

ANDRZEJ CZERNIAK, DARIUSZ KAYZER

Bioindykacja leśnych stref ekotonowych w zasięgu oddziaływania dróg cementowo-gruntowych na podstawie cech fizycznych igieł sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)*

Bioindication of forest ecotonal zones within the impact of cement-ground roads on the basis physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles

ABSTRACT

Czerniak A., Kayzer D. 2006. Bioindykacja leśnych stref ekotonowych w zasięgu oddziaływania dróg cementowo-gruntowych na podstawie cech fizycznych igieł sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Sylwan 5: 59-67.

The obtained results allow, with high degree of likelihood, to state that chemical compounds leached from the cement-soil road did not affect the length and mass of pine needles sampled from trees growing in the neighbourhood of road sections stabilised by different cement types. The analysed physical parameters of needles collected from trees growing in the neighbourhood of cement-stabilised road sections did not significantly differ from the physical parameters collected from trees growing in the neighbourhood of the non-stabilised control section.

KEY WORDS

forest, road, heavy metals, leaching, assimilatory apparatus

ADDRESSES

Andrzej Czerniak – Katedra Inżynierii Leśnej; Wydział Leśny AR;
ul. Mazowiecka 41; 60-623 Poznań; e-mail: aczerni@au.poznan.pl

Dariusz Kayzer – Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych; Wydział Rolniczy AR;
ul. Wojska Polskiego 28; 60-637 Poznań; e-mail: dkayzer@au.poznan.pl

Wstęp

Warstwy gruntu stabilizowanego cementem stosuje się w konstrukcjach dróg publicznych, w tym na autostradach, jako ulepszone podłoże gruntowe oraz podbudowę zasadniczą lub pomocniczą. W drogownictwie lokalnym (np. leśnym) ze względów ekonomicznych zagęszczone warstwy cementowo-gruntowe użytkowane są jako samodzielne nawierzchnie drogowe, nawierzchnie przeciwpożarowych lotnisk leśnych, placów manewrowych, parkingów leśnych, składnic, torowisk.

Stosunkowo mały udział procentowy spoiwa powoduje, że cementogrunt cechuje się dość dużą wodoprzepuszczalnością i jest podatny na uszkodzenia w formie złuszczeń i pęknięć [Czerniak 2004a].

Struktura cementogruntu w wyniku działania obciążeń dynamicznych i korozji ulega zmianom reologicznym. Wcześniejsze badania wykazały, że parametry reologiczne cementogruntu mają duży wpływ na intensywność wypłukiwania związków chemicznych [Czerniak 2004 b].

* Temat finansowany przez KBN w ramach grantu nr 3P06L 026 25

Źródłem zanieczyszczeń chemicznych cementów mogą być surowce oraz paliwo stosowane w piecach do wypału klinkieru, szczególnie wtedy, gdy paliwo węglowe zastępowane jest paliwem alternatywnym tzn. odpadami przemysłowymi i komunalnymi [Skrzypek 2000]. Według Sprunga 30% całkowitej zawartości w cemencie metali ciężkich (głównie chromu) pochodzi z surowca, a pozostałe 70% z wypału i procesu mielenia klinkieru [Sprung 1988; 1998].

