testowanymi rodzajami cementów nie wpłynęły destabilizująco na równowagę przyrodniczą przydrożnych stref ekotonowych LMśw.

**Słowa kluczowe:** las, cement, podbudowa drogowa, gleba, odczyn

## WSTĘP

Warstwy gruntu stabilizowanego cementem stosuje się w konstrukcjach drogowych jako ulepszone podłoże gruntowe lub podbudowę zasadniczą. W drogownictwie leśnym i wiejskim zagęszczone warstwy cementowo-gruntowe użytkowane są jako samodzielne nawierzchnie drogowe oraz nawierzchnie placów manewrowych, parkingów, składnic i torowisk. Cementem można scalać grunty naturalne oraz materiały pochodzenia antropogenicznego, np. odpady powęglowe, żużle, gruz itp. [Skarżyńska 1997; Czerniak 2000, 2003]. Uzyskuje się dzięki temu poprawę nośności, przy jednoczesnej immobilizacji szkodliwych związków chemicznych znajdujących się w odpadach przemysłowych. Zaletą dróg cementowo-gruntowych jest ich trwałość, odporność na koleinowanie i możliwość przenoszenia dużych obciążeń [Wiśniewska 2003; Szydło 2004]. Kompozyty z udziałem spoiw cementowych wykorzystuje się także do renowacji nawierzchni betonowych i asfaltowych, według zasad technologii „overlays” lub „inlays”, czyli powierzchniowego pokrycia warstwą betonu uszkodzonych fragmentów nawierzchni.

Wytwarzane obecnie cementy różnią się składem chemicznym, właściwościami i dynamiką narastania wytrzymałości. Cementy zawierają obok klinkieru portlandzkiego również inne nieklinkierowe składniki mineralne [Skrzypek 2000]. Najczęściej są to żużle wielkopieczowe i popioły lotne. Badania niemieckie wykazują, że niektóre cementy i kruszywa mogą zawierać ładunek metali ciężkich [Sprung 1988, 1994]. Również w krajach skandynawskich: Szwecji, Finlandii, Danii prowadzone są analizy zawartości w cemencie metali ciężkich, głównie chromu oraz chlorków i siarczanów [Avnstorp 1989 a, b]. Źródłem zanieczyszczeń chemicznych spoiw cementowych mogą być surowce oraz paliwo zastępcze stosowane w piecach do wypału klinkieru. Źródłem alkaliów w cemencie są przede wszystkim margle, ility, iłolupki, i popioły.

Mały udział procentowy spoiwa w stosunku do stabilizowanego gruntu sprawia, że cementogrunt cechuje się dość dużą wodoprze-

puszczalnością. Struktura cementogruntu na skutek działania obciążeń dynamicznych i korozji ulega uszkodzeniom [Szwabowski 1999]. Istotny wpływ na intensywność wypłukiwania związków chemicznych mają parametry reologiczne cementogrunтів. Zanieczyszczenia chemiczne mogą przenikać do stref ekotonowych w wyniku pylenia cementów w trakcie budowy, występowania odcieków z niestwardniałych kompozytów oraz ługowania związków chemicznych z cementogrunтів ulegających korozji mechanicznej i biologicznej. Ługowane związki chemiczne z cementogrunтів monolitycznych i skorodowanych w wyniku ruchu pojazdów i działania czynników zewnętrznych mogą powodować alkalizację gleb sąsiadujących z nawierzchnią, a wymyte pierwiastki śladowe jako inhibitory aktywności procesów życiowych edafonu mogą zmieniać enzymatyczną aktywność poziomów próchnicznych i kumulować się w roślinach [Trawczyńska 1998; Czerniak 2004].

Odczyn gleb w powiązaniu z ilością i jakością substancji organicznej i potencjałem redoks istotnie wpływa na mobilność i formy występowania metali ciężkich i ich bioprzyswajalność. Stężenie metali w roztworach glebowych silnie wzrasta w miarę obniżania pH gleby [Prusinkiewicz, Pokojńska 1989]. Gleby piaszczyste o małej pojemności sorpcyjnej i kwaśnym odczynie słabo sorbują pierwiastki śladowe. W takich glebach pierwiastki przechodzą w formy łatwo przyswajalne i mogą kumulować się w roślinach lub ulegają wyługowaniu do wód gruntowych. Gleby o wysokiej pojemności sorpcyjnej w stosunku do kationów, która wynika z dużej zawartości substancji organicznej i minerałów ilastych, wykazują zdolność wiązania pierwiastków śladowych i zatrzymywania ich w poziomach powierzchniowych. Fitoprzyswajalność metali ciężkich może się zwiększyć w wyniku spadku zawartości substancji organicznej lub wzrostu zakwaszenia. Odczyn gleby istotnie wpływa na rozwój mikroflory glebowej. Wraz ze wzrostem kwasowości maleje w glebie ilość bakterii, a zwiększa się ilość mikroorganizmów odporniejszych na kwaśny odczyn, np. grzybów. Mikroorganizmy glebowe w wyniku procesów metabolicznych przekształcają substancje organiczne i wzbogacają glebę w azot, substancje wzrostowe, antybiotyczne oraz substancje biologicznie czynne. Przy bardzo silnym spadku pH zmniejsza się aktywność biologiczna gleby, co prowadzi do gromadzenia się grubych warstw „surowej” próchnicy. Liczne badania wskazują, że duży wpływ na zakwaszenie gleb leśnych ma gatunek rośliny dostarczającej główną masę ściółki leśnej. Odczyn gleb leśnych kształtują także czynniki

