

POLSKA  
AKADEMIA  
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA  
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

---

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

13

BORY SOSNOWE  
W GRADIENCIE  
KONTYNENTALIZMU  
I ZANIECZYSZCZEŃ  
W EUROPIE ŚRODKOWEJ  
– BADANIA GEOEKOLOGICZNE

POD REDAKCJĄ  
ALICJI BREYMEYER  
I EWY ROO-ZIELIŃSKIEJ



**WYKAZ ZESZYTÓW INSTYTUTU GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA PAN**

z ostatnich lat

**1996**

37. A. B. ADAMCZYK – Charakterystyka wiatrów silnych i bardzo silnych w Polsce; J. BARANOWSKI – Wielkość zachmurzenia w Warszawie w zależności od cyrkulacji atmosferycznej, 71 s., zł 4,-
38. H. POWĘSKA, T. KOMORNICKI – Przejścia graniczne: Kostrzyn, Słubice, Świecko, Gubin – podstawowe funkcje i strefa oddziaływania na terenie Polski i Niemiec; J. PAPIS, T. KOMORNICKI – Miasto Duszniki Zdrój jako gmina przygraniczna, 50 s., zł 4,-
39. L. KOLENDOWICZ – Burze na obszarze Polski północno-zachodniej w świetle częstotliwości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery, 115 s., zł 4,-
40. R. SZCZĘSNY – Rolnictwo i gospodarka żywnościowa w okresie restrukturyzacji 1989–1994, 47 s., 31 il., zł 4,-
41. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: I, 72 s., zł 4,-
42. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: II, 98 s., zł 4,-

**1997**

43. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: III, 68 s., zł 5,-
44. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: IV, 127 s., zł 5,-
45. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: V, 44 s., zł 5,-
46. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: VI, 96 s., zł 5,-
47. P. EBERHARDT – Problematyka narodowościowa Estonii, 44 s., zł 5,-
48. W. ZGLIŃSKI – Przekształcenia państwowego rolnictwa w Polsce – skutki społeczne, ekonomiczne i przestrzenne, 64 s., zł 5,-
49. B. GRABIŃSKA – Geografia pólzów Europy na tle świata. Regionalizacja zoogeograficzna kręgowców Europy. Powierzchnia jednostki a bogactwo taksonomiczne ssaków, 46 s., zł 5,-
50. R. SZCZĘSNY – Struktura przestrzenna rolnictwa Polski w 1995 roku, s. 115, zł 5,-

**1998**

51. K. BŁAŻEJCZYK – Promieniowanie słoneczne a gospodarka cieplna organizmu człowieka, s. 85, zł 9,-
52. Z. BABIŃSKI (red.) – „Mongolia 96”. Niektóre zagadnienia badawcze ekspedycji. Raport, s. 128, zł 9,-
53. A. GAWRYSZEWSKI, P. KORCELLI, E. NOWOSIELSKA – Funkcje metropolitalne Warszawy, s. 146, zł 9,-
54. J. GRZESZCZAK – Przesunięcie „Miasto-wieś” w przemyśle krajów Unii Europejskiej, s. 71, zł 9,-

**BORY SOSNOWE  
W GRADIENCIE KONTYNENTALIZMU  
I ZANIECZYSZCZEŃ W EUROPIE ŚRODKOWEJ  
– BADANIA GEOEKOLOGICZNE**

**PINE FORESTS  
IN CENTRAL EUROPEAN GRADIENT  
OF CONTINENTALITY AND POLLUTION  
– GEOECOLOGICAL STUDIES**



DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

13

BORY SOSNOWE  
W GRADIENCIE  
KONTYNENTALIZMU  
I ZANIECZYSZCZEŃ  
W EUROPIE ŚRODKOWEJ  
– BADANIA GEOEKOLOGICZNE

POD REDAKCJĄ  
ALICJI BREYMEYER  
I EWY ROO-ZIELIŃSKIEJ



KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor: Roman Szczęsny

Zastępca Redaktora: Jerzy Grzeszczak

Członkowie: Zygmunt Babiński, Krzysztof Błażejczyk,  
Piotr Eberhardt, Marek Jerczyński, Adam Kotarba, Władysława Stola

Sekretarz: Ewa Jankowska

Adres Komitetu:

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania

im. Stanisława Leszczyckiego

Polskiej Akademii Nauk

ul. Twarda 51/55

00-818 Warszawa

Tłumaczenie streszczeń: James Richards

Opracowanie redakcyjne: Ewa Jankowska

Redaktor Wydawnictwa: Jan Kuźma

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
im. Stanisława Leszczyckiego PAN, Warszawa 1998

PL ISSN 0012-5032

ISBN 83-86682-31-0

WYDAWNICTWO

*Continuo*

ul. Czackiego 46/1

51-607 Wrocław

tel. kom. 0601/77-47-33

tel./fax 071/34-390-18 w. 223

Łamanie wykonano w Pracowni Składu Komputerowego TYPO-GRAF  
Wydrukowano we Wrocławskiej Drukarni Naukowej Polskiej Akademii Nauk Spółka z o.o.

<http://rcin.org.pl>

## SPIS TREŚCI

Alicja BREYMEYER, Ewa ROO-ZIELIŃSKA – Wstęp . . . . .	7
Alicja BREYMEYER – Badania borów na transekcje klimatycznym wzdłuż równoleżnika 52°N (od 12° do 32°E) i na transekcje „śląskim”. Założenia ogólne . . . . .	11

### GLEBY

Marek DEGORSKI – Charakterystyka morfolitologiczna siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	31
Marek DEGORSKI – Zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości gleb siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	41
Marek DEGORSKI – Sezonowa dynamika wybranych właściwości gleb siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	55
Aleksander JEFREMOW, Marek DEGORSKI – Właściwości humusu, biomasa mikroorganizmów i zawartość kwasów nukleinowych w glebach siedlisk borów i borów mieszanych na transekcje klimatycznym . . . . .	63

### ROŚLINNOŚĆ

Ewa ROO-ZIELIŃSKA, Jerzy SOLON – Charakterystyka geobotaniczna i analiza zasięgów borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	79
Jerzy SOLON, Ewa ROO-ZIELIŃSKA – Zróżnicowanie struktury runa borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	99
Jerzy SOLON – Różnorodność gatunkowa borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	113

### FAUNA

Eleonora KHOTKO – Zespoły biegaczowatych ( <i>Coleoptera</i> , <i>Carabidae</i> ) w biogeocenozach leśnych wzdłuż transektu klimatycznego (W–E) w strefie środkowoeuropejskiej . . . . .	131
Elżbieta OLECHOWICZ – Makrofauna glebowo-ściółkowa borów sosnowych w gradiencie zróżnicowań klimatycznych oraz zanieczyszczeń przemysłowych w Polsce . . . . .	145

### FUNKCJONOWANIE EKOSYSTEMU

Andrzej ZIELSKI, Wojciech SYGIT – Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny w borach i borach mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) i „śląskim” . . . . .	161
---	-----

Alicja BREYMEYER, Glenn MROZ, David REED, Marek DEGÓRSKI – Warunkowa- nie tempa dekompozycji ściółki sosnowej przez zmieniający się klimat i skład che- miczny substratu. Badania na transektach . . . . .	187
--	-----

#### PODSUMOWANIE

Alicja BREYMEYER, Ewa ROO-ZIELIŃSKA – Próba podsumowania: czy i jak zmie- niają się ekosystemy borowe na założonych transektach . . . . .	207
--	-----

## WSTĘP

Oddajemy do rąk Czytelnika zebrane w niniejszym tomie opracowania, które są wynikiem kilkuletnich badań terenowych i kameralnych prowadzonych przez 11 specjalistów – ekologów i geografów – na stałych powierzchniach obserwacyjnych w borach sosnowych w Polsce, Białorusi i Niemczech (fot. 1–6).

Specyfikę i – wydaje się – znaczącą wartość tych badań stanowi ich aspekt przestrzenny: stanowiska badawcze usytuowane są wzdłuż dwóch transektów, różne przez autorów prac nazywanych. Transekt W–E (zachód–wschód) nazywany jest klimatycznym, kontynentalnym lub równoleżnikowym; transekt Górny Śląsk–Białowieża nazywany jest „śląskim” lub zanieczyszczeniowym.

Transekt kontynentalny przebiega wzdłuż równoleżników 52°–53°N i jego rozciągłość wynosi 20° długości geograficznej (ok. 1800 km), a transekt „śląski” wytyczony jest tylko w Polsce pomiędzy Raciborzem a Białowieżą (700 km).

Z uwagi na czas trwania badań (cztery lata), dużą skalę geograficzną i znaczące koszty przedsięwzięcia, udział poszczególnych autorów w ekspedycjach terenowych był różny, a zatem różny jest zakres prezentowanych w niniejszym tomie opracowań.

Program, który tu prezentujemy, zrealizowany został w ramach międzynarodowego projektu pod tytułem „US-Poland Cooperative Project on Status and Long-Term Trends in Forest Ecosystems: Climate, Pollution and Forest Health”, współfinansowanego przez: US Environmental Protection Agency, USDA Forest Service, USDA Foreign Agricultural Service (ICD), Polską Akademię Nauk, Polskie Biuro GEF oraz Instytut Badawczy Leśnictwa. W finansowaniu prac brały również udział: Michigan Technological University w Houghton, Michigan, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio oraz Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Warszawie. Przy wyborze powierzchni i w pracach na Białorusi pomagali nam pracownicy Instytutu Eksperymentalnej Botaniki BAN z Mińska pod kierunkiem dr. A. Pugaczewskiego. Próby na stanowisku w Niemczech zebrano dzięki pomocy dr. Ralfa Katzla z Forstliche Forschungstalte V. Institut w Eberswalde i dr. Wernera Kratza z Freie Universität w Berlinie. Wszystkim tym Osobom i Instytucjom składamy podziękowania.

Szczególnie dziękujemy prof. dr. Reginaldowi Noble, Dyrektorowi Center for International Environmental Programs przy Bowling Green State University, a także dr. Andrzejowi Bytnerowiczowi z USDA Forest Service Pacific South-



west Research Station w Riverside, którzy włożyli wiele pracy w organizowanie dla nas pomocy ze strony instytucji amerykańskich. Dziękujemy również prof. dr. hab. Piotrowi Korcellemu, dyrektorowi IGiPZ PAN, życzliwie patronującemu naszej pracy.

Panom Profesorom J. Weinerowi oraz K. Klimkowi dziękujemy za krytyczne, wnikliwe komentarze, uwagi i rady zawarte w Ich recenzjach wydawniczych, które pomogły nam w przygotowywaniu końcowej wersji opracowania do druku.

Za ogromną techniczną pomoc przy przygotowywaniu tekstów do druku dziękujemy Violetcie Narkiewicz, Jolancie Więckowskiej i mgr. Jackowi Wolskiemu z Zakładu Geoekologii Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.

*Alicja Breymeyer, Ewa Roo-Zielińska*



## INTRODUCTION

In this volume, we pass over to the reader studies that result from several years of field and laboratory research carried out by 11 specialists in ecology and geography, and that relate to permanent research plots in the pine forests of Poland, Belarus and Germany (Fot. 1–6).

The specific nature and, it would seem, the major value of the research lies in its spatial aspect: the plots are situated along two carefully selected transects given various names by the authors. The W–E transect is described as a transect of climate or continentality or else as a latitudinal transect; while the transect running between Upper Silesia and Białowieża is termed the Silesian transect or else the pollution transect. The transect of continentality runs along parallels 52–53°N and extends across 20 degrees of longitude (c. 1800 km). The Silesian transect is in turn confined to Poland and runs the 700 km between Racibórz and Białowieża.

On account of the duration of the research (4 years), the large geographical scale and the significant costs, the participation of the different authors in the field expeditions varied. Similarly, the presented studies differ somewhat in their scope.

The Programme being presented here has been implemented within the framework of an international project entitled the US-Poland Cooperative Project on the Status of and Long-Term Trends in Forest Ecosystems: Climate, Pollution and Forest Health. This has gained financial support from the US Environmental Protection Agency, the USDA Forest Service, the USDA Foreign Agricultural Service (ICD), the Polish Academy of Sciences, the Polish Office of the Global Environment Facility and the Forestry Research Institute. Also participating in funding were Michigan Technological University at Houghton, Michigan; Bowling Green State University at Bowling Green, Ohio and the Institute of Geography and Spatial Organization (IGiPZ) of the Polish Academy of Sciences in Warsaw. Assisting us in the selection of plots and in the work in Belarus were employees of the Institute of Experimental Botany of the Belarussian Academy of Sciences in Mińsk, under the directorship of Dr. A. Pugaczewski. Sampling at the German sites was made possible by the help gratefully received from Dr. Ralf Katzel of the Forstliche Forschungstalte V. Institut in Eberswalde, and Dr. Werner Kratz of the Free University of Berlin. We would like to offer our sincere thanks to all of these individuals and institutions.

Our particular thanks are extended to Professor Reginald Noble, Director of the Centre for International Environmental Programs at Bowling Green State

University, as well as to Dr. Andrzej Bytnerowicz of the USDA Forest Service's Pacific Southwest Research Station at Riverside. Both put a great deal of work into organising help for us on the part of the American institutions. We would also like to thank Professor Piotr Korcelli, Director of IGiPZ PAN, who was the kind patron of our work.

We are indebted to Professors J. Weiner and K. Klimek for their critical and penetrating comments, notes and advice – as contained in the reviews helping us to prepare the final version of the work for publication.

Finally, we acknowledge with thanks the enormous amount of technical assistance provided in the preparation of the texts by Violetta Narkiewicz, Jolanta Więckowska and Jacek Wolski M. Sc. of the Department of Geocology, the Institute of Geography and Spatial Organization, PAS.

*Alicja Breymeyer, Ewa Roo-Zielińska*

ALICJA BREYMEYER

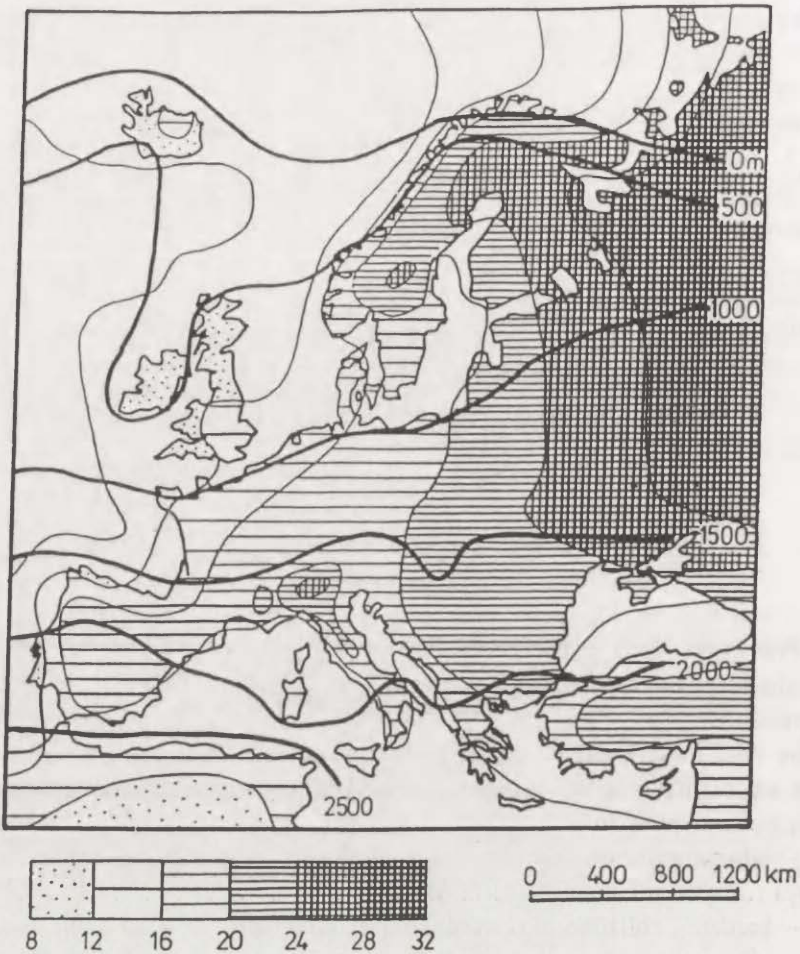
## BADANIA BORÓW NA TRANSEKCIE KLIMATYCZNYM WZDŁUŻ RÓWNOLEŻNIKA 52°N (od 12° do 32°E) I NA TRANSEKCIE „ŚLĄSKIM”. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

### 1. WSTĘP

Przewidywana i prawdopodobnie już realizująca się „na naszych oczach” zmiana klimatu globalnego powodować musi zmiany w funkcjonowaniu ekosystemów lądowych (Field i in. 1992; Melillo i in. 1993; Oechel i in. 1993; Price, Apps 1995). W bogatej literaturze ekologicznej związanej z tym tematem proponuje się rozmaite sposoby oceny zmian w ekosystemach, które schematycznie połączyć można w trzy grupy:

- laboratoryjne traktowanie indywidualnych organizmów różnymi dawkami CO<sub>2</sub> i różnymi reżimami termicznymi;
- bardziej zbliżone do warunków naturalnych doświadczenia klatkowe; szczególnie pospolite są „open chambers experiments”, w których aplikuje się różne klimaty – przez nawiewanie – hodowanym w doniczkach roślinom lub fragmentom zbiorowisk naturalnych zamkniętym w plastikowych tubach otwartych od góry i od dołu (Bazzar, Maio 1993; Cure, Acock 1986; Huston 1997; Porter 1993; Shumejko i in. 1996);
- próbuje się oceniać reakcje całych ekosystemów na zaaranżowane zmieniające się warunki klimatyczne (znane są eksperymenty z podgrzewaniem np. gleby w tundrze) lub wyszukane w naturze, np. w gradiencie rosnącej średniej miesięcznej temperatury powietrza.

Wydaje się, że oceny najbliższe prawdy mogą dać właśnie te ostatnie próby analizy porównawczej tego samego typu ekosystemu funkcjonującego przez dostatecznie długi czas w różnych klimatach. Przy przyjęciu tej metody unika się kłopotów związanych z przenoszeniem wyników badań laboratoryjnych lub półlaboratoryjnych w teren (najczęściej jest to niemożliwe). Nie prowokuje się ryzyka zbyt gwałtownych lub chaotycznych reakcji ekosystemu na ostre interwencje w jego funkcjonowanie – niebezpieczeństwo bardzo poważne przy



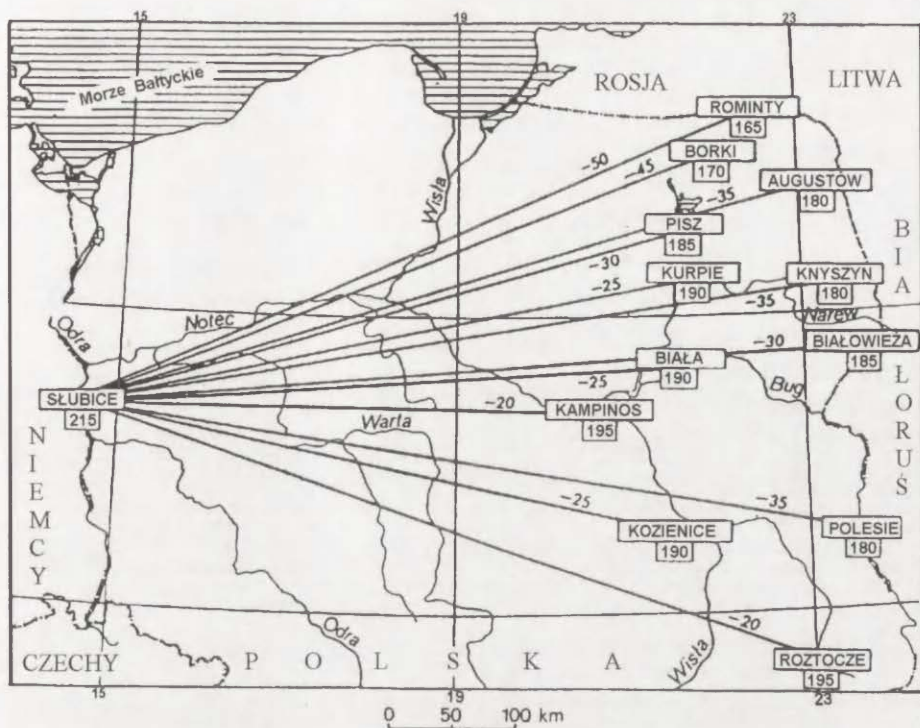
Ryc. 1. Zróżnicowanie klimatyczne Europy: górna granica lasu w górach europejskich jako wskaźnik ochładzania w miarę przesuwania się na północ (w m, izolinie); rosnący w kierunku wschodnim kontynentalizm wyrażony jako powiększająca się różnica między temperaturami miesiąca najchłodniejszego i najcieplejszego (w °C, zacienione powierzchnie). Wg Mayera, 1984, zmienione

Climatic differentiation of Europe; height of the timberline (in m, isolines) in European mountains as an index of northwards cooling. Eastward continentality expressed as increasing differences between temperatures of the coldest and warmest months (in °C, shadowed surfaces). Modified from Mayer 1984

eksperymentowaniu na ekosystemach. W różnych ćwiczeniach komputerowych i eksperymentach związanych z GC-IGBP<sup>1</sup>, najczęściej przyjmuje się, dla półkuli północnej, prognozę  $2 \times \text{CO}_2$  do 2030 roku i wynikające z niej ocieplenie o 2–3°C (tab. 1).

