

**WPŁYW DRÓG PUBLICZNYCH NA CECHY BIOMETRYCZNE
APARATU ASYMILACYJNEGO W MŁODNIKACH
SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

Dariusz Kayzer¹, Andrzej Czerniak²

¹Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań
e-mail: dkayzer@au.poznan.pl

²Katedra Inżynierii Leśnej
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań
e-mail: aczerni@au.poznan.pl

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektu biologicznego młodników sosnowych rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie trzech tras wylotowych z Poznania. Jako miarę reakcji na negatywne oddziaływanie dróg przyjęto podstawowe cechy fizyczne igieł sosnowych (długość i masę). Badania wykazały, że igły pobrane z drzew rosnących w obrębie transektów A wyznaczonych w bezpośrednim sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg charakteryzowały się istotnie mniejszymi wartościami mas i długości od igieł pobranych z drzew rosnących w ramach transektów B i C.

Słowa kluczowe: droga, aparat asymilacyjny sosny zwyczajnej, dwuczynnikowa analiza wariancji

Klasyfikacja AMS 1993: 62K15, 62P99

1. Wstęp

W celu polepszenia warunków transportu sieć drogowa w Polsce musi być zmodernizowana. Budowane będą nowe trasy szybkiego ruchu i autostrady przebiegające także przez kompleksy leśne. Autostrady, które są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania komunikacji samochodowej, powodują na terenach przyległych ogólnie znane skutki negatywne. Szlaki komunikacyjne generują zanieczyszczenia chemiczne, hałas i wibracje. Skutkiem wylesień pasów drogowych są zmiany mikroklimatu i stopnia nasłonecznienia leśnych stref ekotonowych (Borecki i Wójcik, 2003). Szlaki komunikacyjne powodują niekorzystne zmiany fizjograficzne, zmiany stosunków wodnych oraz fragmentację kompleksów leśnych. Poważne skutki biogeochemiczne mogą wywoływać zanieczyszczenia chemiczne wymywane z podbudów i nawierzchni wykonanych z nieprzetworzonych odpadów przemysłowych. Wiele związków destabilizujących równowagę chemiczną środowiska generują środki transportu samochodowego. Tereny przydrożne narażone są na skażenie tlenkiem węgla, węglowodorami pierścieniowymi, tlenkami azotu i siarki, aldehydami, pyłami czerni węglowej, azbestem oraz pierwiastkami śladowymi: kadmem, ołowiem, cynkiem (Czerniak, 2006; Czerniak i Kayzer, 2006).

Spłukane z powierzchni utwardzonych substancje ropopochodne (SR) przenikają do środowiska gruntowo-wodnego obszarów leśnych sąsiadujących z drogami. W gruntach przepuszczalnych migracja SR odbywa się głównie w układzie pionowym. Po dotarciu do zwierciadła wód podziemnych substancje ropopochodne rozchodzą się poziomo w strefie wzniosu kapilarnego. Substancje ropopochodne hamują rozwój lub eliminują większość mikroorganizmów glebowych poprzez naruszenie warunków troficznych i tlenowych, a w mniejszym stopniu poprzez działanie toksyczne. Obecność SR ogranicza dopływ tlenu do gruntu i zakłóca obieg składników pokarmowych, wzrasta ilość węgla organicznego, maleje ilość azotu i fosforu, obniża się pH.

Przyczyną zanieczyszczenia wód i gleb stref przydrożnych w lasach są również chemiczne środki do zwalczania zimowej śliskości nawierzchni drogowych oraz herbicydy używane do usuwania roślinności ze skarp i poboczy.

Przeobrażenia warunków w środowisku naturalnym mogą wywoływać u roślin zmiany fizjologiczne i morfologiczne utrwalające się genetycznie. Jako czuły indykator stanu środowiska przyrodniczego uznaje się aparat asymilacyjny sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), którego jakość jest ściśle skorelowana ze stanem zdrowotnym drzewostanu. W badaniach genetycznych sosna zwyczajna, pomimo pewnego zróżnicowania reakcji na stres antropogeniczny na poziomie osobniczym, rodowym i populacyjnym stosowana jest jako biomarker wykazu-

jący zmiany biochemiczne, immunologiczne i genetyczne (Czerniak i in., 2007; Wojnicka-Półtorak i in., 2002). Obszerne badania w zakresie ustalania związków pomiędzy stanem aparatu asymilacyjnego a dynamiką wzrostową drzewostanów sosnowych prowadził Lemke (1966, 1973, 1974, 1978).