antropogeniczne. Na przykład pyły emitowane z cementowni należące do grubodyspersyjnych areozoli, odkładając się na organach asymilacyjnych roślin, powodują uszkodzenia drzewostanów [Greszta, Morawski 1972]. W dalszej odległości od źródła emisji zaobserwowano efekty podobne jak po wapnowaniu gleb, czyli tworzenie się korzystniejszych form próchnicy oraz szybszą mineralizację substancji organicznej.

### **CEL I ZAKRES BADAŃ**

Ogólnym celem projektu badawczego było określenie wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na przydrożne strefy ekotonowe w lesie mieszanym świeżym (LMśw). Przeprowadzone badania miały na celu rozpoznanie procesów wymywania związków chemicznych z podbudów i ich migracji w leśnych strefach ekotonowych, w zależności od rodzaju zastosowanego cementu i stanu podbudowy. Celem badań bioindykacyjnych było określenie ilościowe i jakościowe zanieczyszczeń w aparacie asymilacyjnym różnych gatunków drzew oraz runie stref ekotonowych.

W celu określenia wpływu cementogrunty na kształtowanie się odczynu gleb stref ekotonowych analizowano odczyn eluatów z piasku i cementów oraz stwardniałych cementogrunty. Określano również odczyn ściółki i próbek glebowych pobranych z trzech głębokości. Monitoringiem objęto także aparat asymilacyjny drzew i runo leśne.

W przypadku wykazania braku istotnego wpływu na środowisko leśne zarówno procesu budowy dróg cementowo-gruntowych oraz ich eksploatacji możliwe będzie szersze wdrażanie tych technologii przy modernizacji sieci komunikacyjnej. Dodatkowym celem badań było wytypowanie rodzajów cementu najmniej wpływających na środowisko przyrodnicze, przy jednoczesnym zachowaniu normowych nośności podbudów. Wnioski z badań przeprowadzonych na odcinkach doświadczalnych wykonanych zgodnie z normami technicznymi mogą być podstawą do sporządzania ekspertyz określających wpływ nowo budowanych dróg na środowisko przyrodnicze.

### **METODY BADAŃ**

Do badań wytypowano pięć rodzajów cementu o różnym udziale popiołów lotnych i żużla wielkopieczowego. Proces wymywania

z cementogrunty związków chemicznych nieobojętnych dla środowiska leśnego określony został dwukierunkowo, tzn. na podstawie badań laboratoryjnych oraz badań terenowych. Założono, że badania wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na środowisko leśne muszą być przeprowadzone w sąsiedztwie odcinków dróg wybudowanych przy pełnym monitoringu biogeochemicznym i technicznym. Badania geotechniczne pozwoliły wytypować odcinki doświadczalne o podobnych warunkach gruntowo-wodnych przy jednoczesnym zachowaniu zbliżonych cech drzewostanowych w strefach ekotonowych. Odcinki doświadczalne wyznaczono na drodze leśnej nieremontowanej materiałami antropogenicznymi. Umożliwiło to wyeliminowanie innych źródeł zanieczyszczeń, wykonanie badań chemicznych tła oraz zastosowanie kontrolowanych dawek cementów ustalonych laboratoryjnie. Na podstawie badań laboratoryjnych opracowany został optymalny skład 5 mieszanek cementowo-gruntowych [PN-S-96012 1997]. Wyniki drogowych badań laboratoryjnych były niezbędne do założenia odcinków doświadczalnych o parametrach technicznych zgodnych z normami [Katalog... 1997]. Każdy odcinek doświadczalny stabilizowano innym rodzajem cementu:

- 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 żużlowo-popiołowym 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 niezmiennym jako odcinek kontrolny

W celu określenia odczynu eluatów z piasku przeznaczonego do stabilizacji i cementów 1-gramowe naważki zalewano 50 cm<sup>3</sup> wody destylowanej oraz 0,1 molowym roztworem KCL. Odczyn eluatów mierzono po 24 godzinach pehametrem typu „Cyberskaner 510”.