<sup>1</sup> Global Change – International Geosphere / Biosphere Program.





Ryc. 2. Długość trwania okresu wegetacyjnego (w dniach) w lasach. Cyfry zamieszczone na liniach pokazują różnicę pomiędzy najcieplejszym miejscem w Polsce (Słubice) a wybranymi kompleksami leśnymi (wg Falińskiego 1986)

Duration of the vegetation period (days) in different forests location in Poland (after Faliński 1986). The difference between the coldest forest in Rominty (165 days) and the warmest forest in Słubice (215 days) equals 50 days

Warunki klimatyczne w centrum Europy determinowane są przez wpływy arktyczne na osi południe–północ (ochładzanie w miarę przesuwania się na północ w kierunku bieguna) i oceaniczne na osi zachód–wschód (zaostrzenie amplitud i ochładzanie w miarę oddalania się od Atlantyku i przesuwania na wschód w stronę wnętrza kontynentu azjatyckiego) (ryc. 1). Ta ostatnia tendencja, tj. rosnący na wschód kontynentalizm, jest szczególnie wyraźna, gdy bierze się pod uwagę wskaźniki fenologiczne długości sezonu wegetacyjnego (ryc. 2).

W naszych badaniach zakłada się stabilność wszystkich czynników środowiskowych oprócz tego jednego, który ma zmieniać się stopniowo, lecz dostatecznie silnie, by modyfikował funkcjonowanie ekosystemów. Korelacja między zmieniającym się czynnikiem a odchyleniami w funkcjonowaniu ekosystemu sugeruje, że są to zjawiska związane przyczynowo. Zakłada się także, że przy precyzyjnej selekcji ekosystemów maksymalnie podobnych mogą one być traktowane jak jeden, ten sam system ekologiczny poddawany – zmieniającemu

Prognoza reakcji temperatury na zmianę koncentracji CO<sub>2</sub>. Scenariusze:

A. CO<sub>2</sub> × 2 (wg Bolin, Doos, Warrick, Jager, 1986),

B. CO<sub>2</sub> × 1,5 (wg Hammerle, Schiller i Schwarz, 1988)

Prediction of temperature response to change in CO<sub>2</sub> concentration

A. CO<sub>2</sub> × 2 (Bolin, Doos, Warrick, Jager, 1986),

B. CO<sub>2</sub> × 1.5 (Hammerle, Schiller and Schwarz, 1988)

A	Model	Reakcja temperatury powierzchni ziemi na podwojenie zawartości CO <sub>2</sub> w atmosferze
	WCP (1981) CDAC (1983) EPA (1983) Clark i in. (1982) Julich (1983) Obecna ocena	1,5–3,5°C 1,5–4,5°C 1,5–4,5°C 2–3°C 1–3°C 1,5–5,5°C
B	Model	Zmiana temperatury
	Manabe, Wetherald (1975) Manabe, Wetherald (1980) Schlesinger (1983) Washington, Meehl (1984) Hansen i in. (1984) Manabe, Wetherald (niepublikowane), przedstawione w WMO, 1985	2,9°C 3,0°C 2,0°C 1,3°C 4,2–4,8°C 4,0°C

nasilenie – czynniki sprawczemu. Gradient w przestrzeni zastępuje zatem w pewnym sensie gradient w czasie, któremu podlegałyby ten sam typ ekosystemu, gdyby go poddać coraz silniejszemu działaniu wytypowanego czynnika.

## 2. UZYSKANE CHARAKTERYSTYKI EKOSYSTEMÓW

Ekosystemy są tu traktowane głównie jako jednostki funkcjonalne. Zgodnie z wcześniejszymi publikacjami (Breymeyer 1981, 1984; Breymeyer, Uba 1987) przyjęto, że wydolność ekosystemów w stosunku do stresów środowiskowych może być mierzona przez wydolność głównych procesów ekosystemalnych, do których należy produkcja i dekompozycja materii organicznej. Na naszym transekcie badanie funkcjonowania ekosystemów realizowane jest przez pomiar opadu martwych szczątków organicznych na dno lasu i przez pomiar ich dekompozycji w warstwie ściółki. Dekompozycja w coraz głębszych warstwach gleby (do 30 cm) mierzona jest przez eksponowanie czystego chemicznie substratu. Ocena produkcji drewna dokonywana jest przez pomiary tempa przyrostu radialnego pni drzew.



Cechy strukturalne ekosystemów leśnych to struktura gleby i roślinności, dystrybucja materii organicznej nad i pod ziemią, masa i skład wyróżnionych podsystemów oraz kompozycje gatunkowe różnych grup organizmów. Rośliny dna lasu, ich skład i rozmieszczenie na powierzchni stanowiska pozwalają wnioskować o usytuowaniu lasu na mapie zasięgów geograficznych. Na podstawie składu i struktury roślinności wprowadza się także lasy do klasyfikacji fitosocjologicznej. Lasy polskie i środkowoeuropejskie są opisane i sklasyfikowane w systemie Braun-Blanqueta i sporządzone są mapy potencjalnej roślinności naturalnej Polski i Europy.

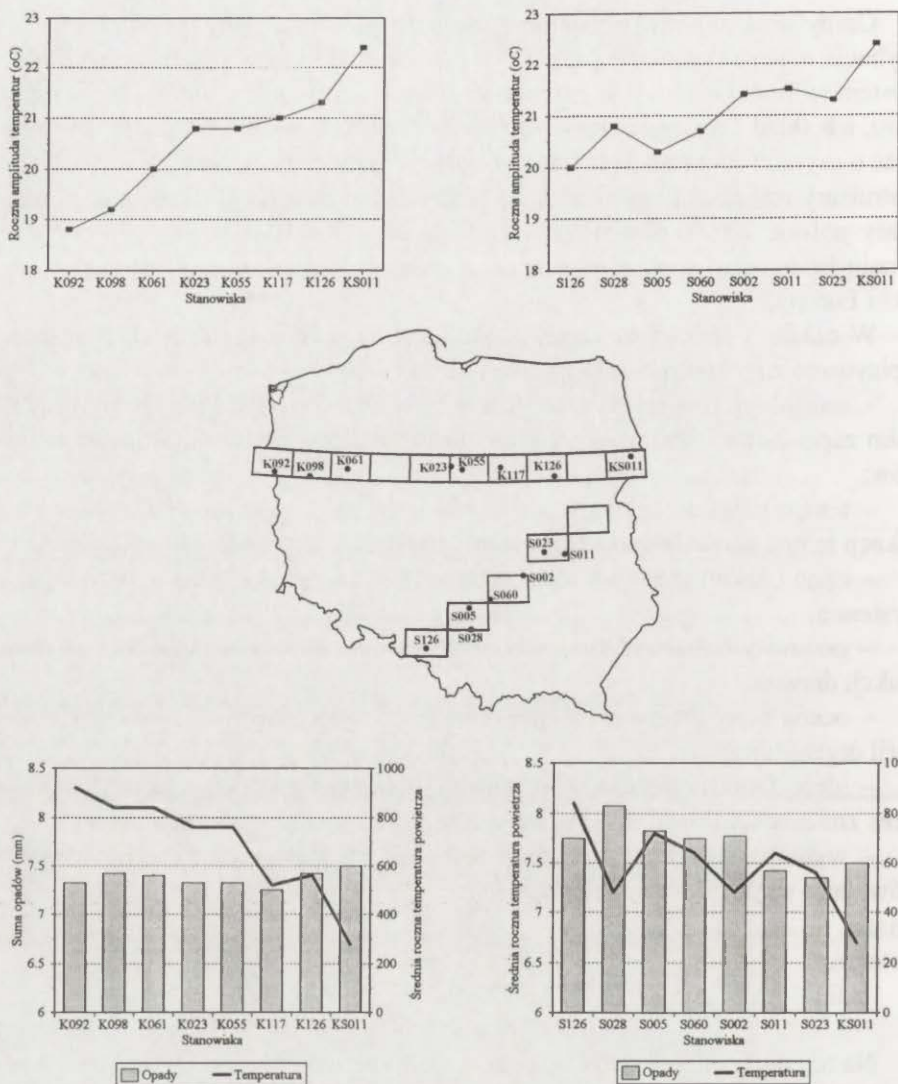
W czasie 3 lat badań zmiany w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemów opisywano za pomocą następujących charakterystyk:

- morfologiczne, genetyczne i chemiczne charakterystyki gleby traktowanej jako zapis historii stanowiska i jako substrat dla przebiegu określonych procesów;
- tempo rozkładu celulozy w trzech warstwach gleby, jako wskaźnik stratyfikacji tempa znikania masy organicznej (wskaźnik aktywności biologicznej);
- opad i dekompozycja ściółki, jako wskaźnik tempa krążenia materii w ekosystemie;
- przyrosty radialne drzew, jako historyczny i obecny wskaźnik tempa produkcji drewna;
- ocena masy drzewostanu, jako charakterystyka struktury i akumulacji materii organicznej;
- identyfikacja roślinności potencjalnej stanowiska wskazuje na możliwy zakres zmienności składu gatunkowego zbiorowiska i warunków siedliskowych;
- wybrane charakterystyki grup roślinności i niektórych grup bezkręgowców, jako wskaźniki bioróżnorodności.

### 3. OPIS STANOWISK I TRANSEKTÓW

Na terenach zalesionych Polski lasy sosnowe stanowią około 70–80%. Rozpiętość oceny wynika z liczenia ich udziału w powierzchni bądź w biomasie (Trampler i in. 1987). Zbliżone proporcje znaleźć można w całej centralnej Europie. Lasy te są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia, a jako zbiorowiska zonalne zależne są od zmian klimatu. Wstępnie założono (Breymeyer 1994), że na obszarze Polski wyznaczy się dwa dopełniające się transekty: transekt klimatyczny na osi W–E wzdłuż równoleżników 52–53°N w północnej, nizinnej połowie kraju oraz transekt tzw. „śląski” rozpoczynający się w okolicy Kuźni Raciborskiej na Górnym Śląsku i tracący zanieczyszczenia w kierunku Białowieży, gdzie oba transekty spotykają się w tym samym punkcie na stanowisku Browsk KS011 (ryc. 3).

Informacje o stanie lasów na tak dużych przestrzeniach gromadzą służby leśne i do tych danych sięgnęliśmy. Monitoring zanieczyszczenia atmosfery wy-



Ryc. 3. Na schematycznej mapie Polski ukazano przebieg transektów i pozycję każdego stanowiska. Nazwy stanowisk: numery wzięte z systemu monitoringu Instytutu Badawczego Leśnictwa; litery „K” – transekt klimatyczny, litery „S” – transekt „śląski”; stanowisko KS011 jest wspólne dla obu transektów, jest to stanowisko najchłodniejsze na transekcie klimatycznym i „najczystsze” na transekcie „śląskim”

Na czterech wykresach przedstawiono amplitudy temperatur (wykresy górne) oraz średnie temperatury roczne i opady atmosferyczne (wykresy dolne). Wszystkie średnie obliczone z pomiarów wieloletnich.

The two axes of the climatic and pollution transects on a schematic map of Poland. Sites names: numbers according to Institute of Forest Research monitoring system; “K”: climatic transect; “S”: Silesian transect; site “KS011” is common to both, being the coolest on the climatic transect and “cleanest” on the Silesian transect

On 4 graphs the climatic characteristics: upper graphs show temperature amplitudes, lower graphs precipitation sums and temperature annual means (long term data)

konywany jest także w lasach polskich przez Instytut Badawczy Leśnictwa (IBL). Z ponad 1000 monitorowanych stanowisk na obszarze całego kraju wybrano te, które położone były najbliżej wytyczonych transektów (Wawrzoniak, Małachowska 1995).

Zbiór podstawowych danych w systemie monitoringu lasów IBL-BUL dokonywany jest na stałych powierzchniach badawczych (SPO) założonych w 1989 r. Corocznie na tych powierzchniach prowadzi się następujące obserwacje:

- ocena kondycji sanitarnej drzew na podstawie charakterystyk morfologicznych koron;
- ocena defoliacji, odbarwienia organów asymilacyjnych i zaliczenie drzew do odpowiedniej klasy zniszczenia;
- ocena fitopatologiczna i ocena szkodników owadzych;
- pomiary średnicy drzew i pomiary miąższości relaskopem co pięć lat;
- jednorazowa ocena chemizmu igliwia.

Wyniki pomiarów są przechowywane w banku danych IBL.

Wytyczony transekt dwuosioowy rozdziela w jakimś stopniu wpływ klimatu i wpływ zanieczyszczeń na badane lasy. Oś „śląska” przebiega zgodnie z gradientem zanieczyszczenia powietrza od Puszczy Białowieskiej do Górnego Śląska; oś klimatyczna przebiega zgodnie z gradientem kontynentalizmu wzdłuż równoleżników 52–53°N od granicy zachodniej do wschodniej kraju i kończy się także w okolicy Białowieży (ryc. 3). Początkowo przeprowadzono wybór stanowisk badawczych na podstawie kartoteki około 1100 SPO (przeglądu dokonali dr J. Solon i inż. J. Wawrzoniak). Na tym etapie wybrano kilkadziesiąt stanowisk. Drugi etap obejmował szczegółową selekcję punktów na podstawie danych archiwalnych. Posługiwano się przy tym następującymi kryteriami: identyczny typ siedliskowy lasów (bór świeży), zbliżony wiek sosny, zbliżone wskaźniki zadrzewienia i jakości drzewostanu, podobne położenie w krajobrazie oraz zbliżony typ podłoża i gleby. Na podstawie tych kryteriów liczbę stanowisk stopniowo zredukowano. Kolejny, trzeci etap to wyjazd terenowy, w czasie którego dokonano definitywnego wyboru 15 stałych powierzchni badawczych.

Gradient klimatyczny zdecydowano przeprowadzić równoleżnikowo z kilku powodów:

- unika się wprowadzenia stanowisk wyżynnych warunkowanych dodatkowo przez elewację i ekspozycję;
- jest to najdłuższy możliwy transekt dla lasów iglastych w kraju;
- istnieje możliwość dalszego przedłużania go, zarówno na wschód jak i na zachód, przy utrzymaniu opisanych wyżej warunków.

W drugim roku badań podjęto pierwszą ekspedycję na Białoruś, gdzie wyznaczono dalszych 6 stanowisk wzdłuż równoleżników 52–53°N przecinając Białoruś od Białowieży do granicy białorusko-rosyjskiej. W trzecim roku badań dołączono do transektu od strony zachodniej jeszcze jedno stanowisko niemieckie (ryc. 4). Drukowane w niniejszym tomie opracowania dotyczą głównie wyników z obszaru Polski; natomiast badania mikroorganizmów, badania roślin i chrząsz-



czy obejmują także stanowiska białoruskie i niemieckie na „dużym” transekcje. Badania na 15 stanowiskach polskich prowadzono w latach 1993–1997; na wszystkich 23 stanowiskach – w latach 1995–1997.

#### 4. KLIMAT NA TRANSEKTACH

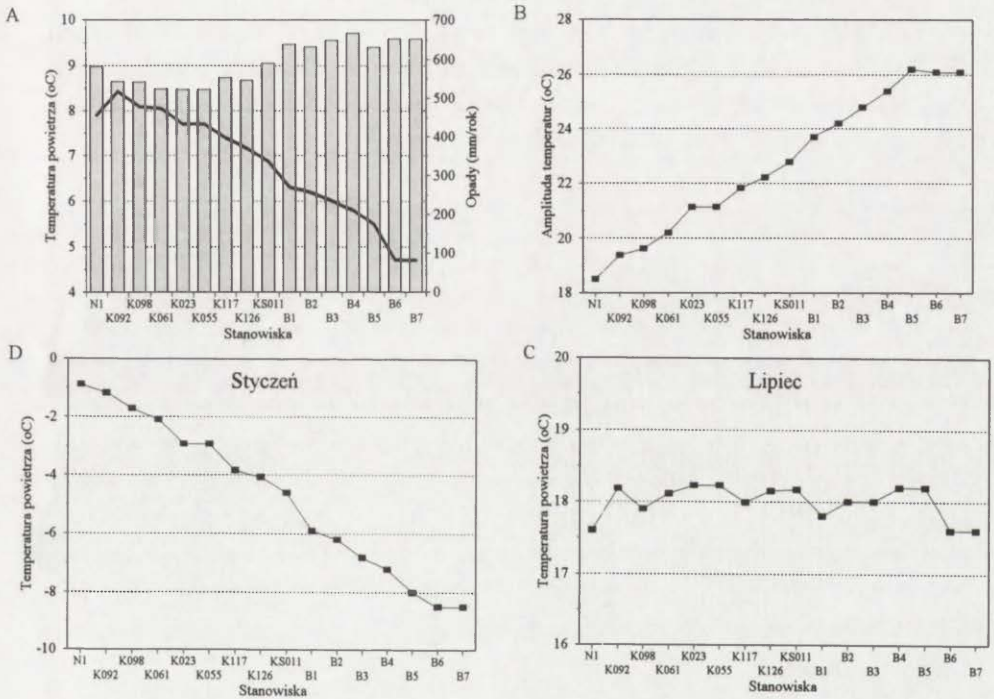
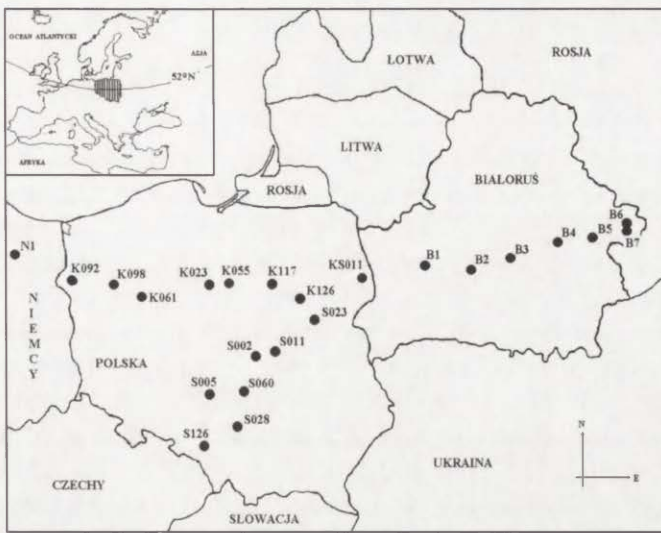
Klimat na transekcje opisany został przez Śmiałkowskiego (1995, 1997) na podstawie wieloletnich pomiarów ze stacji meteorologicznych położonych w pobliżu badanych stanowisk. Na rycinie 3 przedstawiono warunki klimatyczne dla obu osi transektów na obszarze Polski. Różnica między średnimi temperaturami rocznymi na zachodniej i wschodniej granicy Polski wynosi ponad 1°C, wyraźniejsza jest różnica w amplitudach temperatur (18,8°C na zachodzie, 22,3°C na wschodzie).

Transekt „śląski” powtarza dość wiernie zróżnicowanie termiczne odpowiadającej mu części transektu klimatycznego. Natomiast opady atmosferyczne są tu bardziej zróżnicowane, wzrastając na Wyżynie Śląskiej.

Równoleżnikowy „duży” transekt klimatyczny (ryc. 4) obejmuje ponad 20° długości geograficznej (od 12°25'E do 32°37'E), różnica w średniej temperaturze rocznej sięga 3,5°C (od 8,5°C na zachodzie do 5°C na wschodzie), amplituda roczna (różnica między najcieplejszym a najzimniejszym miesiącem roku) wynosi od 6,0°C (na zachodzie) do 18,2°C (na wschodzie).

Ze względu na warunki termiczne w styczniu, stanowiska na „dużym” transekcje klimatycznym można podzielić na cztery grupy. Najostrzejsza zima panuje na trzech wschodnich punktach, gdzie średnia temperatura powietrza wynosi poniżej –8°C. Stanowiska położone w centralnej i zachodniej części Białorusi cechują się średnią temperaturą powietrza w styczniu od –7 do –6°C, zaś te, które leżą we wschodniej i centralnej Polsce – od –5 do –3°C. Najłagodniejsze zimy występują w zachodniej Polsce i w niemieckiej części transektu, gdzie średnia temperatura powietrza w styczniu wynosi od –2 do –1°C. Różnica średniej temperatury powietrza w styczniu pomiędzy najchłodniejszym, a najcieplejszym stanowiskiem jest znaczna i wynosi 7,6°C (ryc. 4). Nieco mniejsze różnice notuje się w średnich całorocznych, najmniejsze – w średnich miesiący ciepłych.

Wyniki pomiarów średnich wieloletnich sum opadu atmosferycznego w poszczególnych miesiącach wykazują małą zmienność na badanym transekcje. Nieco większe zróżnicowanie jest widoczne w sumach rocznych. Pozwala ono na podział transektu na dwie części – nieco bardziej suchą (zachodnią) i nieco wilgotniejszą (wschodnią). Jest to potwierdzeniem znanego faktu, że pod względem uwilgotnienia Polska cechuje się nieco gorszymi warunkami klimatycznymi niż tereny ją otaczające. Generalnie stopień uwilgotnienia poszczególnych stanowisk (analizowany na podstawie średnich wieloletnich) jest podobny i nie wskazuje na wyraźne zróżnicowanie.



Ryc. 4. „Duży” transekt klimatyczny wzdłuż równoleżników 52–53°N. Położenie 16 stanowisk wyznaczone zostało za pomocą pomiarów instrumentem GPS GeoExplorer, Trimble Navigation, Model 17 319

Poniżej charakterystyki klimatyczne tego transektu wg Śmiąłkowskiego 1997, mnsr.