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektu biologicznego u drzewek sosnowych rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie trzech tras wylotowych z Poznania. Jako miarę reakcji młodników sosnowych na negatywne oddziaływanie dróg przyjęto podstawowe cechy fizyczne igieł sosnowych (długość i masę).

W przypadku stwierdzenia istotnie silnego wpływu dróg na kondycję drzewostanów przydrożnych należy dążyć do ograniczenia migracji do środowiska leśnego zanieczyszczeń chemicznych generowanych przez ruch samochodowy poprzez zastosowanie geomembran, separatorów ropopochodnych, barier biogeochemicznych oraz remediacji gleb.

2. Metoda badań

Ocenę wpływu dróg na aparat asymilacyjny młodników sosnowych oparto na następujących hipotezach badawczych:

- ruch samochodowy oraz podbudowy i nawierzchnie drogowe mogą stanowić źródło zanieczyszczeń chemicznych migrujących do gleb,
- największa koncentracja związków chemicznych generowanych przez szlaki drogowe występuje głównie w strefach przydrożnych,
- migrujące z odcinków doświadczalnych zanieczyszczenia mogą wpływać na aktywność mikrobiologiczną i odczyn gleb oraz skład chemiczny a tym samym na kondycję drzewostanów wyrażoną jakością aparatu asymilacyjnego.

Materiał roślinny pobierano z drzew rosnących wzdłuż 3 równoległych transektów badawczych wyznaczonych w odległości 20 m (transekt A), 50 m (transekt B) i 100 m (transekt C) od koron dróg. Transekty wyznaczono metodami geodezyjnymi. Jakość aparatu asymilacyjnego w strefie oddziaływania dróg oceniono analizując:

- masy 100 świeżych igieł jednorocznych i 100 świeżych igieł dwuletnich pobranych z 10 drzewek charakteryzujących się średnimi cechami dendrometrycznymi wyznaczonymi dla każdego transektu,
- długości 100 świeżych igieł jednorocznych i 100 świeżych igieł dwuletnich pobranych z 10 drzewek charakteryzujących się średnimi cechami dendrometrycznymi wyznaczonymi dla każdego transektu,

Do analizy wyników: masy [g] i długości [mm] igieł zastosowano analizę wariancji dla dwuczynnikowego modelu liniowego i dla trójczynnikowego modelu liniowego (Ott, 1984; Kala, 2003). Dla porównania średnich wartości zmierzonych cech skorzystano z procedury porównań wielokrotnych opartej na rozkładzie studentyzowanego rozstępu.

3. Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz wariancji dotyczących mas i długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg przedstawione zostały w tabelach 1-3. Uzyskane wyniki pozwalają z dużym prawdopodobieństwem uznać, że analizowane parametry biometryczne igieł zdeterminowane są odległością transektów badawczych od poszczególnych tras drogowych. Cechy biometryczne igieł jednorocznych i dwuletnich (za wyjątkiem mas igieł pobranych z drzew rosnących w okolicy drogi krajowej nr 2) były istotnie różne. Szczegółowe wyniki porównań dla efektów interakcji drugiego rzędu zaprezentowano w tabelach 4-9.

Tabela 1. Analizy wariancji wyników mas i długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 2

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów		Statystyki testowe		Empiryczne poziomy istotności	
		masa	długość	masa	długość	masa	długość
transekt	2	0,0266	10935	28,86	73,02	0,000	0,000
rok	1	0,0001	795	0,12	10,62	0,729	0,001
transekt*rok	2	0,0073	1446	7,97	9,65	0,000	0,000
Błąd	594	0,2735	44475				
Ogółem	599	0,3075	57650				

Tabela 2. Analizy wariancji wyników mas i długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 5