Laboratoryjną ocenę ługowania zanieczyszczeń chemicznych z cementogrunty przeprowadzono na próbkach w kształcie walca. Grunt (piasek średni) stabilizowano 8% dawką cementu, zagęszczano i przechowywano zgodnie z normą. Stwardniałe próbki cementogrunty zalewano 3,0 dm<sup>3</sup> wody destylowanej i 0,1 molowym roztworem

KCL i mieszano przez trzy doby mieszadłem magnetycznym. Próbkę w kształcie walca o średnicy 80 mm i wysokości 80 mm zawierały 8% spoiwa. Odczyn określano po 72 godzinach. Chlorki oznaczono metodą Mohra przy użyciu azotanu srebra. Siarczany oznaczono spektrofotometrycznie, przy długości fali 490 nm. Analizy wykonano na spektrofotometrze CARY firmy Varian. Wyniki zamieszczono w pracy, uwzględniając masy próbek i wykonane rozcieńczenia.

Drogowe odcinki doświadczalne założono na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Siemianicach w Leśnictwie Laski. Lasy LZD Siemianice znajdują się w północnej części regionu Wyżyny Małopolskiej, subregionie Wyżyny Śląskiej. Pod względem przyrodniczo-leśnym teren ten zaliczany jest do V Krainy Śląskiej, dzielnicy Wrocławskiej i należy do Mezoregionu Równiny Oleśnickiej. Powierzchnie badawcze obrano na obszarze naturalnego zasięgu jodły i świerka, które wraz z sosną, dębem, olchą i jesionem są głównymi gatunkami lasotwórczymi gleb wykształconych na utworach holocenicznych rzek: Proсны, Pratwy, Pomianki i Samicy.

Odcinki doświadczalne założono w oddziale 55 (pododdziały f, g, h), gdzie dominującymi gatunkami są sosna, dąb i buk. Typ siedliskowy lasu – LMśw, jednostka kartograficzna roślinności: *Galio silvatici – Carpinetum holcetosum mollis* (gscph).

Zanieczyszczenia transportowane w atmosferze, wprowadzane wraz z opadami atmosferycznymi stanowią znaczące źródło skażenia środowiska naturalnego [Twardowski i in. 1998; Tarnowski 1998]. Woda opadowa zawierać może od 0,1 do 3,6  $\mu\text{g Cr}\cdot\text{dm}^{-3}$ , a śnieg 3–5  $\mu\text{g Cr}\cdot\text{dm}^{-3}$  [Czekała 1997]. Lokalizacja odcinków doświadczalnych w znacznej odległości od emiterów zanieczyszczeń pozwoliła ograniczyć do minimum depozycję mokrą i suchą anionów i kationów na powierzchniach badawczych.

Gleby stref ekotonowych są głównym ośrodkiem kumulacji substancji chemicznych wymywanych z konstrukcji nawierzchni, stanowiąc swoisty filtr ochronny ograniczający migrację zanieczyszczeń w głąb lasu. Mobilność i bioprzyzwajalność metali ciężkich jest silniejsza w glebach o odczynie kwaśnym. Założono, że badania przeprowadzone będą w ekosystemie charakteryzującym się warunkami glebowymi sprzyjającymi wymywaniu z cementogrunty zanieczyszczeń chemicznych. Do badań wytypowano ekosystem leśny z glebami rdzawymi brunatnymi o urozmaiconym składzie gatunkowym szaty roślinnej. Przynależność systematyczną określano na podstawie kryteriów genetycznych, wykorzystując 12 odkrywek glebowych o głąbo-

kości do 2,5 m. Odkrywki wykonywano w dwóch transektach równoległych do odcinków doświadczalnych.

Próby gleb do badań chemicznych i bioindykacyjnych pobierano z dwóch transektów wyznaczonych równoległe do osi każdego z pięciu odcinków doświadczalnych i odcinka kontrolnego. Transekt I wyznaczono na skraju lasu bezpośrednio przylegającego do krawędzi korony drogi odcinków doświadczalnych. Transekt II („las”) wyznaczono w odległości 10 m od ściany lasu (fot. 1).

