

JAKOŚĆ APARATU ASYMLACYJNEGO  
SOSNY ZWYCZAJNEJ (*Pinus sylvestris* L.) W ZASIĘGU  
ODDZIAŁYWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO  
GENEROWANEGO PRZEZ LINIĘ ELEKTROENERGETYCZNĄ

*Andrzej Czerniak<sup>1</sup>, Łukasz Rojewski<sup>1</sup>, Dariusz Kayzer<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Leśnej, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu  
e-mail: aczerni@au.poznan.pl

<sup>2</sup>Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych  
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu  
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań

**Streszczenie.** Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu pola elektromagnetycznego generowanego przez linię elektroenergetyczną na długość i masę igieł sosnowych oraz przyrosty drzewek na wysokość. Materiał roślinny poddany analizie pobierano z 3-letniej uprawy sosnowej w ramach 5 transektów badawczych wyznaczonych w odległości 10 m, 20 m, 30 m, 40 m i 50 m od linii przesyłowej. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że drzewka sosnowe rosnące w odległości do 30 m od linii elektroenergetycznej cechowały się mniejszą długością i masą aparatu asymilacyjnego oraz mniejszą wysokością całkowitą w stosunku do drzewek rosnących na transektach oddalonych o 40 m i 50 m.

**Słowa kluczowe:** linia elektroenergetyczna, pole elektromagnetyczne, jakość aparatu asymilacyjnego sosny, przyrost na wysokość

#### WSTĘP

Czynne napowietrzne linie energetyczne generują promieniowanie elektromagnetyczne, szумы akustyczne, zakłócenia radioelektryczne oraz powodują wskutek tzw. ulotu uwalnianie się z powietrza niewielkich ilości ozonu i tlenków azotu. Pole elektromagnetyczne w otoczeniu napowietrznych linii przesyłowych wysokiego napięcia, ze względu na swą bardzo niską częstotliwość w sposób ograniczony wywołuje efekt termiczny. Napowietrzne linie przesyłowe najwyższych napięć generują pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz. Przyczyną powstawania wokół linii przesyłowej pola elektrycznego jest napięcie istniejące

pomiędzy poszczególnymi jej przewodami a ziemią. Z kolei prąd, płynący przewodami linii, jest przyczyną powstawania pola magnetycznego. Wartości pola elektrycznego oraz magnetycznego, występujące pod linią, zależą od wielu czynników, z których najbardziej istotne to: napięcie linii przesyłowej, natężenie prądu płynącego w poszczególnych jej przewodach, odległości przewodów linii od ziemi oraz rodzaj i rozmieszczenie przewodów na słupie.

Pola elektryczne o natężeniach przekraczających  $1 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  występują w otoczeniu napowietrznych linii przesyłowych 220 kV i 400 kV (najwyższych napięć), a także na niewielkim obszarze pod liniami 110 kV (wysokiego napięcia). Przy określonym napięciu linii, natężenie pola elektrycznego w jej otoczeniu zależy przede wszystkim od odległości między przewodami fazowymi a ziemią. Jest ono największe w miejscu, w którym odległość przewodów fazowych od ziemi jest najmniejsza, zwykle w środku przęsła (tj. w połowie odległości pomiędzy sąsiednimi słupami). Przy oddalaniu się od osi linii, natężenie pola elektrycznego istotnie maleje. Spadek natężenia pola obserwuje się również przy zbliżaniu się do konstrukcji słupa, co wynika m. in. z jego ekranujących właściwości. W rezultacie, w odległości około 23-28 m od osi dwutorowej linii 400 kV, natężenie pola elektrycznego spada poniżej  $1 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , czyli wartości uznawanej za dopuszczalną w najbardziej rygorystycznych przepisach obowiązujących w niektórych krajach. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami, natężenie pola elektrycznego w miejscach dostępnych dla ludzi nie może przekraczać wartości  $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ . Jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie niektórych, w pełni obciążonych linii 400 kV, w okolicach środka przęsła i w wyjątkowo rzadko występujących warunkach pogodowych (np. w czasie upalnego lata), natężenie pola może dochodzić do poziomu  $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ . W otoczeniu linii napowietrznych 220 i 110 kV natężenia pól są znacznie mniejsze.

Natężenie pola magnetycznego wokół linii przesyłowych najwyższych napięć jest niewielkie i zmienia się w zależności od wartości prądu płynącego przez linię. Podobnie jak w przypadku pola elektrycznego, przy oddalaniu się od osi linii pole magnetyczne gwałtownie maleje. Linie sił pola magnetycznego, w odróżnieniu od pola elektrycznego, natrafiając na różnego rodzaju obiekty nie zmieniają swojego kierunku. Wartość natężenia pola magnetycznego również nie ulega zmianie po przejściu przez większość obiektów. Pole magnetyczne pod przewodami linii przesyłowej może osiągać wartości od kilkunastu do kilkudziesięciu  $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$ .