Ługowane związki chemiczne z cementogruntych monolitycznych, uszkodzonych w wyniku ruchu pojazdów oraz skorodowanych na skutek działania czynników zewnętrznych, specyficznych dla środowiska leśnego, mogą powodować zmianę odczynu gleb sąsiadujących z nawierzchnią, a wymyte pierwiastki śladowe mogą zmieniać aktywność mikrobiologiczną gleb i kumulować się w roślinach. Ogólnym celem zrealizowanego projektu badawczego pt. „Ekologiczne aspekty stosowania gruntocementów drogowych w środowisku leśnym” było określenie wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na środowisko leśne w przydrożnych strefach ekotonowych oraz stworzenie podstaw do racjonalnego stosowania technologii wzmacniania cementem leśnych dróg gruntowych. Zakres realizowanych badań obejmował analizy geochemiczne, bioindykację, a szczególnie ocenę fitoakumulacji w aparacie asymilacyjnym drzew metali ciężkich wypłukiwanych z odcinków doświadczalnych z nawierzchniami cementowo-gruntowymi. Do stabilizacji odcinków doświadczalnych użyto pięciu rodzajów cementu cechujących się różnym udziałem składników nieklinkierowych (popiołów lotnych i żużli wielkopieczowych). Przed założeniem odcinków doświadczalnych wykonano badania geotechniczne, glebowe, zinwentaryzowano drzewa rosnące w strefach ekotonowych oraz pobrano próbki aparatu asymilacyjnego. Pobrano także próbki gruntów do badań chemicznych tła. Optymalny skład mieszanek cementowo-gruntowych ustalono laboratoryjnie na podstawie wyników wytrzymałości na ściskanie próbek po 7 i 28 dniach twardnienia w różnych warunkach temperaturowych i wodnych. Wymywanie metali ciężkich (Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, Cu, Co, Fe) z cementogruntych określono oceniając stężenia pierwiastków w eluatach z walcowych próbek cementowo-gruntowych wykonanych w warunkach laboratoryjnych oraz na podstawie zawartości metali ciężkich w glebach sąsiadujących z odcinkami doświadczalnymi. Badania chemiczne obejmowały określenie całkowitej zawartości metali ciężkich oraz analizę specyficzną ekstrakcją sekwencyjną chromu w poziomach próchnicznych. Niektóre metale ciężkie są inhibitorami aktywności mikrobiologicznej gleb, stąd strefy ekotonowe sąsiadujące z odcinkami doświadczalnymi objęto badaniami aktywności enzymów: dehydrogenaz, proteazy, ureazy i fosfatazy [Czerniak 2004 c]. Przeprowadzono także badania powierzchniowego i pionowego rozkładu podatności magnetycznej, wynikającej z obecności metali ciężkich w środowisku.

Cel i zakres badań

Reakcje roślin na zmiany chemicznego składu środowiska znalazły szerokie zastosowanie w prospekcji geochemicznej oraz w monitoringu chemicznej jakości środowiska przyrodniczego. Wysoka zawartość w środowisku glebowym danego pierwiastka lub zespołu pierwiastków wpływa na organizmy i powoduje różne zmiany fizjologiczne i morfologiczne, które z czasem mogą utrwalac się dziedzicznie [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Nadmierne ilości związków chromu w środowisku glebowym mogą być przyczyną zmian morfologicznych aparatu asymilacyjnego [Czekała 1997]. Jako czuły indyktor stanu środowiska przyrodniczego uznaje się aparat asymilacyjny sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. [Wójcik 2002]. Jakość aparatu asymilacyjnego jest ściśle skorelowana ze stanem zdrowotnym drzewostanów sosnowych. Obszerne badania w zakresie ustalania związków pomiędzy wielkością aparatu asymilacyjnego, a dynamiką wzrostową drzewostanów sosnowych prowadził Lemke [1966; 1973; 1974]. Kumulacja i biosorpcja

metali ciężkich, np. chromu, może prowadzić do redukcji długości i powierzchni oraz deformacji igieł [Greszta 1982].

W celu określenia wpływu wymywanych z podbudów drogowych zanieczyszczeń chemicznych na stan aparatu asymilacyjnego statystycznej analizie porównawczej poddano wybrane cechy fizyczne igieł sosnowych.

Metody badań

Drogowe odcinki doświadczalne założono w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Siemianicach. Pod względem przyrodniczo-leśnym teren ten jest zaliczany do V Krainy Śląskiej, dzielnicy Wrocławskiej i należy do Mezoregionu Równiny Oleśnickiej. Założono, że badania wpływu cementowo-gruntowych podbudów drogowych na środowisko leśne będą przeprowadzone w sąsiedztwie celowo wybudowanych odcinków dróg, przy pełnym monitoringu technicznym laboratoryjnym i terenowym (ustalenie dawek cementów, badanie nośności). Monitoring biogeochemiczny umożliwił wyeliminowanie innych źródeł zanieczyszczeń i wykonanie badań chemicznych tła. Laboratoryjne projektowanie składu mieszanek cementowogruntowych przeprowadzono zgodnie z normą PN-S-96012 [1997], a uzyskane wyniki opublikowano [Czerniak 2003]. Opublikowano również wybrane wyniki badań chemicznych, głównie stężenie metali ciężkich w eluatach z cementogruntołów [Czerniak 2004 b] oraz zawartość metali ciężkich w aparacie asymilacyjnym drzew rosnących w strefie ekotonowej [Czerniak 2004 d]. Wyniki drogowych badań laboratoryjnych były niezbędne do założenia sześciu odcinków doświadczalnych (pięciu odcinków stabilizowanych różnymi cementami i odcinka kontrolnego K). W badaniach użyto następujących cementów:

- portlandzki niskoalkaliczny CEM I 32,5 R-Na; (odcinek A),
- drogowo-mostowy CEM I MSR NA 42,5; (odcinek B),
- żuźlowo-popiołowy CEM II/B-SV 32,5 R; (odcinek C),
- popiołowy CEM II/B-V 32,5 R; (odcinek D),
- cement hutniczy CEM III/A - 32,5 NA; (odcinek E).

Stabilizację wykonano modernizując istniejącą leśną drogę gruntową prowadzącą do tartaku LZD Siemianice. Ruch pojazdów, zarówno na wcześniej istniejącej drodze gruntowej, jak i po wybudowaniu odcinków doświadczalnych był efemeryczny i nie miał istotnego wpływu na stan środowiska przyrodniczego. Na podstawie odwiertów geotechnicznych określono warunki gruntowo-wodne podłoża drogowego, szczególnie w zakresie rodzaju gruntu i stopnia zagęszczenia ID. Badania geotechniczne prowadzono zgodnie z Instrukcją Badań Podłoża Gruntowego Budowli Drogowych i Mostowych oraz z zasadami uwzględnianymi w innych badaniach [Kłosiński, Trochimczuk 1998]. Wyboru odcinków dokonywano tak, aby nie różniły się pod względem geotechnicznym, glebowym i drzewostanowym. Budowę odcinków prowadzono zgodnie z zasadami zawartymi w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych oraz Katalogu i Wytycznych Technicznych dla Dróg Leśnych Wewnętrznych Zakładowych. Grunt podłoża drogowego wymieniono na piasek średni, który poddano stabilizacji 8% dodatkiem cementu. Grubość cementogruntu po zagęszczeniu wynosiła 15 cm.

Aparat asymilacyjny pobrano zgodnie z zaleceniami wypracowanymi przez Uczestników IV Krajowego Sympozjum nt. Reakcji biologicznych drzew na zanieczyszczenia przemysłowe zorganizowanego w roku 2001 przez Instytut Dendrologii PAN w Kórniku [Giertych 2002]. Przy pobieraniu próbek aparatu asymilacyjnego uwzględniano pochodzenie populacji, oświetlenie, wiek, stopień uszkodzenia.

Igły zebrano z drzew należących do tej samej grupy biosocjalnej, rosnących w strefach ekotonowych odcinków doświadczalnych oraz odcinka kontrolnego.

Materiał roślinny zebrano w trzecim okresie wegetacyjnym po wybudowaniu odcinków doświadczalnych. Przy wyborze drzew uwzględniono stan zdrowotny oraz wybrane cechy z zespołu cech wyróżnionych przez Korczyka [2002] niezbędnych do określania drzew doborowych i drzew porównawczych. Drzewa, z których pobierano materiał badawczy dobierano zachowując podobieństwo cech: wieku drzewa, wysokości całkowitej drzewa, typu korowiny, jakości i długości strzały, długości i szerokość oraz budowy korony. Wybrane drzewa (po 3 w każdej strefie ekotonowej) odpowiadały średnim cechom drzewostanowym. Igły jednoroczne i dwuletnie zebrano z drzew stojących, ze szczytowych, nasłonecznionych partii koron korzystając z podnośnika koszowego o zasięgu pionowym – 25 m (ryc. 1). Próby do analiz statystycznych z zebranych partii igieł losowano zgodnie z metodą stosowaną przez Lemke [1974]. Każda wylosowana próba liczyła 120 igieł.

Analizowano długość i masę igieł jednorocznych i dwuletnich (ryc. 2). Poszczególne igły mierzono z dokładnością do 0,01 mm i ważono z dokładnością do 0,001 g. Pomiary i ważenie igieł wykonano niezwłocznie po zebraniu.