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów		Statystyki testowe		Empiryczne poziomy istotności	
		masa	długość	masa	długość	masa	długość
transekt	2	0,0243	5454	21,70	38,79	0,000	0,000
rok	1	0,0046	508	8,22	7,22	0,004	0,007
transekt*rok	2	0,0248	902	22,14	6,42	0,000	0,002
Błąd	594	0,3324	41756				
Ogółem	599	0,3860	48620				

Tabela 3. Analizy wariancji wyników mas i długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 307

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów		Statystyki testowe		Empiryczne poziomy istotności	
		masa	długość	masa	długość	masa	długość
transekt	2	0,0053	3418	11,53	50,29	0,000	0,000
rok	1	0,0563	5166	244,63	152,05	0,000	0,000
transekt*rok	2	0,0005	1742	0,99	25,63	0,371	0,000
Błąd	594	0,1367	20183				
Ogółem	599	0,1988	30508				

Tabela 4. Średnie masy igieł [g] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 2

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	0,061	0,078	0,085	0,017**	0,007	0,024**
Igły dwuletnie	0,070	0,073	0,079	0,003	0,005	0,008
Różnica	0,009*	-0,005	-0,006			

*różnica istotna na poziomie $\alpha=0,05$ **różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$ **Tabela 5.** Średnie długości igieł [mm] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 2

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	48,91	59,29	61,99	10,38**	2,70	13,08**
Igły dwuletnie	50,89	54,00	58,40	3,11	4,40**	7,51**
Różnica	1,98	-5,29**	-3,59*			

*różnica istotna na poziomie $\alpha=0,05$ **różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$ **Tabela 6.** Średnie masy igieł [g] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 5

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	0,087	0,101	0,084	0,014**	-0,017**	-0,003
Igły dwuletnie	0,072	0,088	0,097	0,016**	0,010*	0,025**
Różnica	-0,015**	-0,014**	0,013**			

*różnica istotna na poziomie $\alpha=0,05$ **różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$

Tabela 7. Średnie długości igieł [mm] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 5

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	53,40	58,38	57,57	4,98**	-0,81	4,17**
Igły dwuletnie	52,98	59,07	62,82	6,09**	3,75*	9,84**
Różnica	-0,42	0,69	5,25**			

*różnica istotna na poziomie $\alpha=0,05$ **różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$ **Tabela 8.** Średnie masy igieł [g] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 307

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	0,0698	0,0726	0,0787	0,0028	0,0062*	0,0090**
Igły dwuletnie	0,0915	0,0914	0,0963	-0,0001	0,0048	0,0048
Różnica	0,0217**	0,0189**	0,0175**			

*różnica istotna na poziomie $\alpha=0,05$ **różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$ **Tabela 9.** Średnie długości igieł [mm] zebranych z drzew rosnących w sąsiedztwie drogi wojewódzkiej nr 307

Wiek igieł	Transekt			Różnica		
	A	B	C	B - A	C - B	C - A
Igły jednoroczne	52,36	55,40	53,70	3,04**	-1,70	1,34
Igły dwuletnie	54,48	60,52	64,07	6,04**	3,54**	9,58**
Różnica	2,12	5,12**	10,37**			

**różnica istotna na poziomie $\alpha=0,01$

Droga krajowa nr 2

Na podstawie testów porównań wielokrotnych (tabele 4 i 5) stwierdzono, że średnie masy i długości igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A (20 m) są istotnie mniejsze od średnich mas i długości igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu B i C (odpowiednio 50 m i 100 m). Ponadto średnia długość igieł dwuletnich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu C jest istotnie większa od średnich długości igieł dwuletnich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów A i B, natomiast pomiędzy średnią długością igieł dwuletnich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu B i średnią długością igieł dwuletnich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A stwierdzono brak istotnej różnicy.

Droga krajowa nr 5

Przeprowadzone badania wykazały, że średnia masa igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu B (50 m) jest istotnie większa od średnich mas igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów A i C, natomiast średnia długość igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A jest istotnie mniejsza od średnich długości igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów B i C (tabele 6 i 7). Ponadto średnie masy i długości igieł dwuletich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A (20 m) są istotnie najmniejsze w porównaniu do średnich mas i długości igieł dwuletich zebranych z drzew rosnących w obrębie pozostałych transektów, a w obrębie transektu C są istotnie największe.