### **Linie elektroenergetyczne w środowisku leśnym**

Najpoważniejsze zakłócenia stanu środowiska wynikają z zajmowania przez infrastrukturę elektroenergetyczną cennych przyrodniczo obszarów leśnych. Koniecznością staje się wtedy wyłączenie określonego obszaru z użytkowania lub

ograniczenia możliwości jego zagospodarowania. W przypadku gruntów rolnych, po zakończeniu budowy praktycznie odzyskuje się cały teren, poza miejscami posadwienia słupów. Prowadzenie linii przez tereny zalesione podnosi znacznie koszty jej budowy, ponieważ wycinka i usuwanie drzew podlega wysokim opłatom. Dlatego coraz częściej stosowane są tzw. linie nadleśne wymagające jedynie wycinki niewielu drzew pod słupy. Szerokość pasa wycinki (podlegającego decyzji o zmianie uprawy leśnej i dopuszczeniu do korzystania) zależy od napięcia oraz typu linii (rodzaju zastosowanych słupów). Dla typowych układów przesyłowych i rozdzielczych eksploatowanych w kraju szerokość ta wynosi od 7,5 m (linie wąskogabarytowe 110 kV) do 32 m (linie 400 kV w układzie tradycyjnym) (Arciszewski i in. 2005). Przy najbardziej niekorzystnym układzie przesyłowym (jednotorowa linia 400 kV na słupach serii Y52) wycince podlega ok. 3,2 ha lasu na każdy kilometr długości linii. Są to zatem istotne straty dla gospodarki leśnej. Całkowita długość napowietrznych linii przesyłowych na terenach leśnych wynosi ok. 941 km. Powierzchnia gruntów zajęta przez linie to w skali Polski to ok. 3276 ha. Lasy Państwowe z tego tytułu otrzymują coroczne, ustanawiane notarialnie odszkodowanie.

Pola elektromagnetyczne występujące w środowisku leśnym mogą oddziaływać na różne jego elementy. Badania bioelektromagnetyczne wykazują, że silne pole elektromagnetyczne wpływa destrukcyjnie na organizmy roślinne. U roślin eksponowanych przez długi okres w polu elektromagnetycznym stwierdzono wyraźnie opóźniony wzrost w stosunku do roślin kontrolnych. Ich sucha masa była również mniejsza w stosunku do kontrolnej. Tkanki roślin poddanych działaniu pól elektromagnetycznych cechowały się mniejszym turgorem, zawierały mniej chlorofilu, zmianom ulegały procesy metaboliczne i aktywność enzymów, szczególnie fosfatazy (Nosol i Guziński 1987).

#### CEL BADAŃ

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 wykazujący zmiany biochemiczne, immunologiczne i genetyczne (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 linii elektroenergetycznej. Jako miarę reakcji uprawy sosnowej na działanie pola elektromagnetycznego przyjęto kształtowanie się (w zależności od odległości od linii elektroenergetycznej) wybranych cech fizycznych igieł sosnowych (długości i masy) oraz przyrostów drzewek na wysokość.

#### LOKALIZACJA I METODA BADAŃ

Badania przeprowadzono na uprawie sosnowej założonej w 2003 r na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego (fot. 1.). Uprawę założono na gruncie porolnym (IV kl. bonitacji) w bezpośrednim sąsiedztwie linii elektroenergetycznej 2 x 220 kV. Materiał roślinny analizowano na 3-letniej uprawie sosnowej w ramach 5 równoległych transektów badawczych wyznaczonych w odległości 10 m, 20 m, 30 m, 40 m i 50 m do linii przesyłowej. Transekty o szerokości 1 m i długości 100 m wyznaczono metodami geodezyjnymi w sąsiedztwie środka przęsła.

Na wyznaczonych transektach badawczych przeprowadzono pomiary pola elektrycznego (E) oraz magnetycznego (H). Pomiary wykonano zgodnie z obowiązującymi normami na wysokości 1,8 m nad ziemią, w warunkach bezchmurnego i bezwietrznego dnia. Rozkład pola elektromagnetycznego był charakterystyczny dla typu analizowanej linii przesyłowej.