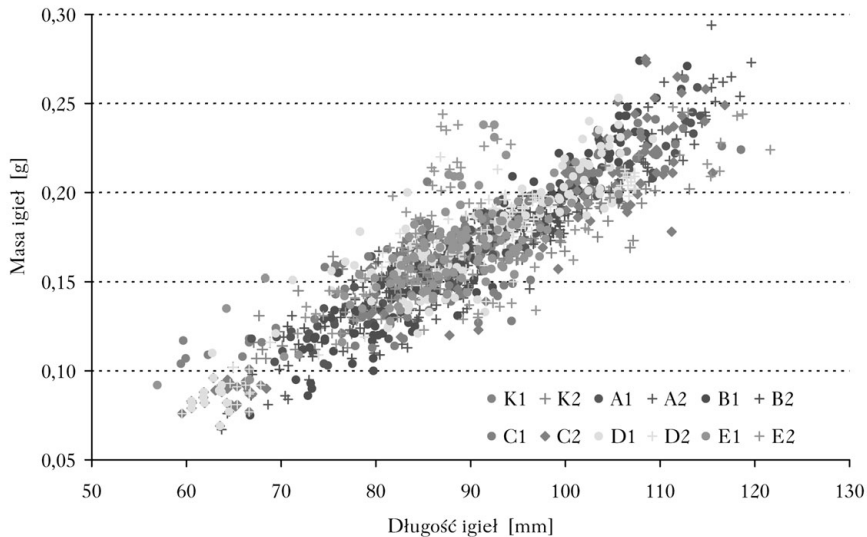
Do analizy wyników zastosowano model dwuczynnikowej analizy wariancji [Elandt 1964; Kala 2003]. Przyjęto, że i, j, k -tą obserwację można zapisać w postaci:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$



Ryc. 1.

Realizacja odcinków doświadczalnych oraz pobór materiału badawczego
Execution of experimental road sections and collection of research material



Ryc. 2.

Wartości obserwowanych cech: długości i masy dwóch roczników igieł *Pinus sylvestris* (L.)
 Value of the analysed parameters: length and mass of two *Pinus sylvestris* (L.) needle year classes

gdzie:

- y_{ijk} – wartość obserwowanej cechy (długość, masa),
- μ – parametr wspólny,
- α_i – efekt i -tego rodzaju podbudowy,
- β_j – efekt j -tego rocznika igły,
- $(\alpha\beta)_{ij}$ – interakcja,
- ε_{ijk} – błędy losowe.

Wyniki badań i dyskusja

Ocenę punktową oraz przedziałową wartości długości i masy igieł przedstawiono w tabeli 1. Na podstawie wyników dwuczynnikowej analizy wariancji stwierdzono, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotez zerowych na rzecz hipotez alternatywnych, ponieważ wszystkie obliczone prawdopodobieństwa są większe od wartości 0,05 (tab. 2, 3). Oznacza to, że nie można stwierdzić, iż analizowane czynniki różnicują badane cechy fizyczne igieł. Uzyskane wyniki pozwalają z dużym prawdopodobieństwem uznać, że związki chemiczne ługowane z cementogrunty dróg nie wpłynęły na długość i masę igieł sosnowych pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie odcinków drogowych stabilizowanych różnymi rodzajami cementów. Wyniki badań pozwalają również stwierdzić, że cechy fizyczne igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie dróg cementowo-gruntowych nie różnią się istotnie od cech fizycznych igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie odcinka kontrolnego niestabilizowanego cementem. Pomimo braku istotnych różnic można zaobserwować, że długości igieł w sąsiedztwie odcinka stabilizowanego cementem portlandzkim bez dodatków są nieznacznie większe od długości igieł w sąsiedztwie odcinka kontrolnego (ryc. 3). Igły pobrane z drzew strefy ekotonowej sąsiadującej z podbudową stabilizowaną cementem hutniczym były nieznacznie krótsze od długości igieł kontrolnych. Nie zauważono podobnych relacji w doświadczeniu analizującym masy igieł (ryc. 4). W tabeli 1

Tabela 1.