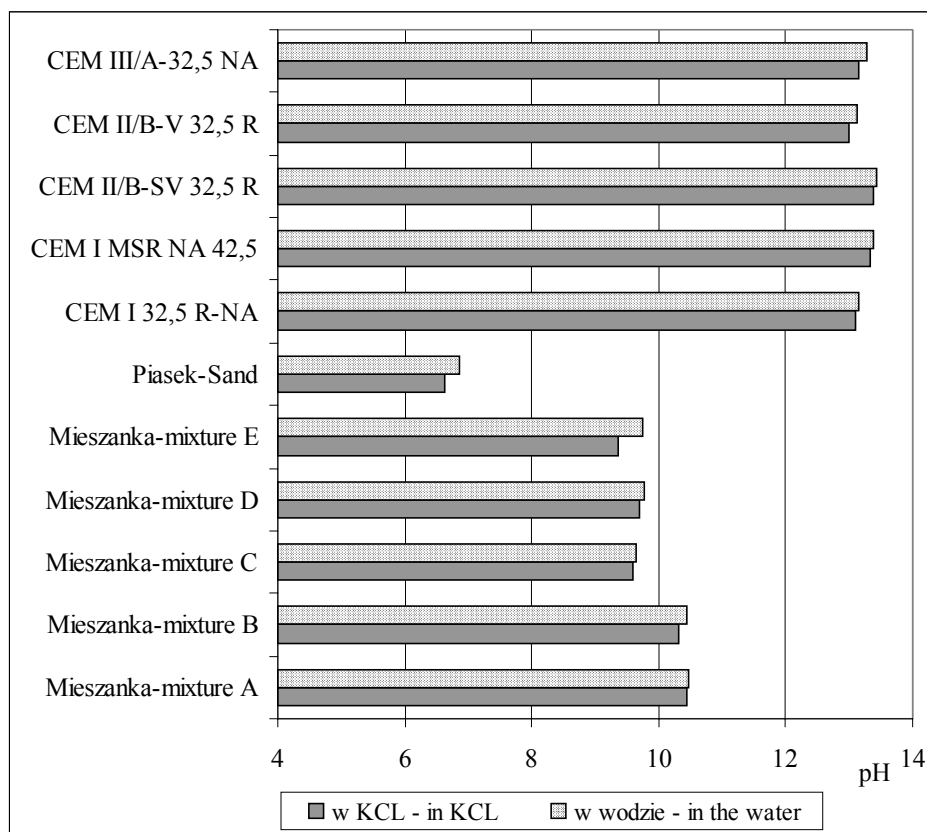
Gleby badanych stref ekotonowych charakteryzowały się niskimi wartościami pH. Kwaśny odczyn gleb sprzyja migracji i nasila fitoprzyswajalność metali ciężkich. Wybór obiektu badawczego wynikał z założenia, że monitorowaniu podlegać będą gleby, w których mobilność pierwiastków jest duża.



**Fotografia 1.** Lokalizacja transektów badawczych  
**Photo 1.** Position of the experimental transects

## WYNIKI BADAŃ I PODSUMOWANIE

Odczyn eluatów z wszystkich analizowanych cementów był silnie alkaliczny ( $\text{pH} > 13$ ),  $\text{pH}$  eluatu z piasku wynosiło 6,87 w  $\text{H}_2\text{O}$  i 6,64 w KCL (rys. 1).



**Rysunek 1.** Wartość  $\text{pH}$  (w wodzie i KCL) cementów, piasku i mieszanek cementowo-gruntowych

**Figure 1.** Value of  $\text{pH}$  (in the water and in KCL) of cements, sand and cement-ground composites

Eluaty z cementogrunty zawierających cementy portlandzkie bez dodatków miały  $\text{pH}$  powyżej 10,0 jednostek. Odczyn kompozytów z cementami wieloskładnikowymi, zawierającymi odpady przemysłowe był nieco mniej alkaliczny (rys. 1). Eluaty o silnie zasadowym