Wartości natężenia pola elektrycznego mierzone w transektach wynosiły: w odległości 10 m od linii przesyłowej –  $5,8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , 20 m –  $1,3 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , 30 m –  $0,8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , 40 m –  $0,5 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , 50 m –  $0,3 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ . Wartości natężenia pola magnetycznego wynosiły odpowiednio:  $15,3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $6,1 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $2,5 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $1,8 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$  i  $1,0 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Jakość aparatu asymilacyjnego w strefie oddziaływania pola elektroenergetycznego oceniono analizując:

- masy 1000 świeżych igieł pobranych z 25 drzewek charakteryzujących się średnimi cechami dendrometrycznymi wyznaczonymi dla każdego transektu,
- długości igieł pobranych z 25 drzewek charakteryzujących się średnimi cechami dendrometrycznymi (1000 szt. z każdego transektu),
- wysokości całkowite wylosowanych w ramach każdego transektu 25 drzewek,
- długości ostatniego przyrostu rocznego pędu głównego.

Igły jednoroczne (ubiegłoroczne) pobierano z pędu głównego zinwentaryzowanych i trwale oznaczonych drzewek. Do analizy wyników: długości igieł, wysokości uprawy i długości przyrostów rocznych pędu głównego zastosowano analizę wariancji dla modelu klasyfikacji jednokierunkowej (Kala 2003, Ott 1984). Dla porównania średnich wartości zmierzonych cech uprawy sosnowej zastosowano procedurę porównań wielokrotnych według metody Tukey'a.



**Fot. 1.** Lokalizacja obiektu badawczego  
**Phot. 1.** Site of investigated object

#### WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Na podstawie wyników analizy wariancji odrzucone zostały hipotezy zerowe na rzecz hipotez alternatywnych, ponieważ wszystkie obliczone wartości empirycznego poziomu istotności są mniejsze od 0,05 (tab. 1-3).

**Tabela 1.** Analiza wariancji dla długości igieł  
**Table 1.** Variance analysis for needle length

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean square	Statystyka testowa F Test statistics F	Empiryczny poziom istotności Empirical significance level
Transekt Transect	4	37047	9262	59,3	0,000
Błąd Error	4995	780617	156	–	–
Ogółem Total	4999	817664	–	–	–

**Tabela 2.** Analiza wariancji dla wysokości całkowitych  
**Table 2.** Variance analysis for total heights

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean square	Statystyka testowa F Test statistics F	Empiryczny poziom istotności Empirical significance level
Transekt Transect	4	1,334	0,333	22,0	0,000
Błąd Error	120	1,823	0,015	–	–
Ogółem Total	124	3,157	–	–	–

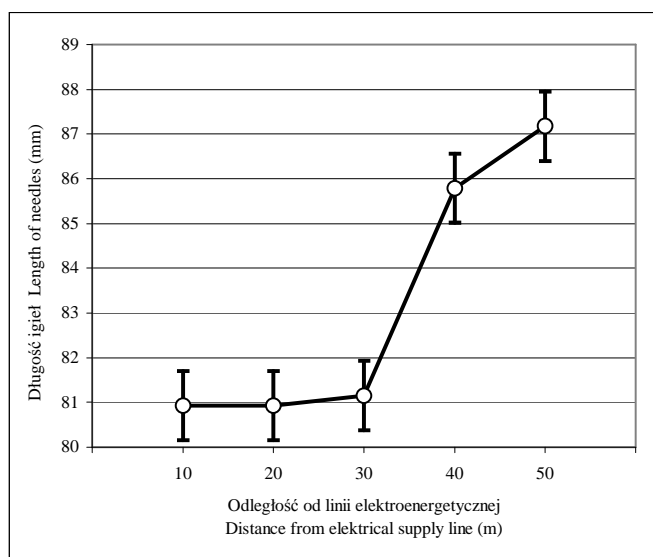
**Tabela 3.** Analiza wariancji dla przyrostów rocznych na wysokość  
**Table 3.** Variance analysis for annual growths in height

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean square	Statystyka testowa F Test statistics F	Empiryczny poziom istotności Empirical significance level
Transekt Transect	4	0,363	0,091	15,4	0,000
Błąd Error	120	0,707	0,006	–	–
Ogółem Total	124	1,070	–	–	–

Uzyskane wyniki pozwalają z dużym prawdopodobieństwem uznać, że pole elektromagnetyczne generowane przez linię wysokiego napięcia zróżnicowało długości igieł sosnowych pobranych z drzew rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie linii elektroenergetycznej. Stwierdzono, że długości igieł pobranych z drzew rosnących w transektach zlokalizowanych w odległości do 30 m od linii nie róż-

nią się istotnie od siebie są natomiast istotnie mniejsze od długości igieł pobranych z drzew rosnących w transektach wyznaczonych w odległości 40 m i 50 m od linii przesyłowej (tab. 1, rys. 1).