Droga wojewódzka nr 307

Analizując tabelę 8 stwierdzono, że średnia masa igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu C (100 m) jest istotnie większa od średnich mas igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów A i B. Na podstawie wyników analiz przedstawionych w tabeli 9 stwierdzono, że średnia długość igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A jest istotnie mniejsza od średnich długości igieł jednorocznych zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów B i C. Ponadto średnia długość igieł dwuletich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu A jest istotnie mniejsza od średnich długości igieł dwuletich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektów B i C, a średnia długość igieł dwuletich zebranych z drzew rosnących w obrębie transektu C jest istotnie największa.

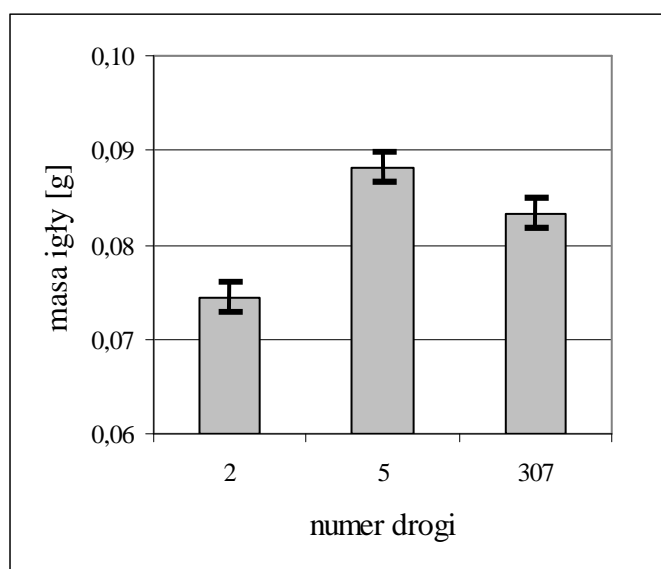
W celu porównania parametrów biometrycznych igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych dróg wykonano trzykierunkową analizę wariancji (tabela 10).

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono, że masy i długości igieł pobranych z poszczególnych powierzchni badawczych zlokalizowanych przy drogach są zróżnicowane. Średnie ogólne masy i długości igieł dla poszczególnych lokalizacji przedstawione zostały na rys. 1 i 2. Igiły pobrane z drzew rosnących w okolicach drogi krajowej nr 2 charakteryzowały się najmniejszymi wartościami mas i długości (w porównaniu do drogi krajowej nr 5 i drogi wojewódzkiej nr 307. Prawdopodobnie jest to związane z rozkładem ruchu pojazdów – przy drodze krajowej nr 2 było to około 30 tys. pojazdów umownych na dobę, a przy drodze krajowej nr 5 – około 20 tys. (badania za rok 2006).

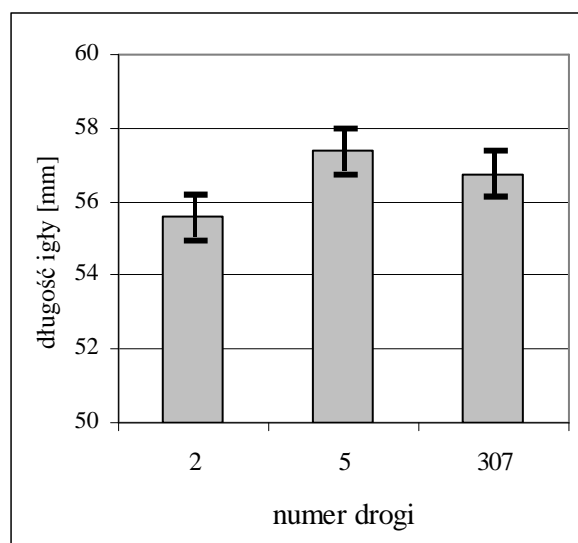
Tabela 10. Analizy wariancji wyników mas i długości igieł