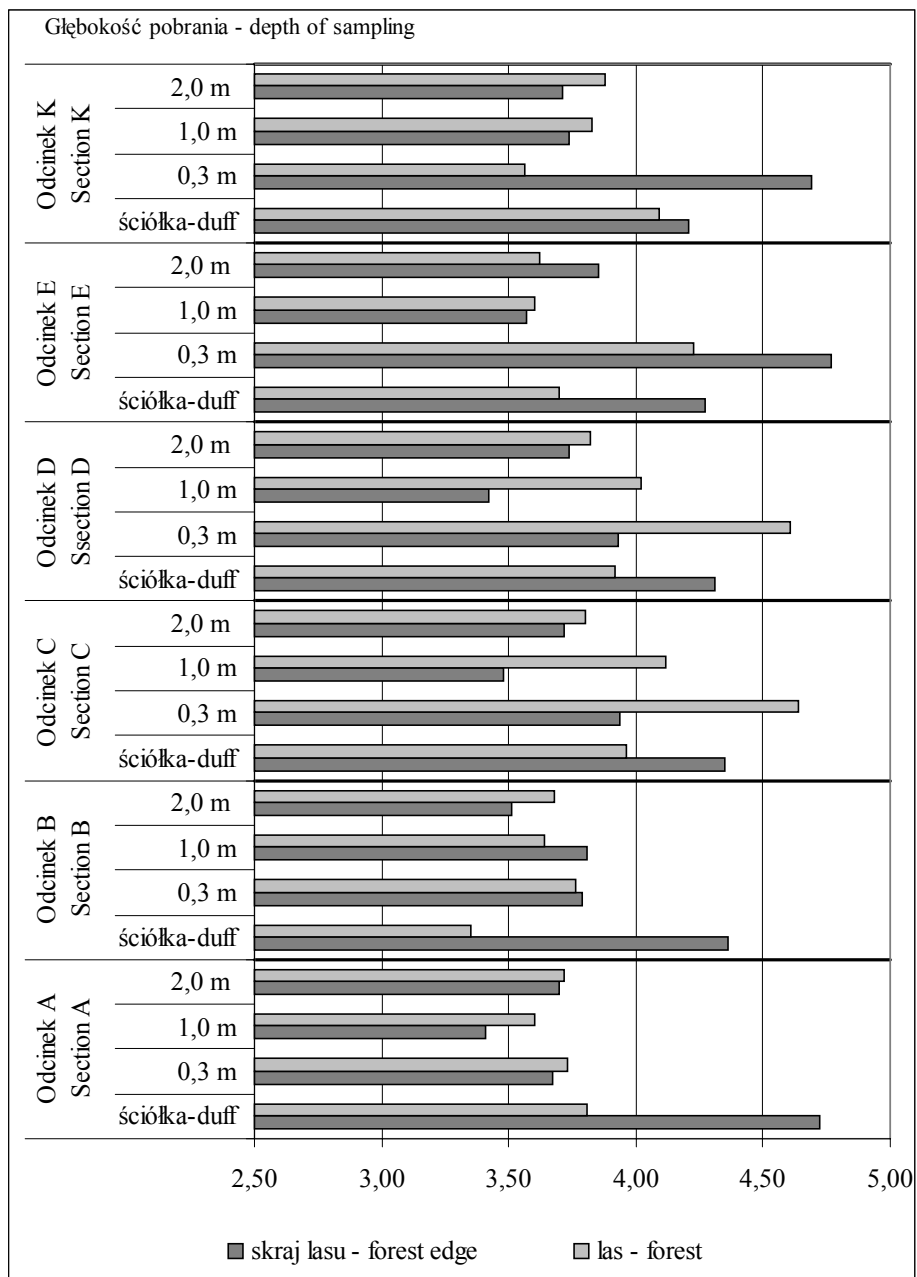


odczynie wypłukiwane z cementów i cementogrunty mogą powodować alkalizację terenów przyległych do dróg. W celu określenia wpływu odcinków doświadczalnych na kształtowanie się odczynu gleb stref ekotonowych sąsiadujących z odcinkami stabilizowanymi cementami przeprowadzono badania pH ściółki, poziomów próchnicznych oraz głębszych warstw geotechnicznych. Badania odczynu przeprowadzono w trzech kolejnych okresach wegetacyjnych. W pracy przedstawiono jedynie wybrane wyniki badań kwasowości gleb. Na rysunku 2 przedstawiono graficznie rozkład, kwasowość ściółki leśnej oraz różnych poziomów geotechnicznych po roku eksploatacji odcinków doświadczalnych. Rysunek 3 przedstawia wyniki badań kwasowości poziomów próchnicznych w trzecim roku użytkowania odcinków doświadczalnych.