A. Temperatury roczne powietrza i sumy opadów atmosferycznych. B. Amplitudy temperatur powietrza.

C. Temperatury lipca (średnie wieloletnie). D. Temperatury stycznia (średnie wieloletnie)

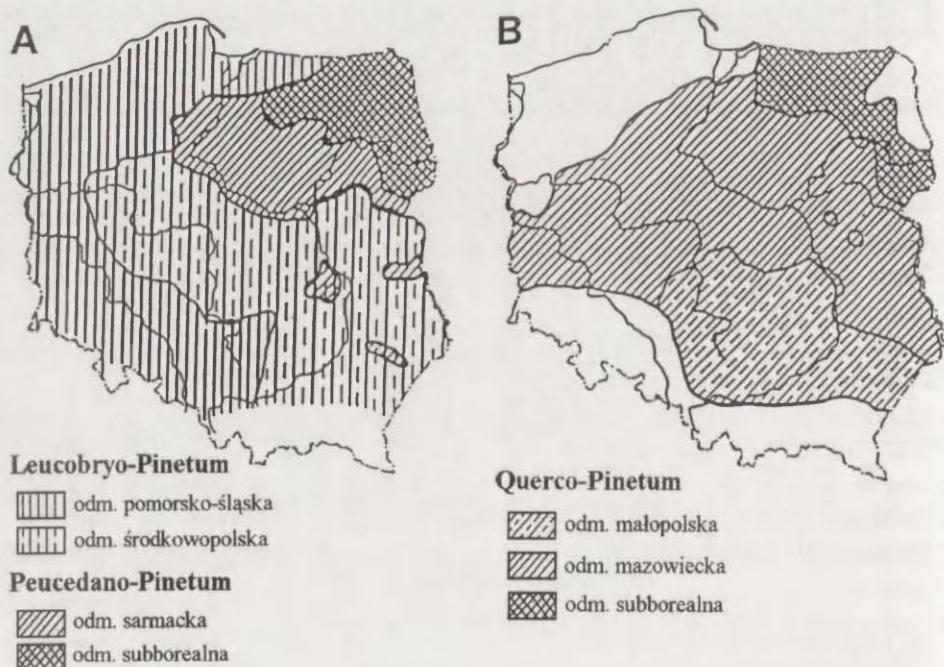
“Large” climatic transect along parallels 52–53°N. Position of 16 stands located by a GPS GeoExplorer, Trimble Navigation, Model 17319

Below the long term climatic characteristics of site: A. Annual temperatures and precipitation sums. B. Temperature amplitudes. C. Temperatures of July (longterm means). D. Temperatures of January (longterm means)

## 5. KLASYFIKACJA FITOSOCJOLOGICZNA STANOWISK

Lasy na wszystkich badanych stanowiskach zakwalifikowane zostały do związku *Dicrano-Pinion* i dwóch zespołów borów świeżych: *Leucobryo-Pinetum* Mat. 1973 (suboceaniczny bór świeży) oraz *Peucedano-Pinetum* Mat. 1973 (subkontynentalny bór świeży) (W. Matuszkiewicz 1981). Stanowiska z większym udziałem drzew liściastych zakwalifikowane zostały do borów mieszanych – zespół *Quercu robororis-Pinetum* (ryc. 5). W miarę przesuwania się na wschód bór suboceaniczny *Leucobryo-Pinetum* zastępowany jest przez bór subkontynentalny *Peucedano-Pinetum*, który występuje na wschód od linii Bugu i dolnej Wisły. Bór subkontynentalny (również w niewielkim stopniu zróżnicowany regionalnie) jest znacznie bogatszy florystycznie niż bór suboceaniczny, charakteryzuje się występowaniem gatunków kontynentalnych, głównie bylin o lekko kserotermicznym charakterze (J. Matuszkiewicz 1987).

Dokładny opis roślinności na stanowiskach znajduje się w rozdziałach E. Roo-Zielińskiej i J. Solona w niniejszym tomie (s. 79–112) i według tych opracowań podział na bory subatlantyckie i subkontynentalne jest jeszcze wyraźniejszy na „dużym” transekcje.



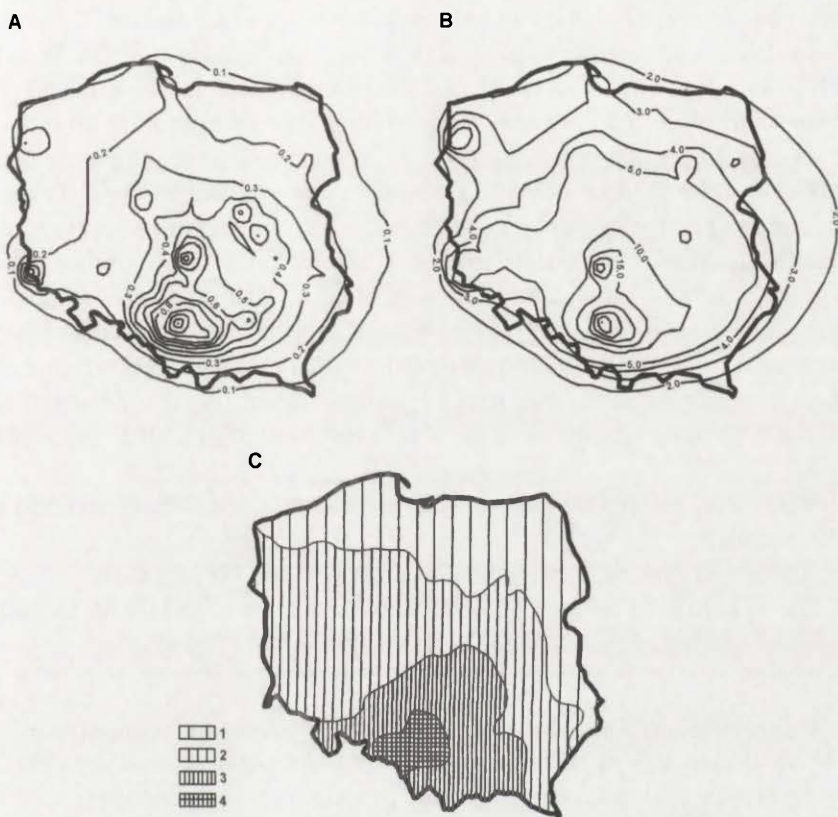
Ryc. 5. Zróżnicowanie regionalne lasów sosnowych świeżych (A) i mieszanych (B) na obszarze Polski (wg J. Matuszkiewicza 1987)

Regional differentiation of: (A) pure pine forests, (B) mixed pine forests, and on the territory of Poland. After J. Matuszkiewicz 1987



## 6. ZANIECZYSZCZENIA NA TRANSEKTACH

Idea podwójnego transektu kształtowanego głównie przez dwie grupy czynników wymagała gradientu zmian zanieczyszczenia, który wydawał się początkowo stosunkowo łatwy do wyznaczenia. W czasie rozpoczęcia badań oczy-



Ryc. 6. Koncentracja związków siarki (S), azotu (N) i metali ciężkich nad terytorium Polski w 1990 r.

A – średnia roczna koncentracja NO ( $\text{g N na m}^{-3}$ ), izolinie: 0.1–1.5. B – średnia roczna koncentracja  $\text{SO}_2$  ( $\text{g S na m}^{-3}$ ), izolinie 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 (mapy według Juda-Rezler, Abert 1994; obliczone wg modelu SOXNOX dla źródeł z terytorium Polski). C – strefy zanieczyszczenia Polski wyznaczone na podstawie zawartości metali w tkankach mchu *Pleurozium schreberi*; zanieczyszczenie różnie od 1–4, oznaczone metale: Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn (wg Grodzińskiej i in. 1994)

#### Concentration of S and N compounds on the territory of Poland in 1990

(A) Mean annual concentration of NO. Isolines range from 0.1 to 1.5  $\text{g Nm}^{-3}$ , (B) mean annual concentration of  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g Sm}^{-3}$ ), isolines: 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35. Maps (A) and (B) after Juda-Rezler and Abert, 1994; calculated after model SOXNOX for sources from the territory of Poland. (C) Zones of heavy metal pollution in Poland defined by content of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn in moss of the species *Pleurozium schreberi*.

Zones: 1: relatively clean; 2: moderately polluted; 3: heavily polluted; 4: very heavily polluted.

After K. Grodzińska et al. 1994

wistym było, że transekt taki musi przebiegać od południowo-zachodnich krańców Polski na północny wschód. W literaturze z ubiegłego 20-lecia wielokrotnie przedstawiano pomiary bardzo wysokich zanieczyszczeń przemysłowych dla regionu śląskiego i Sudetów (Grodzińska i in. 1994), także matematyczne modelowanie rozchodzenia się i rozkładu zanieczyszczeń w całym kraju wskazywało na ewidentną ich koncentrację na terenie Śląska (Juda-Rezler, Abert 1994; ryc. 6). Jednak obecnie sytuacja wyraźnie zmienia się na korzyść, następuje wyraźny, stały spadek zanieczyszczenia powietrza w woj. katowickim (tab. 2). W ostatnich latach zaobserwowano wyraźny spadek zanieczyszczenia powietrza także na stacjach mierzących „tło”, tj. stan środowiska z dala od emitorów (Przybylska 1995; ryc. 7). Minie jakiś czas zanim zaobserwujemy pierwsze symptomy poprawy kondycji lasów „zatrutowanych”, ale musi to niewątpliwie nastąpić. Tak więc badania nasze przypadły na okres „rozmywania się” gradientu zanieczyszczenia na osi Górny Śląsk – północny wschód kraju. W tej sytuacji wydaje się, że większego znaczenia nabierają zanieczyszczenia lokalne oraz przenoszone nad granicą polsko-niemiecką z krajów Europy Zachodniej; potwierdzają to uzyskane z banku danych IBL pomiary stężenia niektórych metali ciężkich w igłach sosen na stanowiskach transektowych (ryc. 8). Z danych tych wynika, że zawartość metali ciężkich w igłach sosnowych rozkłada się w różny sposób:

- najczęściej rośnie przy przesuwaniu się na Śląsk (ryc. 8B, pierwiastki As, Zn, Pb, Cd, Fe);
- rośnie w stronę zachodniej granicy kraju (pierwiastki Mg, Cu);
- nie wykazuje wyraźnych tendencji lub wzrasta i na Śląsku i na zachodzie (ryc. 8A, pierwiastki Mn, Cl, Mg, Cu oraz siarka – S).

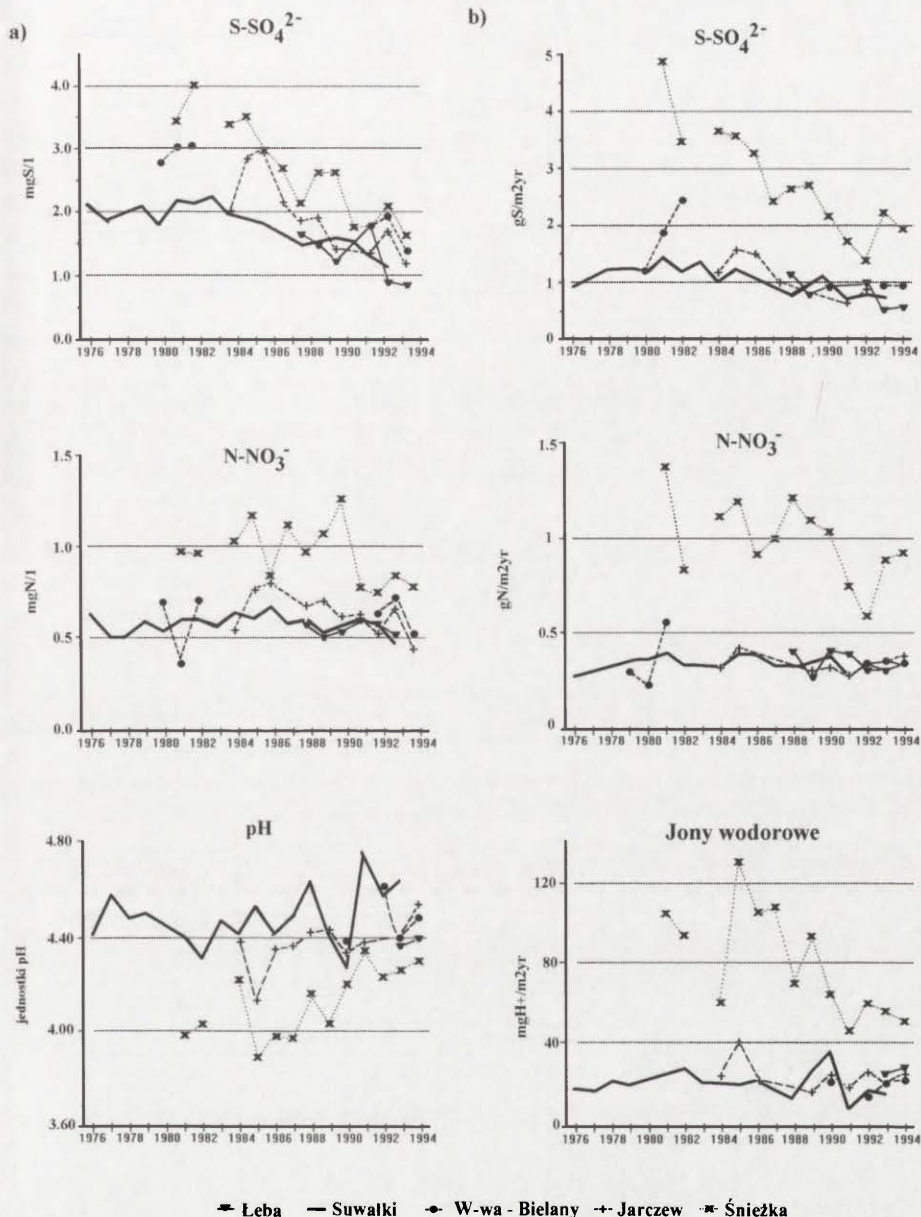
T a b e l a 2

Emisja związków zanieczyszczających atmosferę w województwie katowickim (1985–1992) i 1995 wg *Rocznika statystycznego województwa katowickiego 1996*

Emission of air pollutants in Katowice province (1985–1992 and 1995).

After *Katowice Voivodship Statistical Manual and Statistical Yearbook 1996*, Warsaw

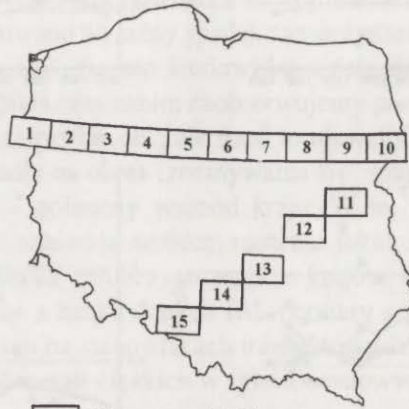
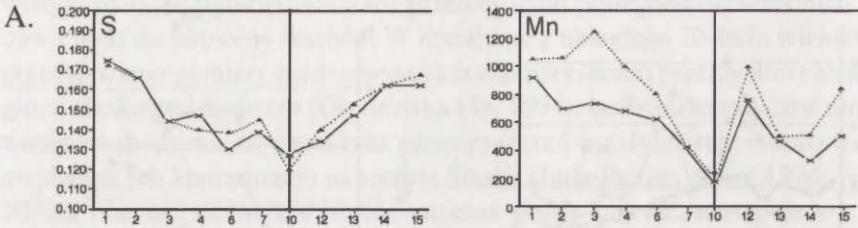
Rok	Emisja zanieczyszczeń w tysiącach ton/rok T/y · 1000	
	pyły	gazy
1985	453,9	1540,8
1986	418,7	1509,9
1987	389,3	1505,2
1988	327,9	1306,3
1989	305,3	1309,2
1990	227,1	1003,3
1991	186,7	850,2
1992	127,1	738,1
1995	82,5	239,0



— Łeba — Suwałki ● W-wa - Bielany + Jarczew \* Śnieżka

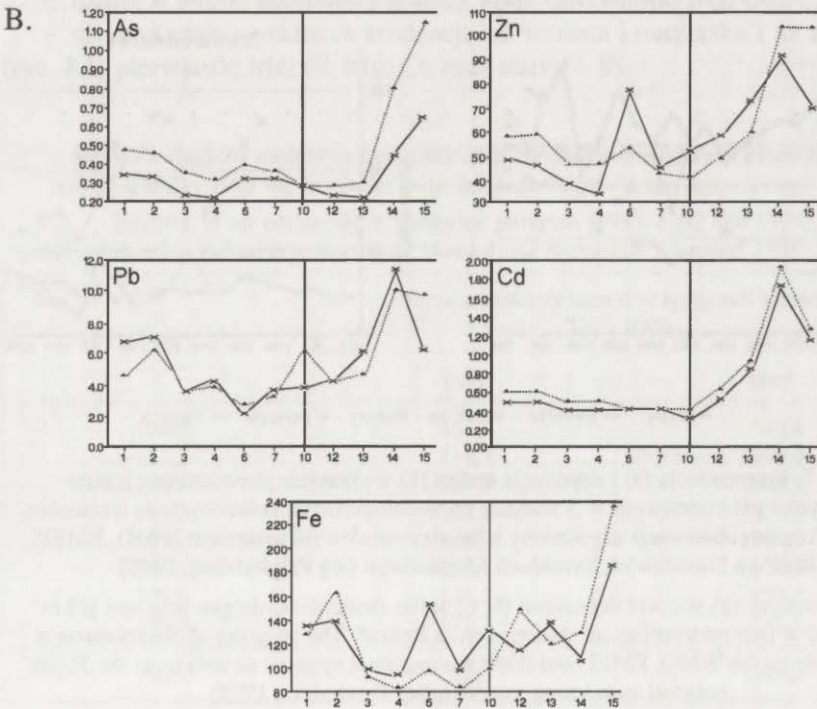
Ryc. 7. Koncentracja (a) i depozycja mokra (b) wybranych pierwiastków, jonów wodorowych i pH mierzonych w 5 stacjach meteorologicznych położonych na terytorium Polski. Program obserwacji uzgodniony z Międzynarodowym systemem WMO, EMEP, BMP i z Narodowym Systemem Monitoringu (wg Przybylskiej, 1995)

Concentrations (a) and wet deposition (b) of some elements, hydrogen ions and pH as measured at five meteorological stations across Poland. The program of observations is comparable to the WMO, EMEP and BMP international systems as well as to the Polish national monitoring system (after Przybylska, 1995)



1-10 Sektory na transekcje klimatycznym

11-15 Sektory na transekcje "śląskim"





## 7. WNIOSKI

Ekosystemy leśne należą do najbardziej skomplikowanych ekosystemów lądowych. Ich funkcjonowanie warunkowane jest zarówno długą historią (zwykle kilka pokoleń drzew, tj. kilkaset lat), gospodarką leśną, jak i całą mozaiką czynników siedliskowych, dość zróżnicowanych na obszarze Europy Środkowej. Dlatego dobór właściwych stanowisk do badań na transektach był przedsięwzięciem trudnym i zdajemy sobie sprawę, że mimo starań o wyeliminowanie wpływów wielu innych czynników, nie udało nam się ustawić naszych stanowisk w „czystym” gradiencie zanieczyszczenia bądź kontynentalizmu.

Stopniowe zmniejszanie i unowocześnianie wielkich zakładów przemysłowych na Górnym Śląsku powoduje zanikanie tak wyraźnych przed laty koncentracji zanieczyszczeń atmosfery nad tym regionem; w pomiarach IBL podobne do „śląskiego” zanieczyszczenie igieł siarką i manganem stwierdzone jest na zachodnim krańcu transektu klimatycznego. Stale jednak stanowiska rozmieszczone w województwie katowickim mają w igłach sosnowych najwięcej metali ciężkich. Podobne wyniki podaje w swoich raportach J. Wawrzoniak (1993, 1996) przedstawiając mapy zanieczyszczenia w całym kraju. Autor ten znalazł istotne statystycznie korelacje ( $p \leq 0,5$ ) pomiędzy zawartością Pb, As i Zn w igłach a defoliacją drzew oznaczającą spadek produkcji materii organicznej. Jak będzie to wykazane w tym tomie, w rozdziale *Warunkowanie tempa dekompozycji ściółki sosnowej przez zmieniający się klimat i skład chemiczny substratu – badania na transektach* (s. 187–205), także tempo dekompozycji ściółki reaguje na obecność metali.

Najchłodniejsze i najczystsze z 15 stanowisk krajowych znajduje się pod Białowieżą (KS011). Znajduje to odbicie we wszystkich badanych szczegółowo procesach i komponentach ekosystemów sosnowych.

Rozciągnięcie transektu klimatycznego (do ok. 1800 km) dało w efekcie znaczne zróżnicowanie warunków klimatycznych. Na „dużym” transekcie szczegól-

Ryc. 8. Zawartość wybranych pierwiastków w igłach sosen na stanowiskach monitoringowych IBL przyporządkowanych dwu osiom transektów

Osie transektów podzielone zostały na sektory o rozmiarach  $1^\circ \times 24'$  ( $70 \times 44$  km). Stanowiska monitoringowe IBL znajdujące się w sektorach służyły do oceny zanieczyszczenia danej powierzchni; igły do analiz zbierane były z II okółka wybranych sosen, analizy wykonano w laboratorium IBL (Wawrzoniak, Małachowska 1995)

Content of selected elements in pine needles collected from the tops of trees growing in consecutive sectors of two Polish transects (compare the Poland's map with sectors)

Each figure is divided on two parts by sector No. 10 which is situated on east border of the country and represents the coldest and cleanest area for both transects. To the left from sector 10 there is climatic transect which begins in sector 1 on Polish west border. To the right from sector 10 there is Silesian transect which ends in Silesia sector 15. (A) The elements S, and Mn occur in similar concentrations in Silesia and western end of climatic transect. (B) The concentration of As, Zn, Pb, Cd, Fe shows distinct tendency to grow in industrial Silesia.