Źródła zmienności	Stopnie swobody	Sumy kwadratów		Statystyki testowe		Empiryczne poziomy istotności	
		masa	długość	masa	długość	masa	długość
droga	2	0,0584	998	70,13	8,36	0,000	0,000
transekt	2	0,0429	18575	51,51	155,53	0,000	0,000
rok	1	0,0088	1461	21,00	24,47	0,000	0,000
droga*transekt	4	0,0132	1232	7,94	5,16	0,000	0,000
droga*rok	2	0,0522	5007	62,63	41,93	0,000	0,000
transekt*rok	2	0,0048	1177	5,80	9,85	0,003	0,000
droga*transekt*rok	4	0,0277	2913	16,64	12,19	0,000	0,000
Błąd	1782	0,7426	106413				
Ogółem	1799	0,9507	137777				

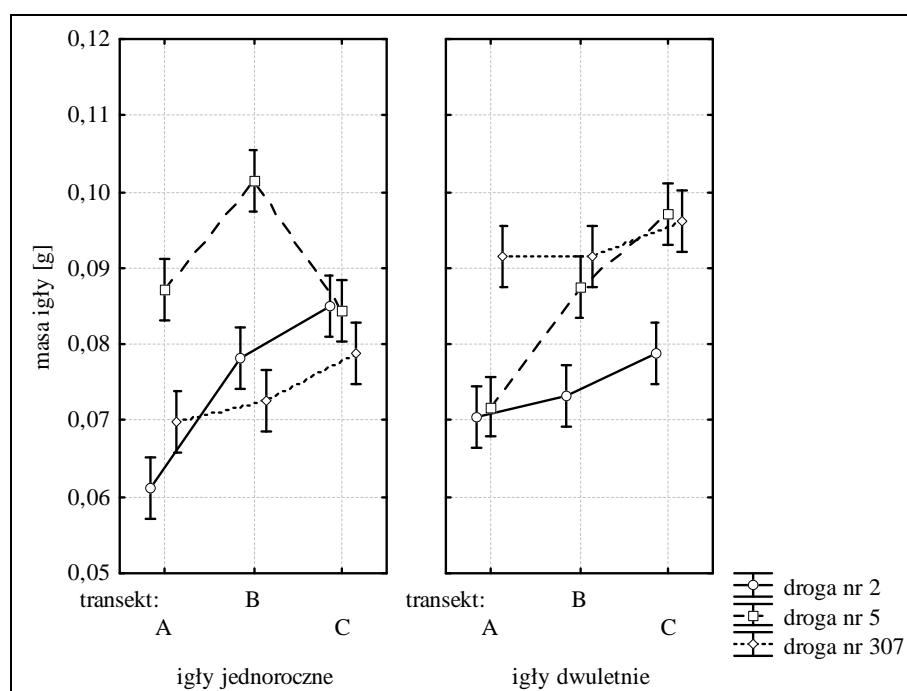
Wyznaczone wartości średnich mas i długości igieł dla poszczególnych transektów i dwóch roczników igieł przedstawione zostały na rys. 3 i 4.



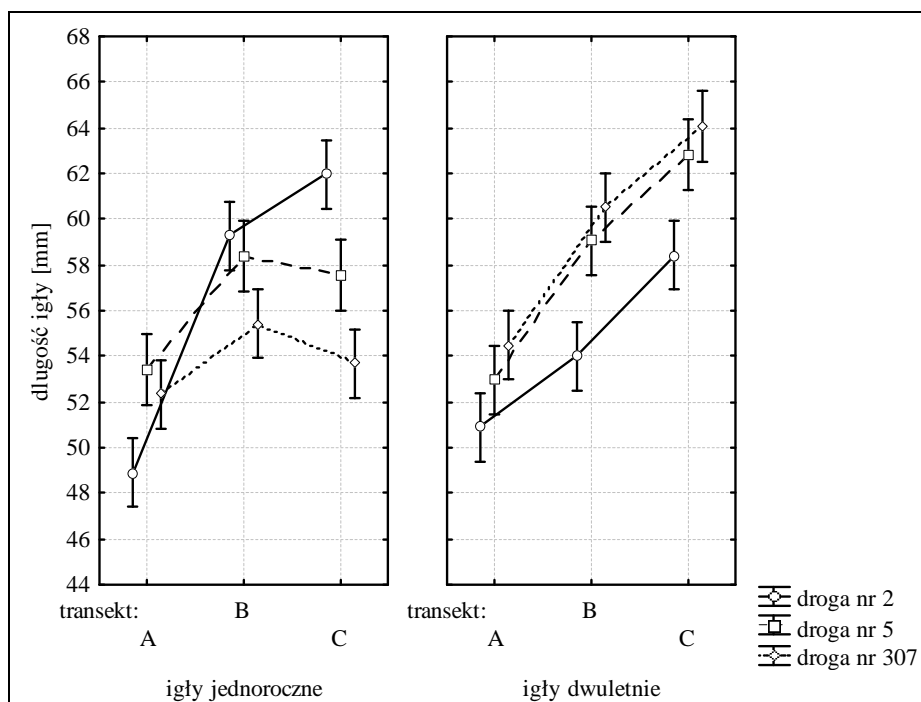
Rys. 1. Średnie ogólne masy igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)