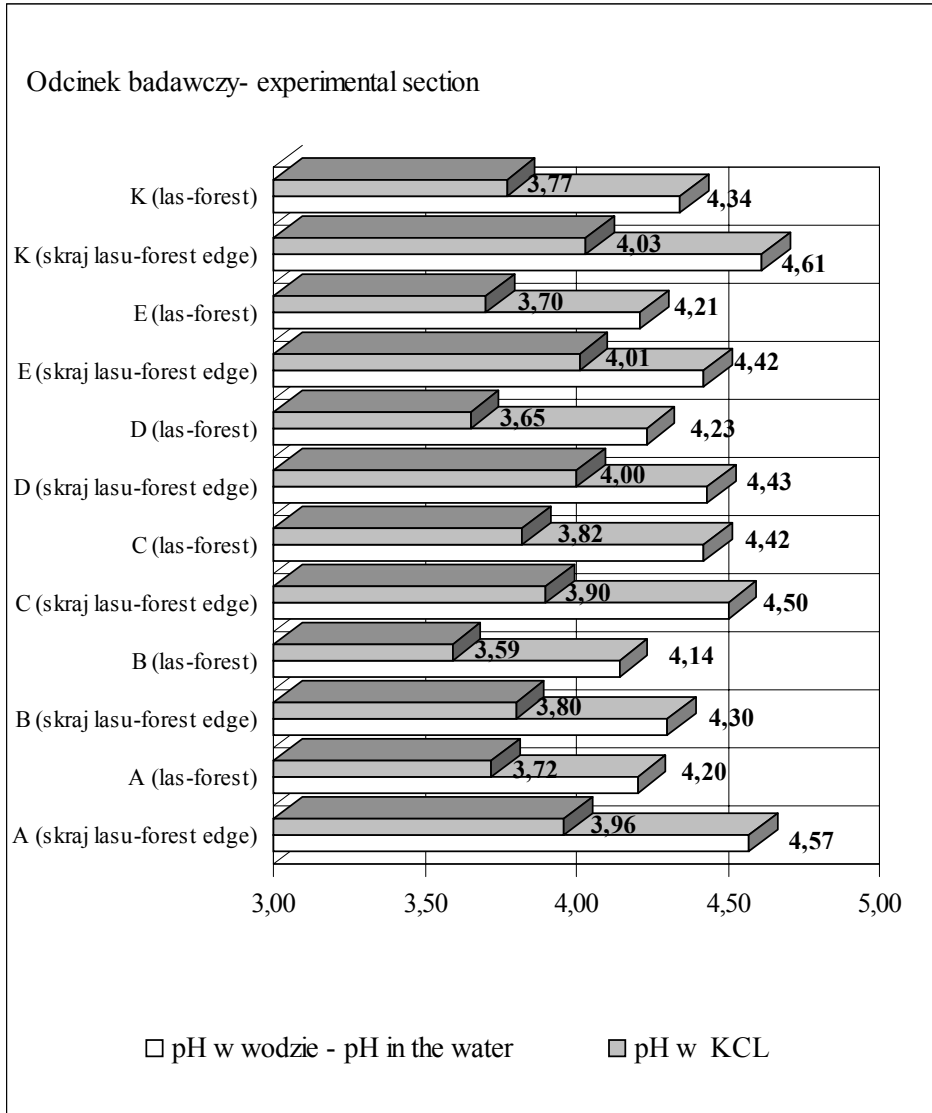
Badania tła wykazały, że analizowane gleby należały do silnie kwaśnych. Odczyn ściółki leśnej pobranej w drugim okresie wegetacyjnym, jak i próbek poziomów próchnicznych pobranych w trzecim okresie wegetacyjnym był bardziej kwaśny w głębi lasu niż na skraju. Zależność ta wystąpiła również w sąsiedztwie odcinka kontrolnego niestabilizowanego cementem. Wyższe pH ściółki i poziomów próchnicznych na skraju lasu w sąsiedztwie odcinków cementogruntowych i odcinka kontrolnego wynikało przede wszystkim ze struktury gatunkowej drzewostanu. Na skraju lasu dominowały gatunki liściaste, natomiast w głębi lasu przeważała roślinność borowa. Tezę tę potwierdzają badania Musierowicza i Uggli [1967], którzy wykazali, że odczyn ściółki brzozonej wynosił 5,3–6,0, a najbardziej kwaśne są ściółki: świerkowa (pH 3,8–4,2) i sosnowa (pH 4,0–4,5).

Przeprowadzone badania nie potwierdziły alkalizującego oddziaływania podbudów cementowo-gruntowych na kształtowanie się odczynu w poziomach glebowych stref ekotonowych.

Odczyn aparatu asymilacyjnego drzew i runa pobranego w sąsiedztwie odcinków cementowo-gruntowych nie różnił się istotnie od odczynu aparatu asymilacyjnego pobranego z transektów kontrolnych (tabela 1.). Najmniejsze pH odnotowano dla igieł *Picea abies* Karst, *Abies alba* Mill. i liści *Carpinus betulus* L. Zawartość chlorków i siarczanów w pobranym aparacie asymilacyjnym była silnie zróżnicowana i wynikała w dużej mierze z predyspozycji gatunkowych do kumulacji tych związków.