After J. Wawrzoniak and J. Małachowska 1995

nie wyraźnie różnicują się amplitudy termiczne: różnice między temperaturami lipca i stycznia rosną od granicy polsko-niemieckiej (18,8°C), przez granicę polsko-białoruską (22,3°C), do białorusko-rosyjskiej (26,1°C). Kontynentalizm jest charakterystyką klimatu, której działanie na procesy fizjologiczne i ekologiczne nie jest znane. Wydaje się, że warto się kontynentalizmem zainteresować, gdyż przewidywane ocieplenie klimatu przesunie izokontynentale w głąb lądu i skomplikuje modelowe relacje organizmy żywe – temperatura. Według opinii niektórych klimatologów (Romer 1946; Evert 1973 cytowany wg Wosia 1995), izokontynentala 50% rozdzielająca wpływy atlantyckie i kontynentalne przebiega w Europie w połowie długości naszego transektu klimatycznego, tj. wzdłuż granicy polsko-białoruskiej. Po zakończeniu kompletu analiz z „dużego” transektu odpowiemy na pytanie, czy ta klimatyczna strefa zmian jest także strefą szczególnej zmienności ekologicznej.

Założenia teoretyczne i skala naszych badań – jeden typ ekosystemu, precyzyjnie określona i wyraźnie równoleżnikowa zmienność elementów klimatu – są różne od proponowanych przez Kocha i innych (1995), Sokołova i Striganova (1996), Bugmana i Solomona (1995) czy Li Xia (1995). Autorzy ci proponują transekty przecinające różne strefy roślinne. Wydaje się, że przy całkowitej wymianie rodzaju roślinności budującej ekosystem trudniej byłoby analizować zmiany w jego funkcjonowaniu. Wyniki uzyskane przez nas w jednym typie ekosystemu mogą być aplikowane do innych za pomocą odpowiednich ćwiczeń na modelach (Breymeyer i in. 1996).

## LITERATURA

- B a z z a r F. A., M a i o S. L., 1993, *Successional status, seed size, and responses of the tree seedlings to CO<sub>2</sub>, light and nutrients*, Ecology, 74, 104–112.
- B o l i n, D o o s, W a r r i c k, J a g e r, 1986, *The greenhouse effect, climate change and ecosystems*, SCOPE 29, John Willey & Sons, 4.
- B r e y m e y e r A., 1981, *Monitoring of the functioning of ecosystems*, [w:] *Environmental Monitoring and Assessment*, Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland and Boston, USA, 1, 175–183.
- 1984, *Ecological monitoring as a method of land evaluation*, Geographia Polonica, 371–384.
- 1994, *Functioning of Forest Ecosystems in Gradients of Climate and Pollution: Project for Comparative Ecosystem Studies on Transects*, [w:] J. Solon, W. Roo-Zielińska, A. Bytniewicz (red.), *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*, Conference Papers 19, IGiPZ PAN, Warszawa, 101–107.
- B r e y m e y e r A. I., H a l l D. O., M e l i l l o J. M., A g r e n G. I., 1996, *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands*, SCOPE 56, John Willey & Sons.
- B r e y m e y e r A., U b a L., 1987, *Monitoring ekosystemów: program ekologicznej kontroli stanu ekosystemów lądowych na obszarze Polski*, [w:] Człowiek i Środowisko, 471–495.
- B u g m a n H. K., S o l o m o n A. M., 1995, *The use of European forest model in North America: a study of ecosystem response to climate gradients*, Journal of Biogeography, 22, 477–484.



- Cure J. D., Acock B., 1986, *Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey*, Agri. Forest Meteorol., 38, 127–135.
- Faliński J. B., 1986, *Vegetation dynamics in lowland primeval forests*, Geobotany, 8, 1–537.
- Field C. B., Chapin III F. S., Matson P. A., Mooney H. A., 1992, *Responses of terrestrial ecosystems to the changing atmosphere*, Annu. Rev. Ecol. Syst., 23, 201–235.
- Grodzińska K., Szarek G., Godzik B., Braniewski S., Chrzanowska E., 1994, *Mapping Air Pollution in Poland by Measuring Heavy Metal Concentration in Mosses*, [w:] J. Solon, W. Roo-Zielińska, A. Bytnerowicz (red.), *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*, Conference Papers 19, IGIPZ PAN, Warszawa, 197–209.
- Hammerle R. H., Shiller J. W., Schwarz M. J., 1988, *Global Warming*, Technology Assessment series. Ford Research.
- Huston M. A., 1997, *Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity*, Oecologia, 110, 449–460.
- Juda-Rezler K., Abert K., 1994, *Rozkład stężeń i strumieni zanieczyszczeń powietrza w Karkonoszach na podstawie modelowych badań symulacyjnych*, [w:] Z. Fischer (red.), *Karkonoskie Badania Ekologiczne, II Konferencja, Dziekanów Leśny, 17–19 stycznia 1994*, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN, Dziekanów Leśny, 29–62.
- Koch G. W., Scholes R. J., Steffen P. M., Vitousek P. M., Walker B. H. (eds.), 1995, *The IGBP Terrestrial Transects: Science Plan. The International Geosphere-Biosphere Program: A Study of Global Change Report No. 36*, Stockholm.
- Li Xia, 1995, *Modelling the response of vegetation in north-east China transect to global change*, Journal of Biogeography, 22, 515–522.
- Mayer H., 1984, *Walder Europa*, Gustav Fischer, Stuttgart.
- Matuszkiewicz J., 1987, *Geobotaniczne zróżnicowanie lasów iglastych Polski*, [w:] A. Breymer (red.), *Lasy iglaste na obszarze Polski*, Dokum. Geogr., 3, 46–72.
- Matuszkiewicz W., 1981, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa.
- Melillo J. M., McGuire A. D., Kicklighter D. W., Moore III B., Vorosmarty C. J., Schloss A. L., 1993, *Global climate change and terrestrial net primary production*, Nature, 363, 234–240.
- Oechel W. C., Hastings S. J., Vourlitis G., Jenkins M., Riechers G., Grulke N., 1993, *Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source*, Nature, 361, 520–523.
- Porter H., 1993, *Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO<sub>2</sub> concentration*, [w:] *CO<sub>2</sub> and Biosphere*, J. Rozema, H. Lambers, S. C. Van de Geijn, M. L. (red.), Cambridge, 77–98, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Price D. T., Apps M. J., 1995, *The boreal forest transect case study: global change effects on ecosystem processes and carbon dynamics in boreal Canada*, Water, Air and Soil Pollution, 82, 203–214.
- Przybylska G., 1995, *Wieloletnie zmiany zanieczyszczenia atmosfery w Polsce*, [w:] *Ocena i stan środowiska przyrodniczego Polski i innych krajów*, Międzynarodowe Sympozjum Naukowe, Jachranka, 10–13 października 1995 r., 112–114.
- Romer E., 1946, *Rozmyślenia o klimacie*, Czas. Geogr., 17, 3/4, 11–85.
- Shumejko P., Ossipov V., Neuvonen S., 1996, *The effect of simulated acid rain on the biochemical composition of Scots pine (Pinus sylvestris L.) needles*, Environmental Pollution, 92, 3, 315–321.
- Sokolov V. E., Striganova B. R. (red.), 1996, *Russian European Transect*, Russian Academy of Sciences, Moscow.
- Solon J., 1995, *Diversity of herb layer in pine forest community along climatic and pollution gradients*, [w:] *Effects of atmospheric deposition and climate change in forest ecosystems in Central and Eastern Europe and United States*, Report 1994–1995, Depart-

- ment of Geoecology, Institute of Geography and Spatial Organization PAS, Warsaw, 46–64.
- Śmiałkowski J., 1995, *Differentiation of thermic and precipitation conditions as an effect of altitude and distance from the Atlantic Ocean on the "climatic" and "Silesian" transects*, [w:] *Effects of atmospheric deposition and climate change in forest ecosystems in Central and Eastern Europe and the United States*, Report 1994–1995, Department of Geoecology, Institute of Geography and Spatial Organization PAS, Warsaw, 24–25.
- 1997, *Zróżnicowanie warunków klimatycznych na transekcje Christdorf – Chocimsk, biegnącym pomiędzy 52 a 53° szerokości geograficznej północnej, od Brandemburgii, poprzez terytorium Polski, od wschodniej granicy Białorusi*, niepublikowane.
- Tramplera T., Girzda A., Dmyterka E., 1987, *Zróżnicowanie zasobów i produkcji biomasy drzewnej w lasach iglastych w Polsce*, [w:] A. Breymeyer (red.), *Lasy iglaste na obszarze Polski*, Dokum. Geogr. 3, 46–72.
- Wawrzoniak J., 1993, *Ocena zmian składu chemicznego igliwia lasów Polski w różnych warunkach zanieczyszczenia środowiska*, Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Wawrzoniak J., Małachowska J., 1995, *Characterization of observation plots distributed on climatic and anthropogenic gradients* (niepublikowane).
- Wawrzoniak J., Małachowska J., Wójcik J., Liwińska A., 1996, *Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1995 roku na podstawie badań monitoringowych*, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Woś A., 1995, *Zarys klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 301.

TRANSECT STUDIES OF PINE FORESTS ALONG PARALLEL 52°N, 12–32°E  
AND ALONG POLLUTION GRADIENT IN CENTRAL EUROPE:  
GENERAL ASSUMPTIONS, CLIMATIC CONDITIONS  
AND POLLUTION DEPOSITION

S u m m a r y

This research program describes the response of pine forest to changing climate and environmental chemistry. All 23 selected pine forest stands belong to the *Dicrano-Pinion* alliance and include two associations of pine forest: subcontinental pine forest *Peucedano--Pinetum* and sub-oceanic pine *Leucobryo-Pinetum*, as well as mixed forest of the *Querc--Pinetum* type.

At the beginning the program consisted of two transects following continentality and pollution gradients across Poland: the former one, W–E, from the western border to the eastern border of a country along the 52nd parallel, and the later from industrial Upper Silesia (SW Poland) to the same point on the eastern border in the Białowieża area. We assumed that the W–E transect followed a gradient of cooling and continentality: the western-eastern site difference in mean annual temperature is 1.8°C (from 8.5 to 6.7°C); average amplitudes between July and January temperatures are 18.8°C for the most western site, and 22.3°C for the most eastern site.

The extension of the continental transect to the west (Germany) and the east (Belarus) became possible two years after the program had been initiated. This so-called "large transect" spans 20° (from 12°25' to 32°60'E) of latitude, with a difference in mean annual temperature of 3.5°C (from 5 to 8.5°).

The "Silesian" transect was established along a pollution gradient of sulphur deposition. The content of sulphur in Scots pine needles varied between 0.17% dry mass in Upper Silesia and 0.12% in Białowieża National Park.

Determined in each forest stand were climatic elements (temperature and precipitation), the rate of radial growth of pine trees, the diversity of plant species and forms, some measures of plant biomass, organic matter turnover measured by litter fall and decomposition, and the diversity of selected groups of epigeic and soil fauna (invertebrates). Detailed descriptions of these important ecosystem components are presented in the papers in this volume.

Author's adress:

Alicja Breymeyer  
Zakład Geoekologii  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa





MAREK DEGÓRSKI

CHARAKTERYSTYKA MORFOLITOLOGICZNA  
SIEDLISK BORÓW I BORÓW MIESZANYCH  
NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH: KLIMATYCZNYM  
(wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) I „ŚLĄSKIM”

1. WSTĘP

Poznanie charakterystyk substratu glebowego, jego genezy i właściwości jest istotnym elementem oceny siedlisk, szczególnie ważnym w badaniach ekosystemów borowych, które w warunkach naturalnych wykształcone są w lekkim materiale geologicznym – piaskach. Nawet niewielkie bezwzględne zmiany zawartości części spławialnych w składzie mechanicznym piasków czy ich składu mineralicznego mają istotny wpływ na właściwości gleb (Adamczyk 1965; Białousz 1978; Buol i in. 1989; Degórski 1990).

Celem niniejszej pracy jest:

1. klasyfikacja genetyczna badanych gleb,
2. diagnoza pochodzenia geologicznego substratu glebowego,
3. określenie związku geomorfogenezy z właściwościami litologicznymi i petrograficznymi substratu oraz ich wpływu na właściwości troficzne siedlisk.

2. METODY

W niniejszym opracowaniu z uwagi na nadrzędny cel wszystkich badań, jakie prowadzono na transektach (Breymeyer i in. 1995; Breymeyer 1997), powierzchni stałe przyjęto na podstawie kryteriów fitosocjologicznych i geobotanicznych. Charakterystykę położenia powierzchni badawczych w regionach czy krajinach geograficznych przyjęto dla obszaru Niemiec według *Atlas Deutschland im Europa 1995*, dla obszaru Polski według Kondrackiego (1994), dla Białorusi według Demietjewa i Romanowskiego (1977) oraz Siborienki (1971). Punktem wyjścia do badań siedliskowych była analiza środowiska geograficznego pod kątem jednorodności sedymentacyjno-geomorfologiczno-litologicznej. Wykonano analizę geomorfologiczną obszarów, na których założono stałe powierzchnie



badawcze. Następnie na 23 powierzchniach badawczych wykonano odkrywki glebowe i odwierty do głębokości 2,5 metra. W każdym profilu glebowym przeprowadzono diagnozę poszczególnych poziomów genetycznych, wykonując kartograficzny szkic gleb metodą kwadratów. Taksonomię gleb przeprowadzono na podstawie *Systematyki gleb Polski (1989)*. Z każdej odkrywki pobrano próby materiału geologicznego, który posłużył do wykonania podstawowych analiz charakteryzujących substrat glebowy.

Wykonano następujące oznaczenia:

- analizę petrograficzną dla czterech frakcji odpowiadających przedziałom uziarnienia: 0,8–0,5 mm, 0,5–0,3 mm, 0,3–0,2 mm, i 0,2–0,06 mm, określając skład mineralny i litologiczny. Z frakcji 0,2–0,06 mm wyodrębniono w bromofornie minerały ciężkie. Skład mineralny przedstawiono jako sumę minerałów odpornych, średnioodpornych i nieodpornych;

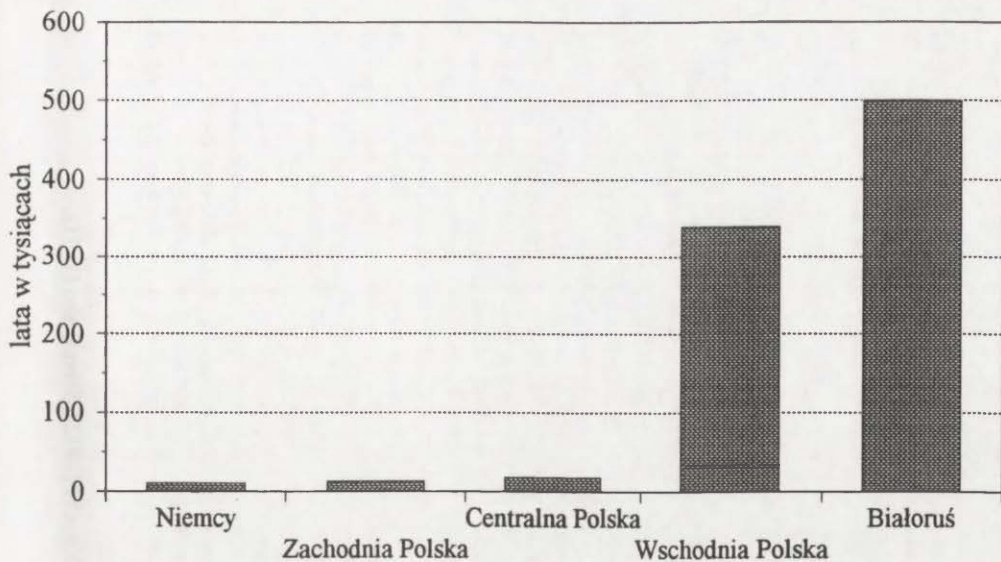
- analizę składu mechanicznego metodą sit oraz aerometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego. Podział materiału na frakcje i określenie grup mechanicznych zostało opracowane na podstawie ogólnie przyjętych ustaleń Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z roku 1973;

- analizę obróbki ziarna kwarcowego metodą graniformometrii mechanicznej B. Krygowskiego (1964). Analizie poddano frakcję piasku grubego (0,5–1,0 mm).

Otrzymane wyniki posłużyły do obliczenia wybranych wskaźników granulometrycznych i petrograficznych: przeciętnej średnicy ziarna (*GSS*), odchylenia standardowego (*GSO*), współczynnika asymetrii, czyli skośności (*GSK*), kurtozy graficznej (*GSP*) oraz geometrycznej powierzchni właściwej mineralnej części gleby.

### 3. WYNIKI

Wszystkie badane gleby zostały wykształcone w redeponowanych, poligenetycznych utworach piaszczystych, których akumulacja miała miejsce w plejstocenie i holocenie. Różnią się one jedynie wiekiem sedymentacji pierwotnej, która w zachodniej części transektu klimatycznego związana jest z późnym plejstoceniem, zaś w jego wschodniej części ze zlodowaceniem środkowopolskim (*Riss*) w Polsce oraz fazą dneprzańską zlodowacenia środkoworosyjskiego na Białorusi (ryc. 1). Genetycznie jest to materiał glacyjfluwalny teras dolinnych oraz form akumulacji tegoż materiału, np. sandrów (tab. 1). Fluwalny charakter osadów potwierdzają obliczone – na podstawie analizy składu mechanicznego – wskaźniki granulometryczne. Krzywe kumulatywne skonstruowane na siatkach prawdopodobieństwa Phi posiadają wyraźne odchylenie od rozkładu logarytm-normalnego, w kierunku silnie leptokurtycznego i leptokurtycznego (*GSP* 1,5–1,9). Jedynie przebieg krzywych powierzchniowych poziomów niektórych gleb na znacznym odcinku zbliżał się do linii prostej i posiadał rozkład leptokurtyczny o małym odchyleniu od mezokurtycznego (*GSP* 1,3–1,4). Wskazuje to na inten-



Ryc. 1. Czas zakończenia podstawowych procesów sedymentacyjnych (okres deglacjacji)  
Age of finishing of principal sedimentation processes (deglaciation age)

syfikację procesów eolicznych, a szczególnie deflacyjnych, jakie miały miejsce w okresach peryglacjalnych, charakteryzujących się procesami dezintegracji granularnej i wietrzenia kriogenicznego (ryc. 2). Wzrost udziału frakcji ilastej i pyłastej w powierzchniowych warstwach gleby zaobserwowano szczególnie na obszarach starych terasów dolinnych oraz powierzchniach sandrowych (np. stanowiska: K092, K098, B1, S126).

Wszystkie badane próby stanowią ubogie kwarcowe piaski luźne i słabogliniaste, średnio- i różnoziarniste, o wyraźnych cechach przesortowania oraz małej zawartości frakcji szkieletowej. Zawartość kwarcu w analizowanych glebach waha się od 78 do 98%, a skalenie stanowią 1–3% (tab. 2). Udział minerałów ciężkich wynosi zaledwie od 0,05% do 2,02%. Wśród nich dominują granaty, amfibole i cyrkon (tab. 3).

Przestrzenna zmienność składu mineralnego nie wykazuje wyraźnych prawidłowości, choć zaobserwowano pewne zjawiska wskazujące na różnice strukturalne. Mogą one wynikać z pierwotnej niejednorodności udziału poszczególnych minerałów w zróżnicowanych czasowo procesach sedymentacyjnych, jak również mogą być związane z długością procesów wietrzenia wewnątrzglebowego. Mimo tych zastrzeżeń należy podkreślić wzrost minerałów odpornych (np. granatu) na czynniki egzogeniczne wraz z wiekiem osadu w kierunku wschodnim i południowym (tab. 3). Można domniemywać, że w czasie transportu fluwialnego, jak i eolicznego, piaski traciły materiał mniej wytrzymały (głównie pirokseny i amfibole), czyli następowało względne wzbogacenie w składniki odporne mogące przetrwać nawet kilka cykli sedymentacji (jak np. granat).