Ocena punktowa oraz przedziałowa długości i masy igieł
Point and interval estimates of needle length and mass

Rodzaj podbudowy	Rocznik igły	Średnia	95% przedział ufności	
		długości igieł		
Odcinek kontrolny K	I	88,74	86,60	90,87
	II	90,23	88,10	92,37
		masy igieł		
	I	0,1691	0,1623	0,1759
	II	0,1654	0,1586	0,1722
		długości igieł		
Odcinek A	I	90,04	87,91	92,18
	II	91,63	89,49	93,76
		masy igieł		
	I	0,1675	0,1607	0,1743
	II	0,1697	0,1629	0,1765
		długości igieł		
Odcinek B	I	89,98	87,88	92,12
	II	90,95	88,81	93,08
		masy igieł		
	I	0,1689	0,1621	0,1757
	II	0,1693	0,1625	0,1761
		długości igieł		
Odcinek C	I	89,16	87,06	91,29
	II	90,50	88,37	92,64
		masy igieł		
	I	0,1667	0,1599	0,1735
	II	0,1675	0,1607	0,1743
		długości igieł		
Odcinek D	I	88,64	86,50	90,77
	II	89,54	87,40	91,67
		masy igieł		
	I	0,1677	0,1609	0,1745
	II	0,1707	0,1639	0,1775
		długości igieł		
Odcinek E	I	88,16	86,03	90,29
	II	88,47	86,34	90,61
		masy igieł		
	I	0,1679	0,1611	0,1747
	II	0,1696	0,1628	0,1764

można zaobserwować, że długość i masa igieł rocznika drugiego są na ogół nieznacznie większe od długości i masy igieł rocznika pierwszego.

Stwierdzona w badaniach wstępnych obecność chromu w aparacie asymilacyjnym drzew rosnących w sąsiedztwie odcinków doświadczalnych nie miała istotnego wpływu na długość i masę igieł i mieściła się w zakresie tolerowanym przez drzewostany sosnowe. Przystawalność metali ciężkich przez rośliny zależy w dużej mierze od stężenia całkowitego pierwiastków w strefie ryzo-sferowej, od udziału form wymiennych, aktywności mikroorganizmów oraz antagonistycznego działania niektórych pierwiastków w stosunku do chromu. Przystawalność metali ciężkich przez rośliny zależy w dużej mierze od stężenia całkowitego pierwiastków w strefie ryzo-sferowej,

Tabela 2.

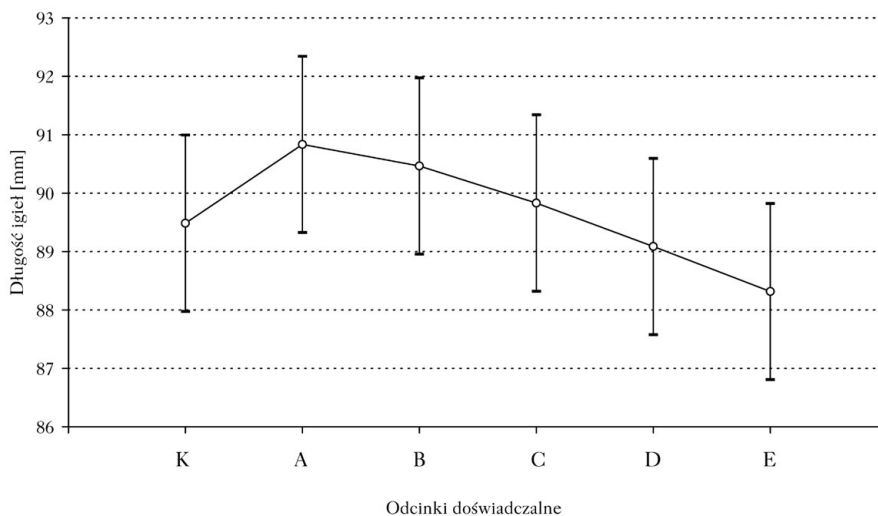
Analiza wariancji dla długości igieł
Analysis of variance for needle length

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów	Średnie kwadraty	Statystyka testowa F	Empiryczny poziom istotności
Rodzaj podbudowy	5	1013	203	1,43	0,212
Rocznik igły	1	435	435	3,07	0,080
Interakcja	5	68	14	0,10	0,993
Błąd	1428	202818	142	–	–
Ogółem	1439	204334	–	–	–

Tabela 3.