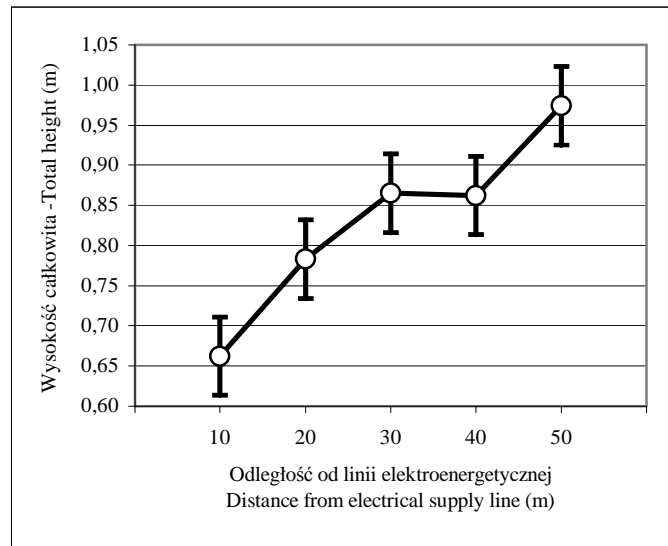
Ponadto stwierdzono, że linia elektroenergetyczna istotnie wpłynęła na wysokość całkowitą oraz przyrosty roczne pędu głównego drzewek rosnących wzdłuż transektów badawczych (tab. 4). Uogólniając należy stwierdzić, że wraz ze przyrostem odległości od linii elektroenergetycznej wzrastała wysokość całkowita drzewek oraz ich roczny przyrost (rys. 2, 3). Przeprowadzone badania wykazały, że istotnie najmniejsze przyrosty roczne i wynikające z tego najmniejsze wysokości całkowite wystąpiły u drzew rosnących w najbliższej odległości od linii przesyłowej (10 m) (tab. 4, rys. 2, 3).



**Rys. 1.** Średnie długości igieł pobranych z 5 transektów badawczych (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)

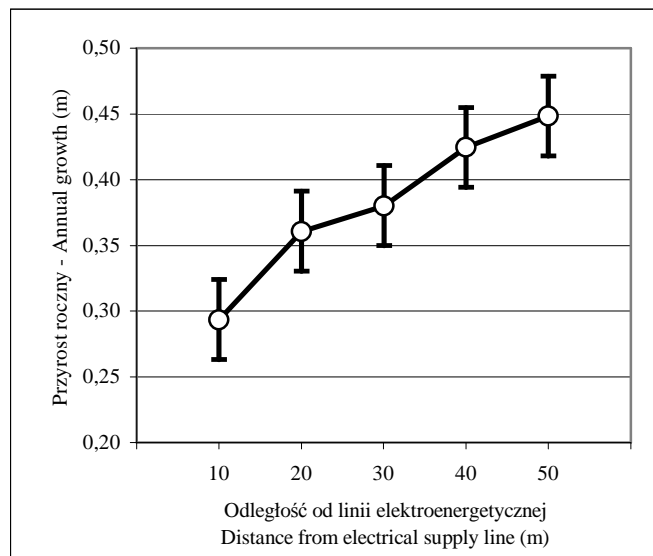
**Fig. 1.** Mean of needle length taken from five research transects (vertical segments denote 95% confidence interval)

Masy 1000 igieł zebranych z drzewek rosnących w transektach oddalonych od linii przesyłowej do 30 metrów były o połowę mniejsze od mas 1000 igieł zebranych w transektach zlokalizowanych w odległości 40 i 50 m od skrajnego przewodu (rys. 4).



**Rys. 2.** Średnia wysokość drzewek określona dla 5 transektów badawczych (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)

**Fig. 2.** Mean height of trees described for five research transects (vertical segments denote 95% confidence interval)