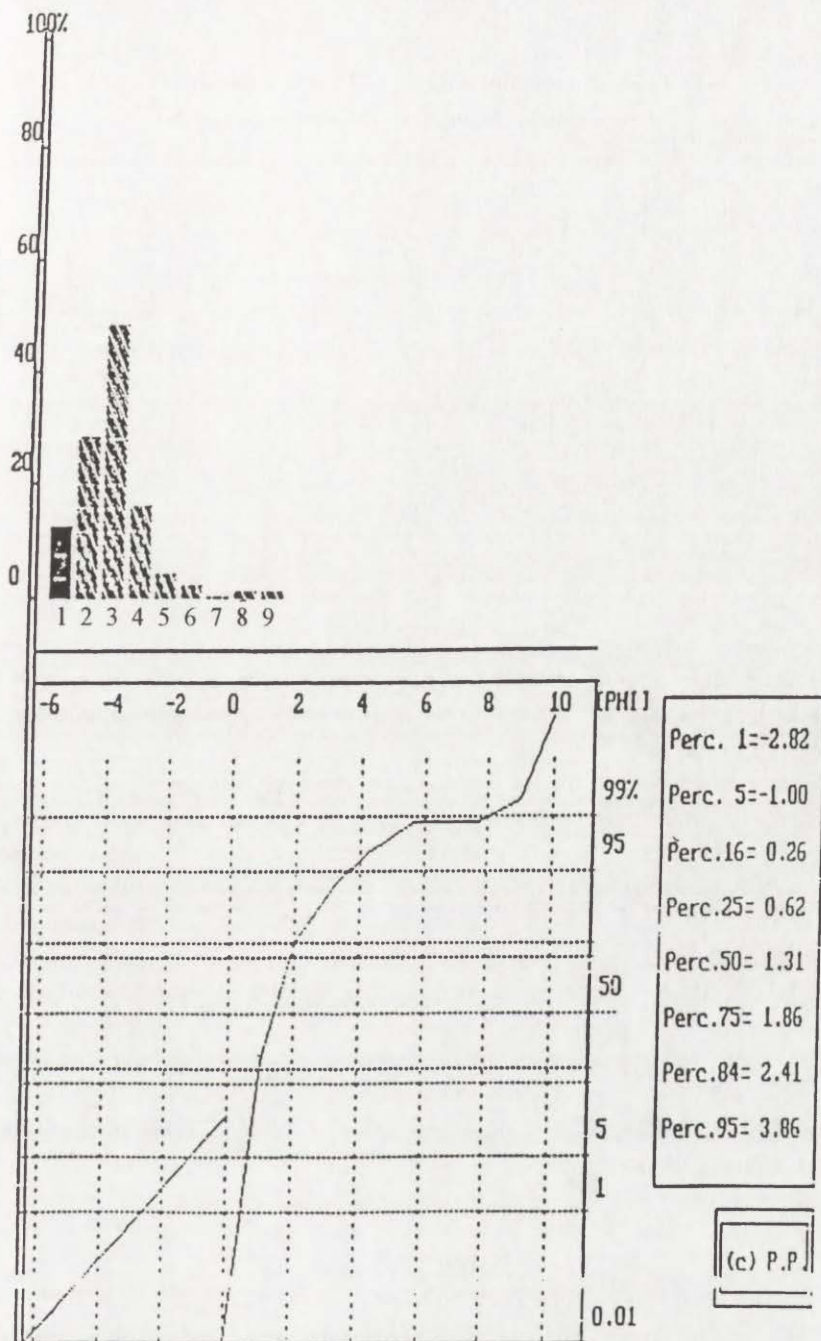
Położenie geograficzne powierzchni badań oraz charakterystyka geomorfologiczna  
Geographical location and geomorphological characteristic of study plots

Stano- wiska	Region	Materiał geologiczny	Forma terenu	Okres sedymentacji
N1	Kyritz-Ruppiner Heide	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	f. pomorska, zl. północnopolskie
K092	Kotlina Frelenwaldzka	piasek aluwialny	równina terasowa	f. pomorska, zl. północnopolskie/holocen
K098	Kotlina Gorzowska/Dolina Dolnej Noteci	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	sf. krajeńsko-wąbrzeska, f. pomorska
K061	Kotlina Gorzowska/Obornicka Dolina Warty	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	f. pomorska, zl. północnopolskie
K023	Kotlina Toruńska/Równina Bobrownicka	piasek aluwialny	równina terasowa	f. poznańska, zl. północnopolskie/holocen
K055	Pojezierze Dobrzyńskie	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	f. leszczyńska, zl. północnopolskie
K117	Równina Raciąska	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	degl. f. leszczyńskiej, zl. północnopolskie
K126	Dolina Dolnego Bugu	piasek glaciofluwialny	terasa wydymowa	degl. st. warciańskiego/holocen
KS011	Dolina Górnej Narwi	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	degl. f. Wkry, st. warciańskiego/holocen
B1	Dolina Szary	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie
B2	Dolina Sluczy	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie
B3	Równina Bobrujska	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie/holocen
B4	Dolina Środkowego Dniepru	piasek glaciofluwialny	równina morenowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie/holocen
B5	Dolina Sozy	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie/holocen
B6	Dolina Górnej Biesiedy	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie/holocen
B7	Dolina Górnej Biesiedy	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. Dnieprowskij, zl. środkoworosyjskie/holocen
S023	Podlaski przełom Bugu	piasek aluwialny	terasa nadzalewowa	degl. st. warciańskiego/holocen
S011	Dolina Białoobrzeska	piasek glaciofluwialny	terasa nadzalewowa	degl. st. warciańskiego/holocen
S002	Wzgórza Opoczyńskie	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	st. odrzański, zl. środkowopolskie
S060	Równina Janowska	piasek glaciofluwialny	równina sandrowa	st. odrzański, zl. środkowopolskie
S005	Równina Opolska/Dolina Małej Panwi	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. odrzański, zl. środkowopolskie
S028	Wyżyna Olkuska/Dolina Białej Przemszy	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. odrzański, zl. środkowopolskie
S126	Kotlina Raciborska	piasek glaciofluwialny	równina terasowa	st. odrzański, zl. środkowopolskie/holocen

Objaśnienie użytych skrótów: f. – faza, sf. – subfaza, st. – stadiał, zl. – zlodowacenie.

Charakterystyka sedymentacji opracowana na podstawie: Kondracki (1994), Pietruchow (1987), Różycki (1972), Sibirienko (1971).





Ryc. 2. Krzywa granulometryczna określona dla poziomu B gleby bielcowej powierzchni KS011 (perc. – percentyle)

Granulometric characteristics defined for research site KS011 (Browsk) – horizon B

1 > 1,00; 2 – 1,000–0,500; 3 – 0,500–0,250; 4 – 0,250–0,100; 5 – 0,100–0,050; 6 – 0,050–0,020; 7 – 0,020–0,005; 8 – 0,005–0,002; 9 < 0,002



Tabela 2

Skład mineralny frakcji 0,8–0,5 mm w % wag.  
 Mineral composition of 0,8–0,5 mm fraction (in %)

Stanowiska	Kwarc	Skaleń	Okruchy skał	Łyszczyki	Węgłany	Agregaty żelazisto-humusowe	Składniki organiczne i fragmenty roślinne	Antropogeny	Amfibol	Piroksen
K092	93	3	1	–	–	1	–	–	2	–
K023	95	2	2	–	–	+	1	–	–	–
K117	78	3	1	–	1	2	15	–	+	–
KS011	85	1	1	+	1	1	10	–	1	–
B3	98	+	2	–	–	–	–	–	–	–
B7	80	–	–	–	1	2	17	–	–	–
S002	85	–	4	–	1	–	10	–	–	–
S126	84	2	2	–	–	–	10	–	–	2

Z uwagi na bardzo ubogi materiał geologiczny, wykształciły się w tych warunkach siedliska oligotroficzne borów i borów mieszanych (Roo-Zielińska, Solon, w tym tomie – s. 79–97).

W przeszłości były to obszary wykarczowane i użytkowane rolniczo, na których następnie zaniechano produkcji rolniczej. Świadczą o tym widoczne w profilach poziomy płuźne. Należy podkreślić, że we wschodniej części transektu (szczególnie na stanowiskach białoruskich) poziom ten jest morfologicznie znacznie wyraźniejszy, gdyż obecny drzewostan jest pierwszym, wprowadzonym na grunty porolne.

Wpływ działalności człowieka na morfologię gleby zaobserwowano również na powierzchni badawczej S028 Klucze, położonej w okolicach Olkusza. Profil glebowy charakteryzuje się wyraźną dwudzielnością – starsza gleba została przykryta młodszymi osadami. Można domniemywać, że w wyniku wycięcia lasów osadzany tu był materiał deflacyjny z pobliskiej, oddalonej tylko około 5 km na zachód, Pustyni Błędowskiej.

#### 4. PODSUMOWANIE

1. Wszystkie badane gleby zostały wykształcone w redeponowanych, poligenetycznych utworach piaszczystych, których akumulacja miała miejsce w plejstocenie i holocenie.

2. Różny wiek sedymentacji oraz długość okresu procesów dezintegracji materiału geologicznego i typ wietrzenia mogły być jedną z przyczyn zróżnicowania składu mineralogicznego badanych gleb. Nastąpiło względne wzbogacenie

Tabela 3

Skład mineralny frakcji ciężkiej (0,2–0,6 mm) w % wag.  
Mineral composition of (0,2–0,6 mm) heavy fraction (in %)

Sianowiska	% wagowe	Minerały nieprzezroczyste w %	Węglały w %	Minerały przezroczyste w %	Minerały przezroczyste (suma 100%)														N	S	O	$\frac{O}{N+S}$	$\frac{N}{O}$	$\frac{S}{O}$	$\frac{N}{S}$		
					amfibole	andaluzyt	apatyt	biotyt	chloryt	cyrkon	dysten	epidoty	granaty	pirokseny	rutyl	staurolit	syylimanit	topaz								turmalin	tytanit
K092	2,02	20,4	1,8	77,8	28,2	0,7	–	–	0,3	2,0	4,1	13,9	38,6	4,4	–	1,4	0,3	0,3	5,1	0,7	32,6	53,1	14,3	1,2	2,3	3,7	0,6
K023	0,05	15,3	0,5	84,2	46,6	0,3	–	1,9	1,6	3,8	1,6	13,4	14,6	10,2	0,3	0,6	0,3	–	4,5	0,3	56,8	31,8	11,4	0,1	5,0	2,8	1,8
K117	1,36	20,4	1,8	77,8	27,6	–	–	0,4	0,4	4,5	0,8	19,8	31,8	4,5	0,4	1,1	0,4	–	7,2	1,1	32,1	52,8	15,1	0,2	2,1	3,5	0,6
KS011	0,75	5,3	1,5	93,2	49,0	0,3	0,3	1,3	2,5	1,0	0,6	9,9	15,9	12,5	0,3	–	–	0,3	5,1	1,0	61,5	29,9	8,6	0,1	7,2	3,5	2,1
B3	0,56	13,2	1,5	85,3	17,0	1,1	–	0,4	0,7	2,9	1,1	15,5	50,5	1,1	–	2,5	–	0,7	6,1	0,4	18,1	67,1	14,8	0,2	1,2	4,5	0,3
B7	0,25	9,3	0,9	89,8	2,4	0,3	–	–	–	3,5	0,3	11,1	72,7	4,2	0,3	2,1	–	–	3,1	–	6,6	83,8	9,6	0,1	0,7	8,7	0,1
S002	0,73	8,4	8,7	82,9	4,9	1,1	–	0,7	–	3,0	0,7	13,8	53,3	4,9	0,7	2,6	0,7	3,0	10,6	–	9,8	68,5	21,7	1,3	0,4	3,2	0,1
S126	0,38	21,6	3,8	74,6	16,2	2,9	–	1,9	1,6	4,5	1,3	19,6	29,0	6,7	2,9	1,9	–	1,3	8,9	1,3	22,9	52,1	25,0	0,3	0,9	2,1	0,4

substratu gleb wschodniej części transektu klimatycznego i transektu „śląskiego” w składniki odporne, jak np. w granat.

3. Wszystkie badane próby stanowiły ubogie piaski luźne i słabogliniaste, średnio- i różnoziarniste, o wyraźnych cechach przesortowania oraz małej zawartości części szkieletowych, genetycznie związane z sedymentacją glacyjfluwalną.

4. W większości profili stwierdzono istnienie poziomów płuźnych, najlepiej zachowanych na obszarze Białorusi, gdzie obecny drzewostan jest pierwszym wprowadzonym na grunty porolne.

## LITERATURA

- A d a m c z y k B., 1965, *Studia nad kształtowaniem się związków pomiędzy podłożem skalnym a glebą*, Acta Agraria et Silvestria, Ser. Leśna, 5, 3–60.
- Atlas Deutschland im Europa, 1995, RV Verlag, 178.
- B i a ł o u s z S., 1978, *Wpływ morfogenezy Pojezierza Mazurskiego na kształtowanie się gleb*, Roczn. Nauk Rol., Seria D – Monografie, 166, 87–128.
- B r e y m e y e r A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.
- B r e y m e y e r A., D e g ó r s k i M., R o o - Z i e l i Ń s k a E., S o l o n J., Ś m i a ł k o w s k i J., 1995, *Biodiversity and matter cycling in forest ecosystems in the gradient of air pollution in Poland; results of introductory research*, [w:] P. Paschalis, K. Rykowski, S. Zajączkowski (red.), *Protection of forest ecosystems biodiversity of Białowieża primeval forest*, Warszawa, 175–191.
- B u o l S. W., H o l e F. D., M c C r a c k e n R. J., 1989, *Soil genesis and classification*, Iowa State University Press, Ames, 446.
- D e g ó r s k i M., 1990, *Warunki siedliskowe kateny ekosystemów leśnych na Wysoczyźnie Rawskiej (ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki wodno-troficznych właściwości gleb)*, Dokum. Geogr., 5–6, 206.
- 1995, *Zróżnicowanie morfolitogeniczne gleb bielocziemnych wschodniej i północnoeuropejskiej krainy glebowej*, Człowiek a środowisko, 44 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Toruń, 43–46.
- D e m i e t j e w W., R o m a n o w s k i N., 1977, *Geografia Białorusi*, Wysz. Szkl. Mińsk, 319.
- K o n d r a c k i J., 1994, *Geografia Polski, mezoregiony fizycznogeograficzne*, PWN, Warszawa, 340.
- K o w a ł k o w s k i A., T r u s z k o w s k a R., B o r z y s z k o w s k i J., 1994, *Mapa regionów morfogenetyczno-glebowych Polski*, Prace Komisji Naukowych Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego 119, Komisja BIGLEB VIII/17, Warszawa, 1–27.
- K r y g o w s k i B., 1964, *Graniformmetria mechaniczna*, Prace Komisji Geogr.-Geol. PTPN, 2, 4, 112, Poznań.
- J e n n y H., 1983, *The soil resource. Origin and behavior*, New York, Heidelberg, Berlin, 1–377.
- P i e t u c h o w N., 1987, *Geochemia poczw Białoruskiej SSR*, Nauka i Technika, Mińsk.
- R a c i n o w s k i R., 1995, *Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski*, [w:] E. Mycińska-Dowgiąłło, Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych*, Warszawa, 151–166.
- R ó Ź y c k i S., 1972, *Plejstocen Polski środkowej na tle przeszłości w górnym trzeciorzędzie*, PWN, Warszawa.



- Siborienko A., 1971, *Geologia SSSR, Białoruskaja SSR*, T. 3, Ministerstwo Geologii SSSR, Moskwa, 453.
- Systematyka gleb Polski 1989*, Roczn. Gleb., 40, 3–4, Warszawa, 148.
- Waga J., 1994, *Rzeźba eoliczna na obszarze wschodniej części Niecki Kozielskiej*, Scripta Rudensia 2, Rudy Wielkie, 130.

## A MORPHOLITHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF PINE FOREST AND MIXED PINE FOREST HABITATS ALONG A CLIMATIC TRANSECT (52°N, 12–32°E) AND A “SILESIA” TRANSECT

### S u m m a r y

Knowledge of soil-substratum characteristics, genesis and properties is an important element in habitat assessment, especially in the pine-forest ecosystems occurring naturally on light geological material, i. e. sands. Here a significant influence on soil properties may be exerted by even minor absolute changes in the floatable fraction within the mechanical composition of sands, or in their mineralogical composition (Adamczyk 1965; Białousz 1978; Boul, Hole, McCracken 1989; Degórski 1990).

The aim of the study was thus:

- to classify the soils studied in terms of their genesis,
- to determine the geological origin of the soil substratum,
- to define the linkage between geomorphogenesis and the lithological and petrographic properties of the substratum, as well as their influence on trophic properties of habitats.

The study began with analysis of the geographical environment as regards homogeneity of sedimentation, geomorphology and lithology. Geomorphological analysis of the areas in which 23 permanent study sites had been established was followed by the digging at each of soil pits and bores to a depth of 2.5 m. The different genetic horizons to each profile were then identified, with cartographic sketches being produced using the squares method. Soil taxonomy followed *Systematyka gleb Polski (1989)*. Lithological samples were taken from each soil horizon with a view to characterizing the substratum by analyzing:

- petrography, on the basis of four fractions corresponding to grain dimensions 0.8–0.5, 0.5–0.3, 0.3–0.2 and 0.2–0.06 mm, with mineral and lithological composition being determined. [Heavy minerals were separated from the 0.2–0.06 mm fraction using bromoform; mineral composition was presented as the sum of resistant, moderately resistant and non-resistant minerals];
- mechanical composition, by sieving as well as Casagrande and Prószyński's modification of Bouyoucos's aerometric method. [Material was divided into fractions and mechanical groups defined on the basis of the generally-accepted guidelines of the Polish Soil Science Association (1973)];
- analysis of quartz grain abrasion using the mechanical graniformametry method of B. Krygowski (1964) in relation to the 0.5–1.0 mm coarse-sand fraction.

Findings were as follows:

1. All the soils studied were shaped in redeposited polygenetic sandy formations whose accumulation took place in the Pleistocene and Holocene.
2. Different ages of sedimentation, lengths of processes of disintegration of geological material and types of weathering may in part account for the observed differences in mineralogical composition. There has been a relative enrichment – in resistant components like granite – of the soil substratum of the eastern part of the climatic transect and the „Silesian” transect.
3. All the samples taken were of loose and coarse sands, medium- or variously-grained,



with clear features of resorting, limited skeletal content and a genetic association with glacio-fluvial sedimentation.

4. Most of the profiles showed ploughing levels, with these being best-preserved in Belarus, where the present stand is the first introduced on formerly agricultural land.

Author's adress:

Marek Degórski  
Zakład Geoekologii  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

MAREK DEGÓRSKI

ZRÓŻNICOWANIE FIZYKOCHEMICZNYCH  
WŁAŚCIWOŚCI GLEB SIEDLISK BORÓW  
I BORÓW MIESZANYCH NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH:  
KLIMATYCZNYM (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) I „ŚLĄSKIM”

1. WSTĘP

Ekosystemy borów sosnowych ściśle związane z glebami bielicoziemnymi należą do formacji zonalnych w naszych szerokościach geograficznych. Potencjalnie w Polsce naturalne zbiorowiska roślinne lasów szpilkowych (klasa *Vaccinio-Piceetea*) zajmują około 25,3% powierzchni kraju (Matuszkiewicz 1991). Podobny procent kraju stanowią gleby bielicoziemne (Prusinkiewicz i in. 1980). Jeszcze wyższa koncentracja gleb bielicoziemnych występuje w warunkach Niziu Środkowoeuropejskiego, a w Polsce na obszarze Nizin Środkowopolskich będących częścią europejskiego pasa nizin, gdzie wynosi ona 39,7%. Związane jest to z mnogością form akumulacji materiału glacjofluwialnego, którego skład mechaniczny (piaski) predysponuje go jako substrat gleb bielicoziemnych (Bednarek, Prusinkiewicz 1980; Głazowska 1981; Degórski 1985, 1990).

Wszystkie analizowane gleby wykształcone zostały w ubogich kwarcowych piaskach glacjofluwialnych (Degórski, w tym tomie – s. 31–40), tworząc siedliska borów i borów mieszanych (Roo-Zielińska, Solon 1997).

Celem niniejszego opracowania jest diagnoza typologiczna badanych gleb, określenie zróżnicowania przestrzennego (poziomego), jak i profilowego (pionowego) wybranych właściwości fizykochemicznych gleb, oraz ocena zawartości metali ciężkich i pierwiastków śladowych.

2. METODY

Wykonano bazowe odkrywki glebowe oraz wkopy diagnostyczne. Punktem wyjścia do badań pedologicznych była diagnoza poszczególnych poziomów genetycznych w 22 profilach glebowych na dwóch transektach badawczych. W analizie stratygrafii poszczególnych profili zwrócono szczególną uwagę na

diagnostyczne poziomy *albic*, *spodic*, *sideric*, wyodrębnienie których (na podstawie cech morfologicznych) było podstawą taksonomii badanych gleb. Przeprowadzono ją zgodnie z *Systematyką gleb Polski (1989)*, natomiast próchnicy nadkładowej na podstawie klasyfikacji Prusinkiewicza (1975). W każdym profilu z poszczególnych poziomów genetycznych pobrano materiał glebowy (po 10 prób mieszanych), który posłużył do analitycznych prac laboratoryjnych. Prace te objęły dotychczas tylko polską część transektów. Prezentowana w niniejszej pracy charakterystyka chemiczna dotyczy zatem 15 powierzchni badawczych położonych w naszym kraju. Stanowiska niemieckie i białoruskie stanowią będą oddzielne opracowanie, które wymaga jeszcze prac analitycznych.

Wykonano następujące oznaczenia:

- składu frakcjonowanego próchnicy na kontakcie strefy organicznej z mineralno-organiczną – metodą ekstrakcji i frakcjonowania związków próchnicznych Duchaufoura i Jacquin (1966); rozdzielenie na frakcję lekką (wolną) i ciężką (związaną) przez dekantację (z użyciem roztworu pirofosforanu sodu) przeprowadzono zgodnie z metodą Monnier (1962);

- gęstości objętościowej (*Go*) w próbkach o nienaruszonej strukturze pobranych do stalowych pierścieni o objętości 100 cm<sup>2</sup>;

- gęstości właściwej (*Gw*), piknometrycznie;

- odczynu gleby (pH H<sub>2</sub>O), potencjometrycznie;

- wilgotności gleby (*W*) – metodą suszarkowo-wagową;

- węgla organicznego (*C*) – zmodyfikowaną metodą Tiurina;

- azotu ogólnego (*N*) – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla;

- fosforu przyswajalnego (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – metodą Egnera w modyfikacji Rhielma;

- kationów wymiennych (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) – metodą adsorpcji atomowej (stosując jako roztwór wypierający 1 normalny octan amonu);

- wymiennego wodoru, glinu i kwasowości wymiennej (*Hw*) – metodą Sokółowa;

- kwasowości hydrolitycznej (*Hh*) – metodą Kappena.