Analiza wariancji dla masy igieł
Analysis of variance for needle mass

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów	Średnie kwadraty	Statystyka testowa F	Empiryczny poziom istotności
Rodzaj podbudowy	5	0,00102	0,00020	0,14	0,982
Rocznik igły	1	0,00019	0,00019	0,13	0,718
Interakcja	5	0,00167	0,00033	0,23	0,949
Błąd	1428	2,06272	0,00144	–	–
Ogółem	1439	2,06561	–	–	–

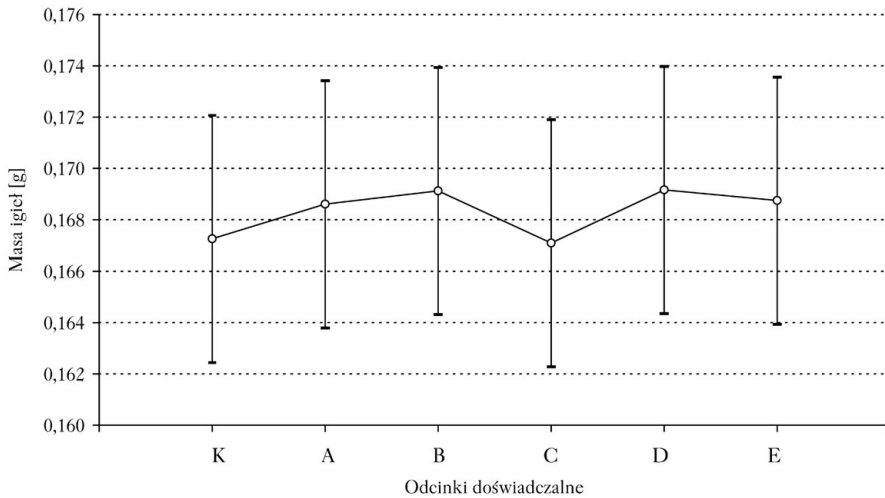


Ryc. 3.

Średnie brzegowe długości igieł *Pinus sylvestris* (L.) dla sześciu rodzajów podbudowy. Pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności

Marginal means of needle *Pinus sylvestris* (L.) length for six kinds of road basecourse. Vertical bars indicate 95% confidence interval

od udziału form wymiennych oraz aktywności mikroorganizmów rozkładających substancję organiczną. Brak oznak fitotoksycznych mógł również wynikać z reakcji obronnych zachodzących w tkankach roślin prowadzących do wytrącania się związków chromu na błonach komórkowych oraz procesów oksydacyjno-redukcyjnych zmieniających stopień utleniania chromu.



Ryc. 4.

Średnie brzegowe masy igieł *Pinus sylvestris* (L.) dla sześciu rodzajów podbudowy. Pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności

Marginal means of needle *Pinus sylvestris* (L.) mass for six kinds of road basecourse. Vertical bars indicate 95% confidence interval

Wnioski

- ✦ Średnie długości i średnie masy igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie dróg cementowo-gruntowych nie różniły się istotnie od średnich długości i mas igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie odcinka kontrolnego niestabilizowanego cementem.
- ✦ Związki chemiczne ługowane z cementogrunty dróg nie wpłynęły istotnie na badane cechy fizyczne igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie odcinków dróg stabilizowanych różnymi rodzajami cementów.
- ✦ Średnie długości i masy wszystkich analizowanych igieł rocznika pierwszego nie różniły się statystycznie od średnich długości i mas igieł rocznika drugiego.