Rys. 2. Średnie ogólne długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)



Rys. 3. Średnie masy igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)



Rys. 4. Średnie długości igieł pobranych z drzew rosnących w sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)

4. Wnioski

Igły pobrane z drzew rosnących w obrębie transektów A wyznaczonych w bezpośrednim sąsiedztwie wytypowanych do badań dróg charakteryzowały się mniejszymi wartościami mas i długości od igieł pobranych z drzew rosnących w ramach transektów B i C.

Najsilniejszy negatywny wpływ zanieczyszczeń generowanych przez ruch samochodowy zaobserwowano w aparacie asymilacyjnym drzew rosnących w sąsiedztwie drogi krajowej nr 2.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować Pani mgr inż. Agnieszce Tymoszuk za techniczną pomoc w przeprowadzeniu badań.

Literatura cytowana

- Borecki T., Wójcik R. (2003). Kształtowanie ekosystemów leśnych w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych. W: *Kształtowanie i ochrona środowiska leśnego*. Red. A.T. Miller, Wyd. AR Poznań, 441-449.
- Czerniak A., Rojewski Ł., Kayzer D. (2007). Jakość aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zasięgu oddziaływania pola elektromagnetycznego generowanego przez linię elektroenergetyczną. *Acta Agrophysica PAN*, vol.9(2), 147, 333-344.
- 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.). *Sylvan* 5, PTL, 59-67.
- Czerniak A. (2006). Horizontal and vertical migration of heavy metals leached out from forest roads cement-ground surfaces. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 15, No. 2A, 42-51.
- Kala R. (2003). *Elementy wnioskowania parametrycznego dla przyrodników*. Wyd. AR, Poznań.
- Lemke J. (1966). Korona jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzew w drzewostanie sosnowym. *Folia Forestalia Polonica*, Zeszyt 12, 185-211.
- Lemke J. (1973). Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w młodszych drzewostanach sosnowych. *Folia Forestalia Polonica*, seria A, Zeszyt 21, 173-195.
- Lemke J. (1974). Ciężar igliwia ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 5, 28-34.
- Lemke J. (1978). Zmienność ciężaru igieł w okółkach koron sosen różnych klas wieku. *Sylvan* 12, 13-21.
- Ott L. (1984). *An introduction to statistical methods and data analysis*. PWS Publishers, Boston.
- Wojnicka-Półtorak A., Prus-Głowacki W., Oleksyn J., Rachwał L. (2002). Zmiany struktury genetycznej populacji *Pinus sylvestris* L. pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. Red. R. Siwecki, Instytut Dendrologii Kórnik PAN, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań, 639-646.

**INFLUENCE OF PUBLIC ROADS ON BIOMETRICS FEATURES
OF ASSIMILATORY APPARATUS IN YOUNG STAND
OF SCOTTISH PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

Summary

The aim of the paper was an evaluation of biological effects of young stand of Scottish pine growing in the direct neighbourhood of busy route in Poznań city. Physical features of pine needles (length and biomass) were used as indicators of reaction to the negative impact of traffic. Research revealed that needles collected from trees from the zone A (road neighborhood) were smaller in terms of their length and biomass in comparison to trees growing in the Zones B and C.

Key words and phrases: road, assimilatory apparatus of Scottish pine, two-factor variance analysis

Classification AMS 1993: 62K15, 62P99