Na podstawie otrzymanych wyników analitycznych obliczono:

- porowatość ogólną (*Po*) – jako  $(Gw - Go) : Gw \times 100\%$ ;

- sumę zasadowych kationów wymiennych (*S*) – jako sumę Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>;

- pojemność kompleksu sorpcyjnego (*T*) – jako  $Hh + S$ ;

- stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym (*V*) – jako  $S : T \times 100\%$ .

Oznaczono ponadto pierwiastki śladowe i metale ciężkie: Zn, Mn, Fe, Pb, Ni, Cr, Cu (Gworek, Degórski 1997). Analizy wykonano w wyciągu 20% HCl, po uprzednim spaleniu substancji organicznej w temperaturze 480°C. W tak otrzymanych mineralizatach wymienione pierwiastki oznaczono techniką ASA. Na podstawie otrzymanych wyników, dla wszystkich poziomów mineralno-próchnicznych (A), eluwalnych (E) i iluwalnych (B) obliczono wskaźnik akumulacji, jako miarę wzbogacenia ich w wyżej wymienione elementy. Wskaźnik akumu-

lacji liczony jest jako stosunek zawartości danego elementu w poziomie genetycznym i skale macierzystej, sugerując jego egzogeniczne pochodzenie w poziomach powierzchniowych gleby (Gworek 1985).

Dla określenia podobieństwa pomiędzy rozkładem określonych cech glebowych otrzymane wyniki opracowano metodami analizy wielocехowej oraz analizy korelacji i regresji. Jako miarę odległości systematycznej użyto odstępu Euklidesa i jego kwadratu przy standaryzowanych wartościach cech. W celu ordynacji i klasyfikacji zbioru zastosowano analizę skupień metodą średniej więzi (UPGMA) i metodą Warda. Do obliczeń statystycznych wykorzystano pakiet programów TYTAN 87, Quatro-Pro oraz Harvard Graphics.

### 3. WYNIKI

#### 3.1. CHARAKTERYSTYKA FIZYKOCHEMICZNA GLEB

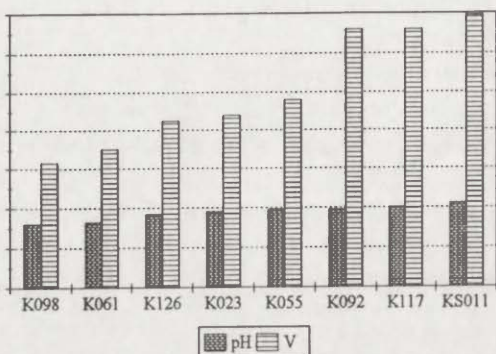
Wyniki analizy składu petrograficznego wykazały, że badane gleby buduje głównie kwarc, a udział minerałów ciężkich jest niewielki (Degórski w tym tomie – s. 31–40). Dominujący udział kwarcu wpływa na gęstość właściwą badanych gleb. Wartości gęstości właściwej wahają się od 2,00 do 2,74 g/cm<sup>3</sup> i wzrastają w głąb profili. Ze wzrostem głębokości wzrasta również gęstość objętościowa od 1,00 g/cm<sup>3</sup> w poziomach mineralno-próchnicznych do 1,79 g/cm<sup>3</sup> w cięższym materiale skał macierzystych. O kierunku zmian gęstości objętościowej we wszystkich profilach decyduje rozkład korzeni i substancji organicznej. Korzenienie się roślin oraz koncentracja substancji organicznej w górnej części profili powoduje luźniejsze ułożenie frakcji substratu. Zależność ta znajduje w pełni odzwierciedlenie w profilowym rozkładzie porowatości. Trzeba jednak zaznaczyć, że wszystkie badane gleby charakteryzują się wysoką porowatością (40–60%), co sprawia, że warunki wodno-powietrzne gleb nie sprzyjają rozwojowi roślinności.

Wszystkie analizowane profile charakteryzują się bardzo kwaśnym odczynem, pH H<sub>2</sub>O, które dla poziomów mineralno-próchnicznych wynosi od 3,0 do 4,5, wskazując na odczyn bardzo kwaśny, a stopień jego zróżnicowania odpowiada typowi danej gleby. W głębszych częściach profili odczyn wzrasta do średnio kwaśnego (pH do 5,5).

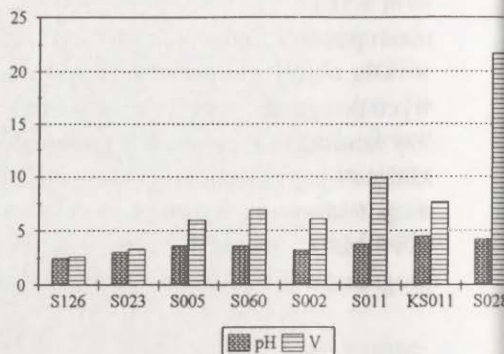
Podobnie jak odczyn, również inne analizowane właściwości chemiczne wskazują na niską troficzność badanych gleb (ryc. 1). Suma kationów wymiennych (V) wynosi średnio 0,5 me w 100 g gleby poziomów mineralno-próchnicznych. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym jest bardzo niski i wynosi od około kilku procent w poziomach mineralno-próchnicznych do około 25 procent w skale macierzystej (ryc. 2). Wszystkie badane gleby charakteryzują się również bardzo szerokim stosunkiem węgla organicznego (C) do azotu ogółem (N). Relacja C:N w poziomach mineralno-próchnicznych osiąga wartości od około 14 do 53, co wskazuje na bardzo słabą aktywność biologiczną gleb oraz powolne procesy humifikacji i mineralizacji (ryc. 3).



Transekt klimatyczny



Transekt "śląski"



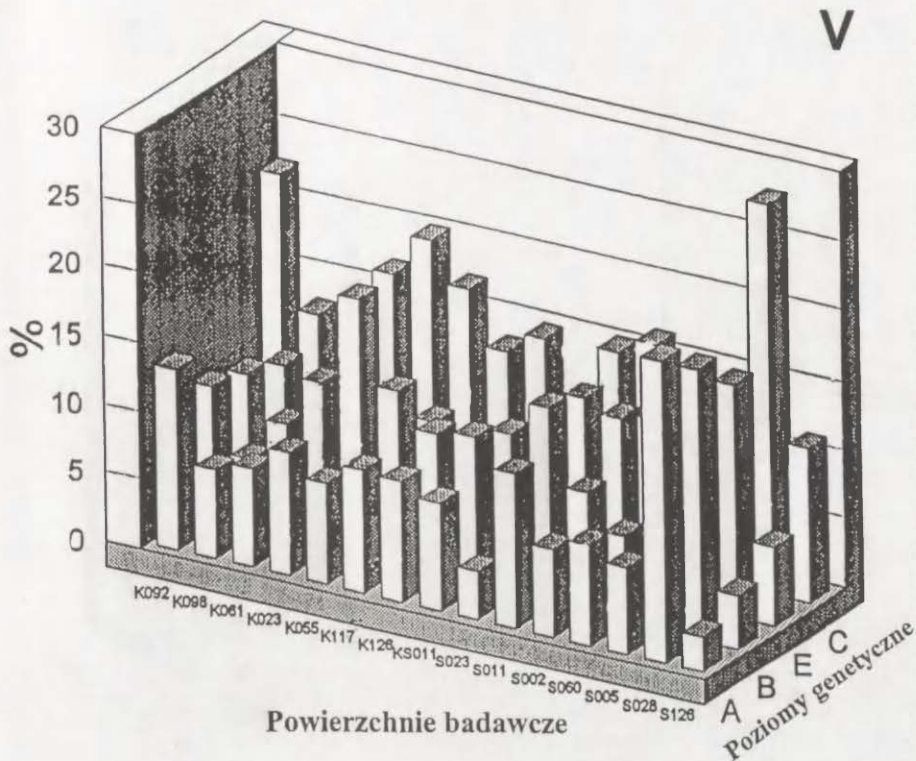
Ryc. 1. Porównanie między odczynem badanych gleb (pH H<sub>2</sub>O) a stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym (V) w poziomach mineralno-próchnicznych

Comparison between soil reaction (pH H<sub>2</sub>O) and degree of base saturation (V) in mineral-organic horizon

Analiza substancji organicznej wskazuje również na oligotroficzność badanych siedlisk, powolne procesy humifikacyjne (Degórski 1994a, b, 1995a, b; Jefremow, Degórski w tym tomie – s. 63–77). We wszystkich spośród badanych gleb stosunek kwasów huminowych do fulwowych jest mniejszy od jedności, co w klasyfikacji Kononowej (1968) odpowiada pierwszemu typowi próchnicy, charakteryzującemu się niewielkim stopniem kondensacji pierścieni aromatycznych (Jefremow, Degórski, w tym tomie – s. 63–77).

Wszystkie spośród badanych gleb należą do klasy gleb bielicoziemnych (Spodosols). Cechy morfologiczne, na podstawie których dokonana została wstępna diagnoza poziomów wyróżniających (*albic*, *spodic*, *sideric*) potwierdzone zostały przez kryteria chemiczne. Pozwalają one zaklasyfikować badane gleby do trzech podtypów: gleb bielicowych, bielicowo-rdzawych i rdzawych bielicowanych. Na podstawie analizy statystycznej badane gleby można podzielić na trzy istotnie różniące się podgrupy (ryc. 4, 5). Warto podkreślić, że grupy te związane są z typem genetycznym gleby (bielicowa, bielicowo-rdzawa i rdzawa-bielicowana), typem próchnicy nadkładowej (mor, moder/mor, mor/moder) oraz średnimi charakterystykami właściwości fizykochemicznych gleb (tab. 1).

– Grupa pierwsza (powierzchnie K098, K061, K023, S126, S005, S023) obejmuje gleby bielicowe charakteryzujące się bardzo dobrze wykształconymi poziomami diagnostycznymi *albic* i *spodic*, o próchnicy typu mor. Gleby te są najkwaśniejsze (pH 3,0–3,5), charakteryzujące się najniższym tempem mineralizacji i humifikacji (największa miąższość próchnicy nadkładowej, najszerzy stosunek Ch:Cf – kwasów huminowych do fulwowych). Wykształcone są one w materiale geologicznym mającym cechy procesów deflacyjnych.



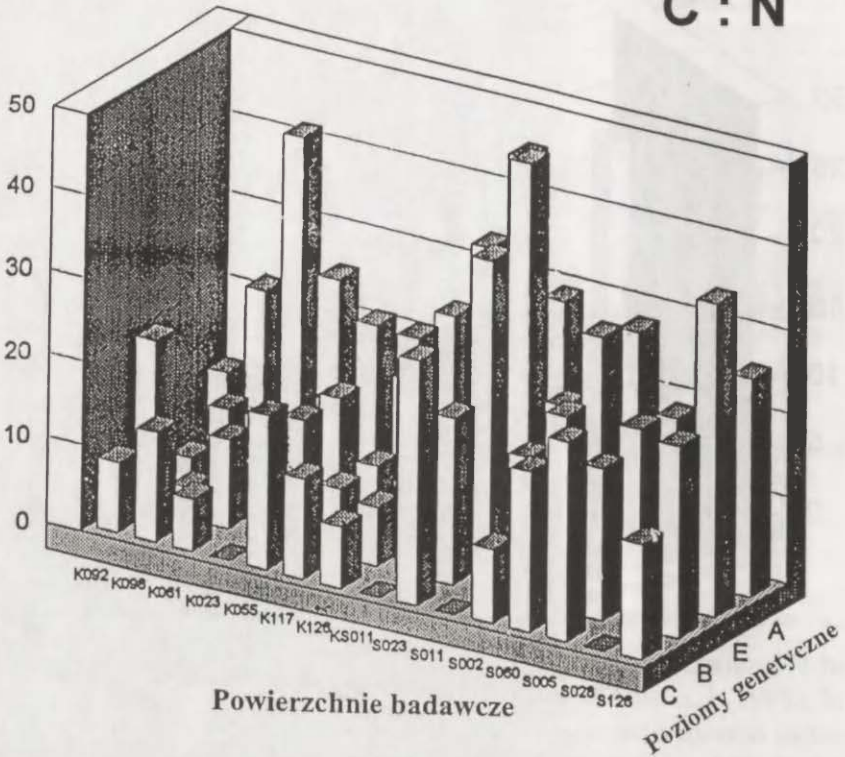
Ryc. 2. Stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym (V), określonym dla wszystkich poziomów genetycznych badanych gleb (A, E, B, C) i profili

Degree of base saturation (V) determined for all studied soil horizons and profiles

– Grupa druga (powierzchnie K092, K117, KS011, S060, S002) to gleby bielcowo-rdzawe, o próchnicy typu moder/moder charakteryzującej się mniejszą miąższością. Huminy w poziomie mineralno-próchnicznym stanowią około 7%, a stosunek Ch do Cf wynosi około 0,5. Gleby te charakteryzują się również lepszymi właściwościami sorpcyjnymi oraz troficznością.

– Grupa trzecia (powierzchnie K126, K055, S028) to gleby rdzawe bielcowane o słabo zaznaczonym procesie wymywania (brak wyraźnego poziomu eluwalnego), z próchnicą nadkładową typu mor/moder lub moder o jej najmniejszej miąższości, charakteryzującej się najwyższym tempem mineralizacji i humifikacji związków organicznych (najwyższy stosunek C:N). Mała zawartość węgla oraz wysoki stopień humifikacji, a w związku z tym większa zawartość humin i kwasów huminowych (najwyższy stosunek Ch:Cf), wskazuje na gleby ze znacznie posuniętą ewolucją materii organicznej. Również właściwości sorpcyjne tej grupy gleb są najlepsze spośród wszystkich badanych. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi wynosi od kilkunastu procent w po-

C : N



Ryc. 3. Stosunek węgla (C) do azotu ogółem (N) we wszystkich poziomach genetycznych (A, E, B, C) i profilach

Carbon (C) and nitrogen (N) ratio determined for all studied soil horizons and profiles

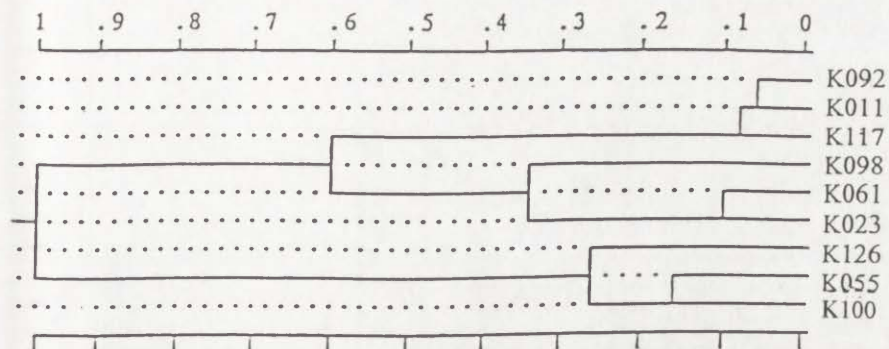
Tabela 1

Średnie wartości wybranych charakterystyk trzech grup gleb  
Mean values for selected characteristic of defined three groups of soils

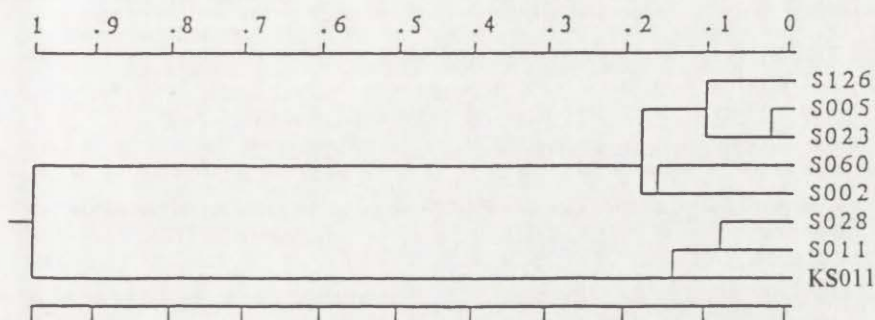
Stanowiska	Grupa I K098, K061, K023	Grupa II K092, K117, KS011	Grupa III K126, K055
Mięszkość poziomu 0 (cm)	8,5	7,5	6,0
Mięszkość poziomu A (cm)	4,0	8,5	2,0
Typ próchnicy	moder/modr	modr/moder	moder
Typ gleby	bielicowa	bielicowo-rdzawa	rdzawa
pH w poziomie A	3,90	4,02	4,05
Węgiel ogółem C (%)	8,40	5,90	7,10
Huminy	8,25	10,37	10,19
Ch:Cf	0,41	0,36	0,34
Stopień humifikacji	18,08	23,37	23,80



A



B



Ryc. 4. Dendrogram podobieństwa wybranych właściwości badanych gleb na dwu transektach

a – związanym z gradientem kontynentalizmu, b – rozkładem zanieczyszczeń

Dendrogram of similarity the selected properties of the two studied transects

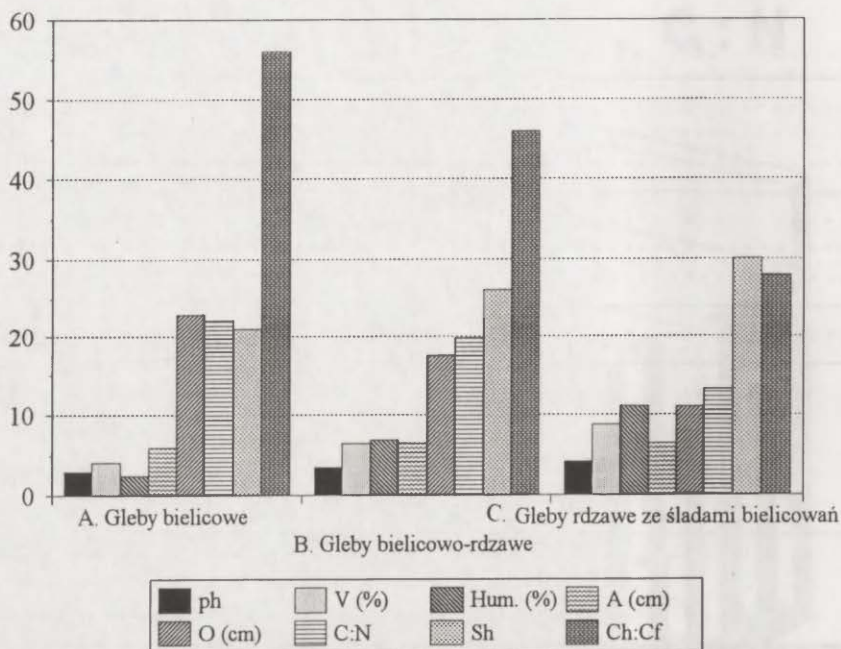
a – climatic transect, b – "Silesian" transect

ziomach mineralno-próchnicznych do około 30% w skałach macierzystych, a odczyn (pH) waha się od około 4 do 4,5 w poziomach mineralno-próchnicznych (ryc. 5).

### 3.2. ROZKŁAD METALI CIĘŻKICH I PIERWIĄTKÓW ŚLADOWYCH

Na podstawie analizy statystycznej otrzymanych wyników nie stwierdzono istotnych prawidłowości co do przestrzennego zróżnicowania zawartości metali ciężkich w glebach na dwóch transektach. Jedyne różnice, jakie zaobserwowano, sprowadzają się do układów regionalnych. Wzrost zanieczyszczenia gleb jakimś określonym pierwiastkiem spowodowany jest najczęściej lokalnym źródłem emisji zanieczyszczeń. Doskonałym tego przykładem jest rozkład przestrzenny zawartości ołowiu w glebach dwu transektów (ryc. 6). Najwyższy poziom ołowiu





Ryc. 5. Wybrane fizykochemiczne właściwości mineralno-organicznych poziomów badanych gleb określone dla wydzielonych grup

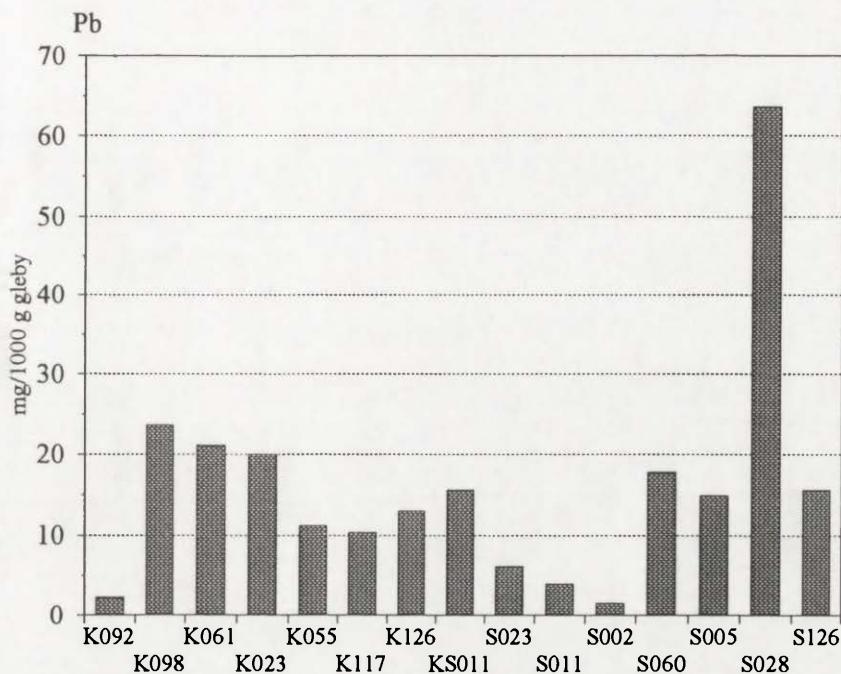
pH – odczyn gleby, V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleb kationami o charakterze zasadowym, Hum – zawartość humin, A – miąższość poziomu akumulacyjno-próchnicznego, O – miąższość poziomu próchnicy nadkładowej, SH – stopień humifikacji w %, Ch:Cf – stosunek kwasów huminowych do fulwowych

Some physical and chemical properties of organic-mineral horizons defined for groups (A – podzolic soils, B – podzolic-rusty soils, C – rusty soils)

pH – reaction, V – degree of base saturation, Hum – content of humines, A – thickness of organic-mineral horizon, O – thickness of organic horizon, SH – degree of humification, Ch:Cf – humic and fulvic acids ratio

w badanych glebach stwierdzono na powierzchni S028 Klucze koło Olkusza, regionie, który jest historycznie i współcześnie miejscem wydobywania i wytopu rud cynku i ołowiu. Zawartość ołowiu na pozostałych stanowiskach nawiązuje również do lokalizacji przemysłowych.