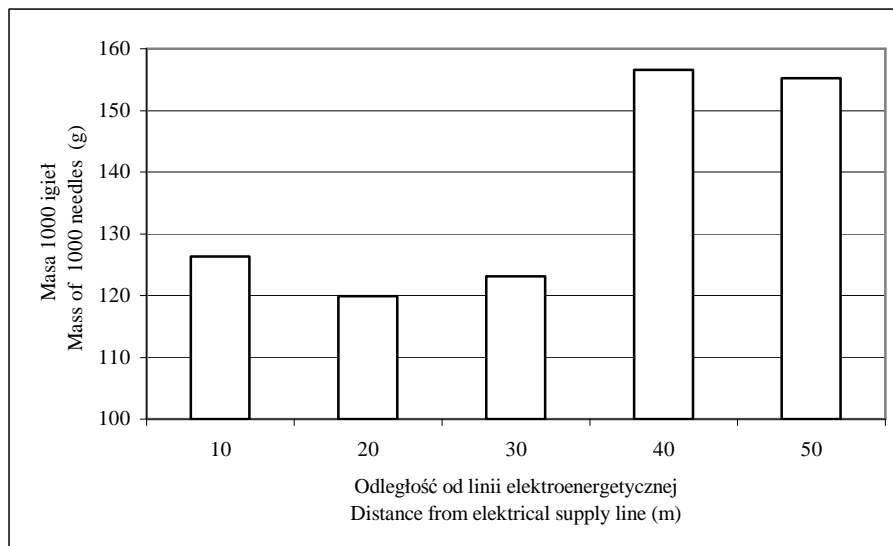
**Rys. 3.** Średnia długość przyrostu rocznego określonego w ramach 5 transektów badawczych (odcinki pionowe oznaczają 95% przedziały ufności)

**Fig. 3.** Mean of annual growth described in five research transects (vertical segments denote 95% confidence interval)



**Tabela 4.** Ocena punktowa oraz wartości najmniejszej istotnej różnicy według metody Tukey'a dla długości igieł, wysokości całkowitych i przyrostów rocznych**Table 4.** Point estimator and values of Tukey's least significant difference method for needle length, total height and annual growths

Transekt Transect	Średnia długość igieł Mean of needle length (mm)	Średnia wysokość całkowita Mean of total height (m)	Średni przyrost roczny Mean of annual growth (m)
10 m	80,9	0,662	0,293
20 m	80,9	0,783	0,361
30 m	81,2	0,865	0,380
40 m	85,8	0,862	0,424
50 m	87,2	0,974	0,448
NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>	1,53	0,097	0,060
NIR <sub>0,01</sub> LSD <sub>0,01</sub>	1,82	0,116	0,072

**Rys. 4.** Masa 1000 igieł**Fig. 4.** Mass of 1000 needles

## WNIOSKI

1. Drzewka sosnowe rosnące w odległości do 30 m od linii elektroenergetycznej cechowały się mniejszą długością i masą aparatu asymilacyjnego w stosunku do drzewek rosnących na transektach oddalonych o 40 m i 50 m.

2. Najmniejszy przyrost roczny pędów głównych i wynikające z tego najmniejsze wysokości całkowite uprawy sosnowej stwierdzono w bezpośrednim sąsiedztwie linii przesyłowej. Wielkości tych cech zwiększały się w kolejnych wyznaczonych transektach badawczych.

## PIŚMIENNICTWO

- Arciszewski J., Dołowy K., Duszyński J., Dylawerska J. Jaworski M., Kowalczyk R., W. Lenart, Miłkuła J. Szuba M., Szmigielski S., Z. Teresiak, Tyszecki A., 2005. Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka. Maszynopis PSE – Operator S.A.
- 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, 21, 173-195.
- Lemke J., 1974. Ciężar igliwia ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. Sylwan 5, 28-34.
- Lemke J., 1978. Zmienność ciężaru igieł w okółkach koron sosen różnych klas wieku. Sylwan 122, 13-21.
- Nosol B, Guziński G., 1987. Promieniowanie elektromagnetyczne a żywa przyroda. Aura nr 8, NOT, Kraków.
- 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.

QUALITY OF SCOTCH PINE ASSIMILATORY APPARATUS  
IN THE VICINITY OF ELECTROMAGNETIC FIELD GENERATED  
BY ELECTRICAL POWER LINE

*Andrzej Czerniak<sup>1</sup>, Łukasz Rojewski<sup>1</sup>, Dariusz Kayzer<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Forest Engineering, The August Cieszkowski Agricultural University of Poznań  
e-mail: aczerni@au.poznan.pl

<sup>2</sup>Department of Mathematical and Statistical Methods,  
The August Cieszkowski Agricultural University of Poznań  
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań

**Abstract.** The aim of the conducted research was to define the influence of electromagnetic field on the length and mass of pine needles and increase in tree height. Conifer material was taken from three-year-old pine cultivation within five research transects at distances of 10 m, 20 m, 30 m, 40 m and 50 m from the power transmission line. Statistical analysis proved that pine trees growing within a distance of 30 m from electrical power line had smaller length and lower assimilating apparatus mass. Relatively to trees growing in transects outlying about 40 m and 50 m, a lower overall height was also noted.

**Keywords:** electric power line, electromagnetic field, quality of assimilatory apparatus, increase in height