**Rysunek 2.** pH gleb stref ekotonowych po roku eksploatacji odcinków doświadczalnych  
**Figure 2.** pH of soils of ecotonic zones after a year of utilizing the experimental sections



**Rysunek 3.** pH poziomów próchnicznych stref ekotonowych w trzecim roku eksploatacji odcinków doświadczalnych  
**Figure 3.** pH of humus levels of ecotonic zones in the third year of utilization of the experimental sections

**Tabela 1.** Zawartość chlorków i siarczanów oraz odczyn aparatu asymilacyjnego (po 2 latach)  
**Table. 1.** Content of chlorides and sulphates and reaction of assimilatory apparatus (after 2 years)

Gatunek – Species	Odcinek drogowy Road section	Transekt–Transect	pH	Chlorki Chlorides (mg/kg)	Siarczany Sulfates
<i>Pinus sylvestris</i> L.	A	skraj lasu – forest edge	4,06	715,02	43,20
		las – forest	4,00	701,23	41,12
<i>Pinus sylvestris</i> L.	B	skraj lasu – forest edge	4,11	712,36	42,25
		las – forest	4,14	700,00	40,17
<i>Pinus sylvestris</i> L.	C	skraj lasu – forest edge	4,12	713,57	44,19
		las – forest	4,09	702,03	40,39
<i>Pinus sylvestris</i> L.	D	skraj lasu – forest edge	4,21	714,09	46,71
		las – forest	4,15	701,42	40,00
<i>Pinus sylvestris</i> L.	E	skraj lasu – forest edge	4,21	716,28	45,89
		las – forest	4,08	704,25	42,30
<i>Pinus sylvestris</i> L.	K	skraj lasu – forest edge	4,10	713,13	41,35
		las – forest	4,06	703,21	39,12
<i>Larix decidua</i> Mill.	A	skraj lasu – forest edge	4,87	745,80	42,36
		las – forest	4,81	740,23	41,06
<i>Larix decidua</i> Mill.	B	skraj lasu – forest edge	4,79	755,99	43,10
		las – forest	4,73	762,26	42,90
<i>Picea abies</i> Karst	C	skraj lasu – forest edge	3,66	800,99	9,10
		las – forest	3,98	248,22	9,72
<i>Abies alba</i> Mill.	D	skraj lasu – forest edge	3,98	828,27	8,40
		las – forest	3,68	184,39	8,70
<i>Fagus silvatica</i> L.	E	skraj lasu – forest edge	3,99	576,22	8,60
		las – forest	4,11	179,08	8,80
<i>Quercus robur</i> L.	A	skraj lasu – forest edge	4,06	106,76	42,70
		las – forest	4,38	273,04	8,35
<i>Tilia cordata</i> Mill.	B	skraj lasu – forest edge	5,82	106,38	8,15
		las – forest	5,61	105,75	8,00
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	C	skraj lasu – forest edge	5,61	90,00	41,10
		las – forest	5,54	88,65	42,30
<i>Carpinus betulus</i> L.	D	skraj lasu – forest edge	3,88	806,21	43,50
		las – forest	3,94	868,27	44,20
<i>Betula pendula</i> Roth.	E	skraj lasu – forest edge	4,54	195,03	9,35
		las – forest	4,65	27,73	9,20
<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	C	skraj lasu – forest edge	4,80	203,39	43,30
		las – forest	4,71	200,11	42,80
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	D	skraj lasu – forest edge	5,07	728,21	42,90
		las – forest	4,91	580,41	43,90
<i>Populus tremula</i> L.	D	skraj lasu – forest edge	5,63	220,30	42,20
		las – forest	5,76	225,17	42,30

cd. Tab. 1

Gatunek – Species	Odcinek drogowy Road section	Transekt–Transect	pH	Chlorki Chlorides (mg/kg)	Siarczany Sulfates
<i>Pteridium aquilinum</i> L.	E	skraj lasu – forest edge	5,31	351,23	42,90
		las – forest	5,49	372,33	42,90
roślinność runa ground cover	A	skraj lasu – forest edge	6,92	75,47	54,40
		las – forest	6,81	82,36	59,85
roślinność runa ground cover	B	skraj lasu – forest edge	6,95	124,11	41,70
		las – forest	6,86	124,70	40,10
roślinność runa ground cover	C	skraj lasu – forest edge	6,16	301,41	38,80
		las – forest	6,00	294,36	37,55
roślinność runa ground cover	D	skraj lasu – forest edge	6,98	117,02	41,30
		las – forest	6,95	116,75	40,00
roślinność runa ground cover	E	skraj lasu – forest edge	6,90	120,56	42,10
		las – forest	6,82	118,35	39,78
roślinność runa ground cover	K	skraj lasu – forest edge	6,95	88,65	43,60
		las – forest	6,92	80,04	39,80