Określony dla wszystkich badanych gleb wskaźnik akumulacji potwierdza prawidłowości rozkładu przestrzennego zawartości metali ciężkich i pierwiastków śladowych w profilach. Jest on także zgodny z wynikami bioindykacji zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi wykonanej w częściach nadziemnych borówki i igłach sosny (Degórski, Gworek 1997). Najwyższa koncentracja metali ciężkich występuje w poziomach próchnicy nadkładowej (O) i akumulacyjno-próchnicznych (A) badanych gleb. Najwyższą wartość wskaźnik akumulacji osiąga w przypadku ołowiu (do około 15-krotnie wyższej zawartości tego pierwiastka w poziomie akumulacyjno-próchnicznym) i manganu (do około 8-krot-



Ryc. 6. Rozkład przestrzenny zawartości ołowiu we wszystkich badanych glebach (poziom mineralno-próchniczny)

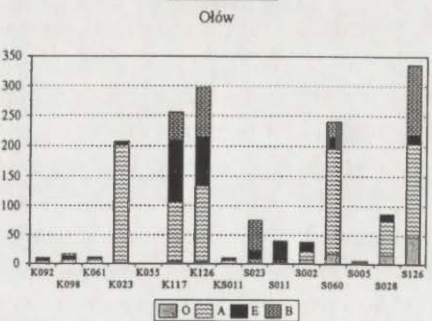
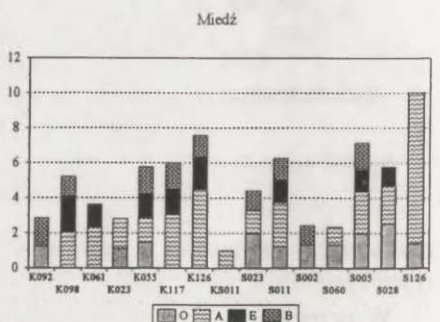
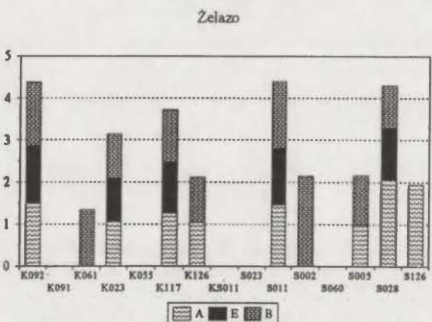
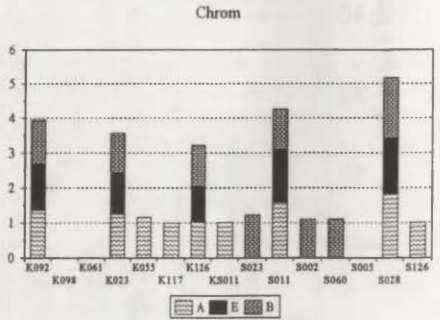
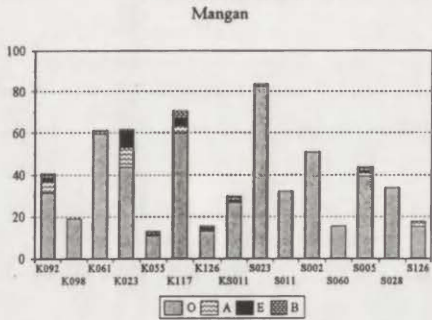
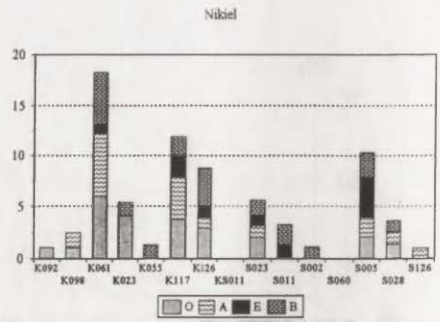
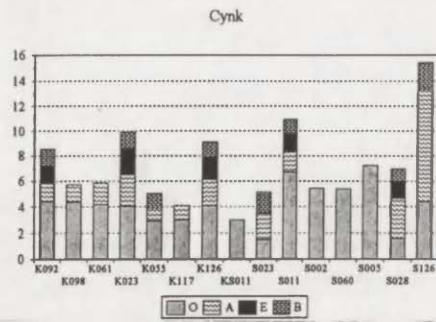
Spatial variability of lead content defined for studied soils (organic-mineral horizon)

nie wyższej zawartości tego pierwiastka w poziomach próchnicy nadkładowej) (ryc. 7).

W przeciwieństwie do rozkładu przestrzennego zawartości metali ciężkich, ich koncentracja w górnych poziomach gleb, w stosunku do tła geochemicznego skały macierzystej, wykazuje pewne prawidłowości geograficzne. Zawartość cynku jest wyraźnie wyższa na Górnym Śląsku, co jest związane z koncentracją przemysłu w tym regionie, a zawartość niklu, żelaza i chromu wyraźnie zwiększa się w poziomach mineralno-próchnicznych Polski Zachodniej. Wyższa zawartość tych trzech elementów w glebach zachodniej części kraju wskazywać może na transfer zanieczyszczeń z Europy Zachodniej, który ewidentnie oddziałuje na stan zanieczyszczeń gleb tej części kraju. Taka prawidłowość jest zgodna z dominującymi kierunkami wiatrów w Polsce (zachodnie i północno-zachodnie).

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że cechy morfologiczne, jak i właściwości fizykochemiczne pozwalają zakwalifikować wszystkie spośród badanych gleb do klasy bielicoziemnych, wskazując jednocześnie na istotne statystycznie różnice wartości cech wśród analizowanych profili.



Ryc. 7. Wartość wskaźnika akumulacji wybranych metali ciężkich i pierwiastków śladowych (Zn, Ni, Mn, Cr, Fe, Cu, Pb) określona dla mineralno-próchnicznych (A), eluwalnych (E) i iluwalnych (B) poziomów genetycznych gleb oraz wszystkich powierzchni badawczych

Accumulation indices for some chemical elements (Zn, Ni, Mn, Cr, Fe, Cu, Pb) in organic-mineral horizon (A), eluvial horizon (E) and eluvial horizon (B) along both of transects



Wyróżniono:

- gleby biellicowe, z próchnicą typu mor, odczynem bardzo kwaśnym, z bardzo dobrze wykształconymi poziomami diagnostycznymi *albic* i *spodic*, najszerzym stosunkiem C:N i najgorszymi właściwościami sorpcyjnymi,
- gleby biellicowo-rdzawe, z próchnicą typu moder/mor, odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym,
- gleby rdzawe, z oznakami procesów biellicowania, mające próchnicę typu mor/moder lub moder, kwaśne, o najwyższym stosunku C:N, najlepszych właściwościach sorpcyjnych, w porównaniu z pozostałymi badanymi glebami.

Z przyjętą taksonomią badanych gleb koresponduje rozkład pozostałych badanych właściwości gleb, zarówno fizycznych, jak na przykład porowatości, czy chemicznych, jak na przykład właściwości sorpcyjnych.

Zawartość metali ciężkich w badanych glebach nie wykazuje prawidłowości wielkoprzestrzennych. Zaobserwowana koncentracja niektórych metali ciężkich i pierwiastków śladowych w profilach ma raczej charakter regionalny, nawiązujący do lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń.

#### LITERATURA

- Bednarek R., Prusinkiewicz Z., 1980, *Geografia gleb*, PWN, Warszawa, 243.
- Breymeyer A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, *Environmental Pollution*, 98, 335–345.
- Breymeyer A., Degórski M., Roo-Zielińska E., Solon J., Smiałkowski J., 1995, *Biodiversity and matter cycling in forest ecosystems in the gradient of air pollution in Poland; results of introductory research*, [w:] P. Paschalis, K. Rykowski, S. Zajączkowski (red.), *Protection of forest ecosystems biodiversity of Białowieża primeval forest*, Warsaw, 175–191.
- Degórski M., 1985, *Connection between geomorphology and vegetation in glacial valley on the example of Pisia Valley in Central Poland*, *Coll. phytosoc.*, 13, *Vegetation et Geomorph.*, Bailleul, 447–460.
- 1990, *Warunki siedliskowe kateny ekosystemów leśnych na Wysoczyźnie Rawskiej, ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki wodno-troficznych właściwości gleb*, *Dokum. Geogr.*, 5–6, 206.
  - 1994a, *Characterization of soils on research transect associated with Poland's (West-East) climatic gradient*, Raport, IGiPZ PAN, Warszawa.
  - 1994b, *Charakterystyka gleb na transektach badawczych związanych z gradientem zanieczyszczeń w Polsce na linii południowy-zachód, północny-wschód*, [w:] *Bioróżnorodność i krążenie materii w ekosystemach leśnych ustawionych w gradiencie zanieczyszczenia powietrza na obszarze Polski*, Raport, IGiPZ PAN, Warszawa.
  - 1995a, *Some aspects of soil conditions on a research transect connected with distribution of pollution in Poland*, [w:] *Preliminary studies of polluted forest ecosystems in Poland (from Upper Silesia to Białowieża)*, Raport, IGiPZ PAN, Warszawa.
  - 1995b, *Differentiation of the soil types and characteristic of their basic properties as an effect of climatic and pollutions gradient ("climatic" and "Silesian" transects)*, [w:] *Effects of atmospheric deposition and climate change in forest ecosystems in Central and Eastern Europe and the United States*, Raport, IGiPZ PAN, Warszawa.



- Degórski M., Gworek B., (1997), *Borówka (Vaccinium myrtillus) oraz igły sosny bioindykatorami zanieczyszczeń środowiska metalami ciężkimi w borach i borach mieszanych na dwu transektach badawczych w Polsce* (niepublikowane)
- Duchauffour P., Jacquín F., 1966, *Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composées humiques*, Extrait Bull. l'Ecol. S. A. de Nancy 8, 1, 24.
- Głazowska M. A., 1981, *Gleby kuli ziemskiej*, PWN, Warszawa, 435.
- Gworek B., 1985, *Pierwiastki śladowe w glebach uprawnych wytworzonych z glin zwalowych i utworów pyłowych północno-wschodniego regionu Polski*, Roczn. Gleb., 36, 2, 43–59.
- Gworek B., Degórski M., 1997, *Przestrzenny i profilowy rozkład pierwiastków śladowych i żelaza w glebach zbiorowisk borowych*, Roczn. Gleb., 48, 1–2, 19–30.
- Kononowa N., 1968, *Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań*, PWRiL, Warszawa.
- Matuszkiewicz W., 1991, *Szata roślinna*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, PWN, Warszawa, 445–494.
- Monnier G., Ture L., 1962, *Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol*, Anns. Agrom., 13, 1, 55–63.
- Prusinkiewicz Z., 1975, *Gleba*, [w:] *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*, PWRiL, Warszawa, 246–397.
- Prusinkiewicz Z., Bednarek R., Pokojńska U., 1980, *Gleby bielicoziemne w Polsce*, Roczn. Gleb., 32, 1, 103–113.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360
- Systematyka gleb Polski*, 1989, Roczn. Gleb., 40, 3–4, 148.

PHYSICO-CHEMICAL DIFFERENTIATION OF THE SOIL PROPERTIES  
OF PINE AND MIXED PINE FOREST HABITATS ALONG A TRANSECT  
OF CLIMATE (AT 52°N, 12–32°E) AND A "SILESIAN" TRANSECT

S u m m a r y

Pine forest ecosystems closely associated with podsollic soils are among the zonal forms at the latitudes in which the research presented was carried out. Potentially, natural plant communities of coniferous forest (class *Vaccinio-Piceetea*) occupy c. 25.3% of Poland (Matuszkiewicz 1991). A similar percentage of the country's area has podsollic soils (Prusinkiewicz et al. 1980). A still higher concentration of podsollic soils is present in the conditions of the Central European Lowland, and in the part of it lying in this country – the Central Polish Lowland, the proportion is 39.7%. This is associated with a multiplicity of accumulation forms of glaciofluvial material, whose mechanical composition (sands) predisposes it to podsolization (Bednarek and Prusinkiewicz 1980; Głazowska 1981; Degórski 1985, 1990). All of the soils analyzed were shaped in poor glaciofluvial quartz sands (Degórski, this volume), creating a habitat for pine and mixed pine forests (Roo-Zielińska, Solon 1997).

The aim of the present study was to produce a typological diagnosis of the soils studied, to assess the spatial (horizontal) and profile (vertical) differentiation of selected physico-chemical properties of the soils and to determine the contents of heavy metals and trace elements.

The starting point for the pedological research was the diagnosis of the different genetic levels in 22 soil profiles along the two research transects. In the stratigraphic analysis carried out, particular attention was paid to diagnostic eluvial, illuvial and rusty horizons, whose identification (on the basis of morphological and chemical features) was the basis for taxo-

onomy in line with *Systematyka gleb Polski (1989)*, while humus classification derived from Prusinkiewicz (1965). Study has so far been confined to the Polish part of the transects, so the chemical characterization presented concerns 15 study sites. The German and Belarussian sites will be the subject of a separate work as they require further analysis.

The determinations made concerned: the fractional composition of humus at the point of contact between the organic and mineral-organic horizons – using Douchaufour and Jacquin's method for the extraction and fractionation of humus compounds (1966); bulk density (*Go*); real density (*Gw*); soil reaction (pH H<sub>2</sub>O); soil humidity (*W*); organic carbon content (*C*); total nitrogen (*N*); available phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); exchangeable cations (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>); exchangeable hydrogen, aluminium and acidity (*Hw*); hydrolytic acidity (*Hh*); trace elements and heavy metals Zn, Mn, Fe, Pb, Ni, Cr and Cu. The results obtained allowed for the calculation of total porosity (*Po*) – as  $(Gw - Go) : Gw \times 100\%$ ; total exchangeable base cations (*S*) – as the sum of Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup>; the capacity of the sorption complex (*T*) – as  $Hh + S$ ; base cation saturation (*V*) – as  $S : T \times 100\%$  and the accumulation index as the ratio of the contents of the given element in the genetic horizon and parent rock, suggestive of its exogenous origin in the surface layers of the soil (Gworek 1985).

To determine the similarity of the distributions of soil characteristics described, the results were processed using multifactor analysis, correlation and regression. The measures of systematic distance were the Euclidean distance and its square using standardized values for the features. UPGMA cluster analysis and Ward's Method were used in the ordination and classification of the dataset.

Consideration of both morphological features and physico-chemical properties confirmed the inclusion of all the soils studied within the podsol class, as well as indicating statistically-significant differences between profiles where the values of the different features were concerned.

A distinction was drawn between:

- podsollic soils, with mor type humus, a very acid reaction with well-defined eluvial and illuvial diagnostic horizons, the widest C:N ratio and the worst sorption properties;
- podsollic/rusty soils, with moder/mor type humus and very acid or acid reactions;
- rusty soils, with signs of podsolization, humus of the mor/moder or moder type, an acid reaction, the narrowest C:N ratio and the best sorption properties in relation to the other soils studied.

Corresponding with the adopted taxonomy of the soils is the distribution of the remaining properties studied, be they physical, like porosity, or chemical, like sorptive properties.

The contents of heavy metals in the soils showed no large-scale trends. Rather, the observed concentrations of some heavy metals and trace elements in profiles are regional in character, relating to local sources of pollutant emissions.

Author's adress:

Marek Degórski  
Zakład Geoekologii  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



MAREK DEGÓRSKI

SEZONOWA DYNAMIKA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEB  
SIEDLISK BORÓW I BORÓW MIESZANYCH  
NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH: KLIMATYCZNYM  
(wzdłuż 52°N, OD 12° DO 32°E) I „ŚLĄSKIM”

1. WSTĘP

Zmiany właściwości glebowych są często bardzo wyraźne i statystycznie istotne, sięgać mogą nawet w okresie jednego roku kilkudziesięciu procent (Degórski 1990). Dotyczy to szczególnie warunków wilgotnościowych i odczynu gleby.

Celem niniejszej pracy było poznanie dynamiki sezonowej wilgotności, odczynu oraz przewodnictwa elektrycznego gleb borów i borów mieszanych na dwóch transektach w Polsce, założonych zgodnie z przestrzenną zmiennością kontynentalizmu (Degórski 1984, 1985) oraz rozkładem zanieczyszczeń (Breymer i in. 1995).

2. METODY

Badania wykonywano w latach 1994–1996. Na linii zróżnicowania klimatycznego, poprowadzonej pomiędzy 52 a 53 stopniem szerokości geograficznej północnej, analizę dynamiki warunków wodnych i odczynu wykonywano od kwietnia 1994 – do kwietnia 1996 roku, natomiast na linii transektu „Śląskiego” Racibórz–Browsk od marca 1994 – do października 1995 roku. W każdym okresie wegetacyjnym wykonywano 5 serii pomiarów: w dwóch lub trzech miesiącach wiosennych (pomiędzy marcem a czerwcem) i w dwóch lub trzech miesiącach letnio-jesiennych (pomiędzy sierpniem a październikiem). Oznaczenia wykonywano dla każdego poziomu genetycznego gleby we wszystkich profilach glebowych, w świeżym materiale glebowym natychmiast po jego pobraniu. Odczyn gleby oznaczano metodą potencjometryczną przy użyciu pH-metru Hach 01, a przewodnictwo elektryczne konduktometrem Hach. Oznaczeń wilgotności gleby dokonano metodą suszarkowo-wagową, gdzie pierwszych naważań doko-



nywano natychmiast po pobraniu materiału glebowego. Wszystkie oznaczenia wykonywano w pięciokrotnym powtórzeniu, a podane wyniki są wartością średnią z pomiarów.

Na podstawie uzyskanych wyników opracowano sezonowy przebieg badanych charakterystyk, wskazując na różnice ilościowe pomiędzy porami roku. Dla każdego poziomu genetycznego gleby obliczono wartości średnie poszczególnych charakterystyk w całym okresie badań oraz odchylenia standardowe.

W celu określenia zmienności przestrzennej badanych charakterystyk glebowych w obrębie poszczególnych powierzchni na dwóch transektach wykonano tak zwane testy jednorodności próby. Jednorazowo pobrano próby glebowe z 10 punktów, w których oznaczono wyżej wymienione właściwości gleb. Uzyskane wyniki posłużyły do określenia wartości średniej dla danej powierzchni, odchylenia standardowego oraz wskaźnika zmienności przestrzennej próby jako:

$$a_{\max} - a_{\min}/a_{\min} \times 100\%,$$

gdzie:  $a_{\max}$  – oznacza najwyższą wartość cechy uzyskaną w obrębie danej powierzchni,  $a_{\min}$  – minimalną.

### 3. WYNIKI

Analizowane właściwości glebowe charakteryzowały się znaczną zmiennością w czasie. Współczynnik zmienności czasowej osiągnął najwyższe wartości w przypadku wilgotności, od kilkuset procent w poziomach mineralno-próchnicznych i eluwalnych, do kilkudziesięciu w spągowych poziomach glebowych (tab. 2). Uzyskane wyniki są następstwem dużej różnorodności warunków pogodowych, jakie zanotowano w okresie badań, od stanu nasycenia gleb równego połowej pojemności wodnej w okresach wiosennych, do stanu silnego przesuszenia jesienią. Podobną dynamiką roczną charakteryzował się również przebieg wartości pH, jak i przewodnictwa elektrycznego. W okresach wzrostu wilgotności gleb spowodowanej infiltracją wód ablacyjnych i opadowych wzrastała zawartość elektrolitów i koloidów wpływających na podwyższanie się przewodnictwa elektrycznego badanych gleb oraz odczynu. Zróżnicowanie wartości pH, jak i przewodnictwa elektrycznego było jednak znacznie mniejsze niż wilgotności. W przypadku przewodnictwa elektrycznego nie przekraczały one 100% w poziomach mineralno-próchnicznych i kilkudziesięciu procent w poziomach mineralnych. Odczyn zaś różnił się maksymalnie około 0,5–0,7 pH w poziomach mineralno-próchnicznych i 0,2–0,3 pH w poziomie skały macierzystej.