Literatura

- Czekała J. 1997. Chrom w glebie i roślinie - występowanie, sorpcja i pobieranie w zależności od jego formy i dawki, właściwości środowiska i nawożenia. Wyd. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk.
- Czerniak A. 2003. Badania nad przydatnością różnych rodzajów cementów do stabilizacji dróg gruntowych. Inżynieria Rolnicza, Komitet Techniki Rolniczej PAN, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. 161-173.
- Czerniak A. 2004a. Wytrzymałość na ścislenie cementogrunty ze zbrojeniem rozproszonym typu torus. Tenth International Conference Durable and Safe Road, Kielce, Road and Bridge Research Institute, Warszawa. 253-261.
- Czerniak A. 2004b. Wymywalność chromu z cementogrunty dróg w aspekcie ochrony środowiska leśnego. Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus 3(1), Kraków. 1-13.
- Czerniak A. 2004c. Aktywność enzymatyczna gleby leśnej sąsiadującej z drogami cementowogruntowymi (Badania wstępne). Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich PAN Oddz. Kraków, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi. 1/2004: 107-121.
- Czerniak A. 2004 d. 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 13/III: 22-27.
- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. PWN, Warszawa.
- Giertych M. 2002. Wykorzystywanie igieł sosny w bioindykacji skażonego środowiska. Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, PAN Instytut Dendrologii Kórnik, Wydawnictwo Naukowe, Poznań. 285-291.

- Greszta J. 1982. The Effect of Dust from Copper and Zinc Works Introduced into the Soil on the Growth of the Seedlings of Selected Tree Species. *Fragmenta Floristica et Geobotanica*. Ann. XXVIII, Pars 1: 3-28.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kala R. 2003. *Elementy wnioskowania parametrycznego dla przyrodników*. Wyd. AR, Poznań.
- Kłosiński B., Trochimeczuk M. 1998. *Badania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym i mostowym. Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie. 75-83.
- Korczyk A., F. 2002. Jakość hodowlana drzewostanów sosnowych oraz wartość hodowlana i genetyczna drzew doborowych i porównawczych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) ośmiu polskich pochodzeń. *Prace IBL, Rozprawy i Monografie*. 3.
- Lemke J. 1966. Korona jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzew w drzewostanie sosnowym. *Folia Forestalia Polonica* 12: 185-211.
- Lemke J. 1973. Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w młodszych drzewostanach sosnowych. *Folia Forestalia Polonica, Ser. A*. 21: 173-195.
- Lemke J. 1974. Ciężar igliwia ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. *Sylwan* 5.
- Norma PN-S-96012:1997. *Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem. Drogi samochodowe*, Polski Komitet Normalizacyjny.
- Skrzypek J. 2000. Wybrane metale ciężkie w cemente, kruszywie i betonie i ich wpływ na środowisko człowieka. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* 1478, *Budownictwo* 88: 219-224.
- Sprung S. 1988. Einbindung von Schwermetallen in Sekundärstoffen durch Verfestigen mit Zement, Beton 5.
- Sprung S. 1998. Schwermetallgehalte im Klinker und im Zement. *Zement-Kalk-Gips* 5: 3-6.
- Wójcik R. 2002. Wybrane cechy morfologiczne sosny zwyczajnej jako wskaźnik uszkodzenia drzew. *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. PAN instytut Dendrologii Kórnik, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań. 483-491.

SUMMARY

Bioindication of forest ecotonal zones within the impact of cement-ground roads on the basis physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles

Soil layers stabilised with cement are used in the construction of public roads, including motorways, as improved subgrade and road basecourse. In forest road construction, compacted cement-soil layers are used, for economic reasons, as independent road pavements, forest fire-fighting airport pavements, forest car park, manoeuvring yards, landings, and road subgrade. Chemical compounds leached from cement-stabilised basecourses damaged as a result of road traffic and corroded vehicles due to external factors specific for forest environment can influence the pH of soil bordering with the road pavement and the leached trace elements can change soil microbiological activity and cumulate in plants. The raw material and alternative fuel used in clinker furnaces can be a source of chemical contamination of cements. To determine the effect of the chrome compounds leached from road basecourses on the size of the assimilatory apparatus the selected physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles were subjected to statistical analysis. The needles were collected from the trees growing in the neighbourhood of road sections stabilised with cements with different content of non-clinker components (volatile ashes and blast furnace slag). Study results: the length and mass of pine needles were subjected to the two-factor analysis of variance.

The obtained results allow, with high degree of likelihood, to state that chemical compounds leached from the cement-soil road did not affect the length and mass of pine needles sampled from trees growing in the neighbourhood of road sections stabilised by different cement types. The analysed physical parameters of needles collected from trees growing in the neighbourhood of cement-stabilised road sections did not significantly differ from the physical parameters collected from trees growing in the neighbourhood of the non-stabilised control section.