## BIBLIOGRAFIA

- Avnstorp C. *Prevalence of Cement Eczema in Denmark Before and Since Addition of Ferrous Sulfate to Danish Cement*. Acta Derm Venereol (Stochh), 1989 a, s. 151–155.
- Avnstorp C. *Follow-up of workers from the prefabricated concrete industry after the addition of ferrous sulphate to Danish cement*. Contact Dermatitis 20/89, 1989 b, s. 365–371.
- 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. *Laboratory research of carbonaceous shales for purpose of forest roads engineering*. Land Use Planning and Projecting: Experience and Perspectives. Internat. Coll. of Scient. Papers. Lviv-Dubliany: Lviv State Agrarian University (LSAU), 2000, s. 302–308.
- Czerniak A. *Badania nad przydatnością różnych rodzajów cementów do stabilizacji dróg gruntowych*. Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Inżynieria Rolnicza nr 3, 2003, s. 161–173.
- 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, s. 22–27.
- Greszta J., Morawski S. *Rekultywacja nieużytków przemysłowych*. PWRiL, Warszawa 1972, s. 181–190.
- IBDiM *Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Pólsztynowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych ISBN 83-907304-1-3, Warszawa, Wydanie drugie, 1997.

- Musierowicz A., Uggla H. *Gleboznawstwo leśne ogólne*. Państwowe Wyd. Rol. i Leśne, Warszawa, 1967.
- 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.
- Skarżyńska K. *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej*. Wyd. AR w Krakowie, 1997.
- Skrzypek J. *Wybrane metale ciężkie w cementach, 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.
- Sprung S. *Einbindung von Schwermetallen in Sekundärstoffen durch Verfestigen mit Zement*. Beton 5, 1988.
- Sprung S. *Umweltverträglichkeit von Zement*. Zement-Kalk-Gips 8, 1994, s. 11–13.
- Szwabowski J. *Reologia mieszanek na spoiwach cementowych*. Wyd. Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 1999.
- Szydło A. *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004.
- Tarnowski K. *The influence of rainfall on the surface water quality in the town Szczecin*. W: Ochrona i rekultywacja terenów dorzecza Odry. Red. Greinert H., Kołodziejczyk U., Greinert A. International Conference, Zielona Góra, 15-16. 09, 1998, s. 369–374.
- Trawczyńska A. *Próba oceny wpływu zakwaszenia gleby na jej aktywność biologiczną w aluwiach górnego odcinka doliny Bzury*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 456, 1998, s. 243–249.
- Twardowski R., GENDOLLA T., LIANA E. *Monitoring zanieczyszczeń wnoszonych z opadem atmosferycznym na obszar dorzecza środkowej Odry*. W: Ochrona i rekultywacja terenów dorzecza Odry. Red. Greinert H., Kołodziejczyk U., Greinert A. International Conference, Zielona Góra, 15-16. 09. 1998, s. 375–388.
- Wiśniewska K. *Drogi betonowe-bezpiecznie do Europy*. Materiały Budowlane nr 6, Wyd. „Sigma-NOT”, Warszawa 2003, s. 72.

Badania zrealizowano ze środków KBN w ramach projektu badawczego nr 3 P06L 026 25, umowa nr 0679/P06/2003/25

Dr inż. Andrzej Czerniak, adiunkt  
Katedra Inżynierii Leśnej AR  
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań  
e-mail: aczerni@au.poznan.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Kazimierz Januszek

*Andrzej Czerniak*

## **THE INFLUENCE OF ROAD CEMENT FOUNDATIONS ON SOIL REACTION OF THE FRESH MIXED FOREST**

### **SUMMARY**

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 main goal of the research project was evaluating the influence of cement-ground road foundations on the roadside ecotone zones in the fresh mixed broad-leaved forest. The research focused on five types of cements, which contained different percentage of fly ashes and furnace slag. The process of chemical compounds leaching from cement-ground mixtures was described at two levels i.e. laboratory tests and field investigations. The reaction of both sand eluates and hardened cement-ground mixtures was analyzed to describe the influence of cement-ground mixtures on forming the reaction of ecotone zones soils. Additionally, the reactions of duff and soil samples taken at three depths were described. Trees assimilatory organs, as well as ground cover were also monitored. Samples of soils for chemical and bio-indication investigations were collected from two transects, parallel to the axis of each of the five experimental sections, as well as the experimental one.

It was found out on the basis of the carried out experiments that the reaction of the eluates of all the analyzed cements was strong alkaline. Cement-ground eluates containing pure Portland cements showed the pH exceeding 10.00; the reaction of composites containing multi-component cements with industrial refuse was somewhat less alkaline. The alkaligenous influence of cement-ground foundations on forming the reactions of ecotone zones soils was not found. 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.

**Key words:** forest, cement, road foundation, soil, reaction