Na podstawie analizy statystycznej badanych cech glebowych stwierdzono, że ich zmienność czasowa nie różnicuje statystycznie istotnie badanych siedlisk. Jedynie odczyn gleb uznać można za charakterystykę, której rozkład w badanym okresie miał statystycznie różny przebieg na transekcie klimatycznym i „śląskim” (tab. 1). Obliczone wartości średnie odczynu dla transektu klimatycznego

Tabela 1

Wartości średnie wilgotności, odczynu i przewodnictwa elektrycznego – 1994–1996

Mean values of moisture, reaction and conductivity – 1994–1996

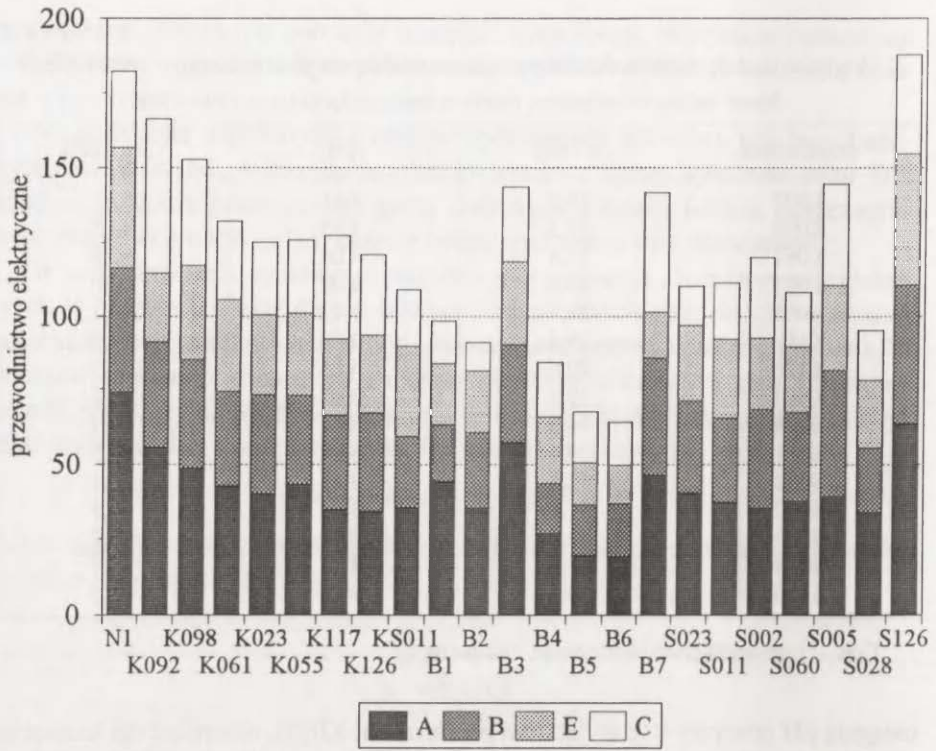
Stanowiska	W (%)	pH	Con. (mS)
K092	15,7	4,11	55,7
K098	27,2	3,85	48,5
K061	17,8	4,08	42,8
K023	14,5	4,02	40,0
K055	28,7	4,22	43,1
K117	20,4	4,03	34,9
K126	20,6	4,05	34,3
KS011	29,3	3,92	35,4
S023	46,8	3,61	40,4
S011	30,6	3,92	37,3
S002	52,5	3,88	35,1
S060	39,8	3,92	37,5
S005	41,3	3,83	39,2
S028	48,5	4,31	33,7
S126	54,4	3,75	63,5

Con. – przewodnictwo elektryczne, conductivity.

osiągają pH powyżej 4 (z wyjątkiem powierzchni K098), natomiast dla transektu „śląskiego” wynoszą od 3,61 do 3,92 (z wyjątkiem powierzchni S028). Najbardziej jednorodne wewnątrznie są wartości charakteryzujące przewodnictwo elektryczne – od 34 do 43 mS, tylko na powierzchniach K092 i S126 jest ono wyższe (tab. 1). Zaobserwowano również wyraźne zmniejszanie się wartości przewodnictwa elektrycznego wraz z głębokością pobieranych prób (ryc. 1). Jednocześnie dla pionowego rozkładu cechy charakterystyczny jest jej wyraźny spadek w poziomach eluwalnych (E) i ponowny wzrost w poziomach wmycia (B).

Wilgotność jest cechą charakteryzującą się największą labilnością, dlatego też jej dynamika w poszczególnych profilach glebowych nie może stanowić statystycznie wiarygodnego kryterium do różnicowania analizowanych siedlisk. Warto również zaznaczyć, że rozkład przestrzenny wilgotności w obrębie każdej powierzchni badawczej może być następstwem dużej zmienności mikroreliefu i miąższości próchnicy nadkładowej, akumulującej najwięcej wody opadowej.

W wyniku niedoskonałości metod, którymi dysponuje się w badaniach dynamiki właściwości glebowych, uzyskiwane wyniki są obciążone wartościami naturalnej zmienności przestrzennej cech (Degórski 1990). Przyczyną powstawania ewentualnych obciążeń wyników dynamiki charakterystyk glebowych jest niejednopunktowe pobieranie materiału analitycznego. Kilkucentymetrowe przesunięcia odwiertów przy tak znacznym zróżnicowaniu przestrzennym rozkładu wartości w obrębie danej powierzchni badawczej powoduje ryzyko nakładania się dwóch zmiennych: czasowej i przestrzennej. Porównanie wartości współczynników zmienności, obliczonych na podstawie trzyletniej serii pomiarów dy-



Ryc. 1. Średnie wartości przewodnictwa elektrycznego określone dla wszystkich powierzchni badawczych transektu klimatycznego w okresie badań 1994–1996

A – poziomy akumulacyjne, E – poziomy eluwalne, B – poziomy wmycia, C – skała macierzysta

Mean values of conductivity defined for research sites of “climatic” transect in 1994–1996 period

A – organic-mineral, E – eluvial, B – iluvial, C – parent rock

namiki wybranych właściwości gleb oraz pomiarów naturalnego rozkładu przestrzennego cech w poszczególnych siedliskach, pozwoliło oszacować obciążenie wyników zmienności charakterystyk glebowych w czasie, ich naturalną zmiennością przestrzenną. Stwierdzono, że we wszystkich analizowanych poziomach genetycznych wartość współczynnika naturalnej zmienności przestrzennej na danej powierzchni badawczej była od kilku do kilkunastu razy mniejsza od wartości współczynnika zmienności czasowej. Teoretyczne i jednocześnie maksymalne obciążenie uzyskanych wyników dynamiki badanych charakterystyk glebowych ich naturalną zmiennością przestrzenną na całej powierzchni doświadczalnej nie powinno przekroczyć od 3,6% na powierzchni S126 do 20% na powierzchni KS011. Wpływ przestrzennej zmienności na wartości dwóch kolejnych pomiarów był zapewne dużo mniejszy, zważywszy, że każde następne punkty pobierania próbek lokalizowano bardzo blisko siebie, w odstępnie kilku lub kilkunastu

T a b e l a 2

Wartości wskaźników zmienności przestrzennej i czasowej wilgotności poziomów mineralno-próchnicznych badanych gleb

Values of spatial variability index and time distribution index defined for organic-mineral horizons

Stanowiska	Zmienność przestrzenna	Zmienność czasowa	Stosunek zmienności czasowej do zmienności przestrzennej
K092	46,8	581,1	12,4
K098	95,2	1550,1	16,3
K061	49,8	586,7	11,8
K023	76,9	441,9	5,8
K055	83,4	650,6	7,8
K117	87,3	1013,5	11,6
K126	70,2	875,1	12,5
KS011	66,2	330,3	5
S023	57,4	403,1	7
S011	76,2	1175,2	15,4
S002	57,8	1070,1	18,5
S060	77,2	1818,9	23,5
S005	93,4	1280,3	13,7
S028	34,9	1481,5	42,4
S126	47,7	1297,1	27,2

centymetrów, gdy analizę zmienności przestrzennej wykonano dla obszaru całej powierzchni badawczej.

#### 4. WNIOSKI

1. Wilgotność – to cecha charakteryzująca się największą zmiennością wartości. W poziomach mineralno-próchnicznych wilgotność chwilowa określona w warunkach wiosennego uwilgotnienia gleby była kilkunastokrotnie wyższa od wilgotności określonej w warunkach letnio-jesiennego przesuszenia gleby.

2. Przewodnictwo elektryczne – to cecha charakteryzująca się najmniejszą labilnością.

3. Dynamika odczynu badanych gleb statystycznie istotnie różnicuje badane siedliska na dwie grupy odpowiadające transektom: klimatycznemu i „śląskiemu”.

4. Zmiany wynikające z dynamiki sezonowej badanych charakterystyk glebowych były wielokrotnie większe od ich zmienności przestrzennej na danej powierzchni badawczej.



## LITERATURA

- Breymeyer A., Degórski M., Roo-Zielińska E., Solon J., Smałkowski J., 1995, *Biodiversity and matter cycling in forest ecosystems in the gradient of air pollution in Poland: results of introductory research*, [w:] P. Paschalis, K. Rykowski, S. Zajączkowski (red.), *Protection of forest ecosystems biodiversity*, Grant GEF, Warszawa, 175–193.
- Degórski M., 1984, *Porównanie stopnia kontynentalizmu w Polsce metodą klimatyczną i bioindykacyjną*, *Przeł. Geogr.*, 56, 2–3, 55–73.
- 1985, *An investigation into the spatial variability of continentality in West and Central Europe by the Ellenberg method*, *Docum. Phytosoc.*, 9, Camerino, 337–349.
- 1990, *Warunki siedliskowe kateny ekosystemów leśnych na Wysoczyźnie Rawskiej, ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki wodno-troficznych właściwości gleb*, *Dokum. Geogr.*, 5–6, 206.

SEASONAL DYNAMICS TO SELECTED PROPERTIES OF THE SOILS  
OF PINE AND MIXED PINE FOREST HABITATS ALONG A CLIMATIC  
TRANSECT (52<sup>0</sup>N, 12–32<sup>0</sup>E) AND A “SILESIAN” TRANSECT

## S u m m a r y

Temporal changes in soil properties are often very clear and statistically significant, even varying by several dozen or more in the course of a year (Degorski 1990). This is particularly true of humidity conditions and soil reaction.

The aim here was thus to investigate the seasonal dynamics to the humidity, reaction and electric conductivity of pine and mixedpine forest soils along a transect running E–W across Poland at between 52 and 53<sup>0</sup>N in accordance with a gradient of continentality (Degorski 1984, 1985), and a further (“Silesian”) transect reflecting a gradient in industrial pollution (Breymeyer et al. 1995).

The research was done in the years 1994–1996. Analysis of the dynamics of water conditions and reaction ran from April 1994 to April 1996 on the climatic transect, and from March 1994 to October 1995 on the “Silesian” transect. Five series of measurements were made in each growing season: in two or three spring months (March–June) and in two or three autumn months (August–October). Determinations were made for each genetic horizon in the soil, in fresh soil material immediately after sampling. Soil reaction was determined potentiometrically using a Hach 01 pHmeter, electric conductivity using a Hach conductometer. Soil humidity was measured using the drying-weighing method, with first weighings immediately after collection of soil material. All determinations were replicated 5 times and the results averaged.

So-called tests of sample uniformity were carried out to assess the spatial variability of soil characteristics within particular study areas along the two transects. Samples were taken once from 10 points in an area and the above soil properties determined. The results provided an average for the given area, a standard deviation and an index of sample spatial variability given by:

$$a_{\max} - a_{\min} / a_{\min} \times 100\%$$

where:  $a_{\max}$  was the highest value obtained for a given property in a given area and  $a_{\min}$  the lowest.

Findings were as follows:

1. Humidity values varied most. In mineral-organic horizons, the temporary humidity-

determined during spring saturation of the soil was 10–20 times greater than that determined in conditions of summer-autumn drying of the soil.

2. Electric conductivity was the least labile feature.

3. The dynamics for soil reaction offered statistically significant separation of the habitats studied into two groups corresponding to the climatic and „Silesian” transects.

4. Differences in the studied soil characteristics reflecting seasonal dynamics were many times greater than observed variability from place to place in a given study area.

Author's adress:

Marek Degórski

Zakład Geoekologii

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



ALEKSANDER JEFREMOW, MAREK DEGORSKI

## WŁAŚCIWOŚCI HUMUSU, BIOMASA MIKROORGANIZMÓW I ZAWARTOŚĆ KWASÓW NUKLEINOWYCH W GLEBACH SIEDLISK BORÓW I BORÓW MIESZANYCH NA TRANSEKCIE KLIMATYCZNYM

### 1. WSTĘP

Materia organiczna gleb jest jednym z najważniejszych elementów funkcjonalnych pedosfery. W ekosystemach leśnych stanowi ona między innymi wtórne źródło biogenów (głównie azotu) oraz wielu substancji fizjologicznie czynnych. Jest ona jednym z podstawowych ogniw w biologicznym krążeniu pierwiastków i przepływie energii, a także regulatorem odczynu i buforowych właściwości gleb (Prusinkiewicz 1975; H. Uggla, A. Uggla 1979; Richards 1979; Foth 1984; Pierzynski i in. 1994; Wood 1995). Próchnica glebowa jest również substancją jonowymienną o dużej pojemności sorpcyjnej, co ma szczególne znaczenie w ekosystemach wykształconych na glebach lekkich (w piaskach), prawie zupełnie pozbawionych kompleksu sorpcyjnego.

Dla oceny właściwości próchnicy glebowej oraz żyzności siedlisk niezbędna jest dokładna diagnoza składu humusu – próchnicy właściwej (Prusinkiewicz 1975; Degórski 1990), a także zawartość materii organicznej w mikroorganizmach odpowiedzialnych za jej rozkład. Dobrym wskaźnikiem antropopresji jest zawartość kwasów nukleinowych w poziomach próchnicznych gleb, a także przebieg i tempo procesów biochemicznych w nich zachodzących (Kosinkiewicz 1985; Kowda 1985; Zwiaginiec 1986; Jefremow 1990, 1994).

Celem niniejszych badań było określenie frakcjonowanego składu próchnicy oraz ocena biomasy mikroorganizmów i zawartości kwasów nukleinowych w badanych glebach na stanowiskach borów sosnowych i mieszanych położonych na transekcje klimatycznym wzdłuż gradientu kontynentalizmu – Namyślin–Browsk.

### 2. METODY

Punktem wyjścia do wyżej wymienionych badań była taksonomia próchnicy nadkładowej przeprowadzona zgodnie z klasyfikacją Prusinkiewicza (1975).



Tabela 1

Sumaryczna zawartość różnych związków próchnicznych w poszczególnych frakcjach próchnicy i wskaźniki humifikacji

Total content of humus components in particular fractions and values of humification

Stanowiska	Typ lasu	C ogółem %	C kwasów fulwowych, huminowych i humin w %C ogółem					Stosunek Ch:Cf	Stopień humifikacji	Procentowa zawartość C poszczególnych frakcji w stosunku do masy gleby w próbie					
			frakcja lekka		frakcja ciężka					frakcja lekka			frakcja ciężka		
			F1+F2	H1+H2	F3+F4+F5	H3+H4+H5	huminy			R	F1+F2	H1+H2	F3+F4+F5	H3+H4+H5	huminy
K092	b	7,27	3,00	2,35	0,64	1,37	8,58	0,6	15,94	6,111	0,221	0,168	0,046	0,098	0,624
K098	b	5,37	9,06	2,27	2,14	1,05	11,51	0,3	26,03	3,972	0,486	0,122	0,115	0,057	0,618
K061	b	4,85	4,43	1,69	1,14	0,93	9,07	0,47	17,26	4,013	0,215	0,082	0,055	0,045	0,44
K023	b	15,91	4,12	1,71	0,43	0,47	4,17	0,47	10,96	14,166	0,66	0,27	0,07	0,076	0,664
K055	bm	10,3	7,98	2,61	1,43	0,58	5,77	0,41	16,66	8,584	0,647	0,269	0,147	0,059	0,594
K117	bm	5,55	6,84	1,59	2,74	1,29	7,86	0,3	20,32	4,422	0,38	0,088	0,152	0,072	0,436
K126	bm	9,18	6,34	5,04	1,29	0,92	5,69	0,8	19,12	7,425	0,582	0,463	0,104	0,084	0,522
KS011	b	4,88	12,79	2,22	3,48	0,69	14,67	0,18	33,85	3,228	0,624	0,108	0,17	0,034	0,716

b – bór sosnowy świeży, bm – bór mieszany, C – węgiel, Ch – węgiel kwasów huminowych, Cf – węgiel kwasów fulwowych, R – residuum, F (1...n) – frakcje poszczególnych ekstrakcji.

b – pine forest, bm – pine mixed forest, C – carbon, Ch – carbon in humic acids, Cf – carbon in fulvic acids, R – residuum, F (1...n) – extractions fractions.

Biomasa mikroorganizmów i zawartość kwasów nukleinowych w poszczególnych poziomach gleb na transekcie klimatycznym

Microorganisms biomass and content of nucleic acids in the particular horizons – climatic transect

Stanowiska	Poziom glebowy	Gęstość	Biomasa mg/g		DNA	RNA
			bakterie	grzyby	mcM/100g	
N1	O	0,84	0,085	2,38	61,72	45,06
	A	1,14	0,031	0,69	28,67	18,16
	B	1,53	0,025	0,23	6,37	3,56
K092	O	0,7	0,089	2,47	100,58	85,23
	AE	0,99	0,041	0,32	40,73	29,2
	B	1,48	0,032	0,12	7,96	4,45
K061	O	0,49	0,083	2,21	55,01	41,3
	AE	1,27	0,054	0,79	32,77	23,07
	B	1,51	0,03	0,24	5,59	3,71
K023	O	0,3	0,114	3,27	132,26	110,36
	AE	1,27	0,05	0,51	56,6	38,37
	B	1,52	0,019	0,08	13,54	8,57
K055	O	0,6	0,109	2,62	101,3	90,5
	E	1,1	0,04	0,6	47,57	32,75
	B	1,29	0,022	0,11	11,15	7,48
K117	O	0,55	0,084	2,34	94,43	73,87
	Ap	1,18	0,06	0,85	51,88	30,44
	B	1,34	0,031	0,29	12,37	8,6
K126	O	0,48	0,096	2,57	64,34	55,92
	Ap	1,13	0,056	0,96	32,26	20,96
	B	1,39	0,035	0,27	9,36	6,27
KS011	O	0,38	0,089	2,43	78,72	65,68
	AE	1,18	0,048	0,56	32,65	24,33
	B	1,44	0,026	0,23	11,73	6,73
B1	O	0,46	0,11	3,19	87,38	71,77
	AE	1,48	0,079	0,71	43,46	34
	BC	1,6	0,054	0,13	14,44	8,39
B2	O	0,56	0,111	2,57	101,49	79,39
	Ap	1,44	0,072	0,83	40,82	29,19
	B	1,57	0,049	0,29	15,36	9,61
B3	O	0,42	0,113	3,03	111,5	99,68
	Ap	0,44	0,08	0,95	53,7	35,71
	B	1,55	0,05	0,2	18,65	11,86
B4	O	0,67	0,096	2,1	91,94	69,05
	AE	1,27	0,081	1,03	30,61	19,7
	B/C	1,47	0,042	0,39	9,1	5,34
B5	O	0,52	0,108	2,83	97,56	89,54
	AE	1,37	0,069	0,59	43,94	30,56
	B	1,62	0,035	0,27	21,12	13,22
B6	O	0,54	0,104	2,17	81,04	66,41
	AE	1,44	0,06	0,53	40,75	28,9
	B	1,58	0,03	0,32	18,72	12,55
B7	O	0,41	0,109	2,54	53,01	47,39
	A	1,35	0,074	0,76	37,33	23,36
	B	1,54	0,028	0,16	14,51	9,46

Dalszym etapem prac było określenie składu humusu na kontakcie strefy organicznej badanych gleb z mineralno-organiczną. Oznaczenia wykonano metodą ekstrakcji i frakcjonowania związków próchnicznych Duchaufoura i Jacquin (1966). Rozdzielenie na frakcję lekką (wolną) i ciężką (związaną) przez dekantację (z użyciem roztworu pirofosforanu sodu) przeprowadzono zgodnie z metodą Monnier (1962).

Liczebność bakterii, biomasę grzybni oraz długość jej strzępków wykonano metodami bezpośrednimi w Laboratorium Enzymologii Glebowej, Instytutu Botaniki Białoruskiej Akademii Nauk. Obliczenia zawartości mikroorganizmów dokonano w przygotowanych wcześniej próbach, gdzie zawiesinę glebową poddano rozdzieleniu w dezintegratorze niskiej częstotliwości UZDN-1 (15 kiloherców, 0,44 ampera) w czasie 2 minut. Długość strzępków grzybni mierzono pod mikroskopem MBI-15U (40 × 15) z użyciem kontrastu. Obliczeń biomasy grzybów oraz bakterii dokonano przy przyjęciu dla grzybni ciężaru właściwego 1,05 g/cm<sup>3</sup> i średnicy 5 nm, dla komórek bakterii ciężaru właściwego 1,08 g/cm<sup>3</sup> i objętości 0,1 μm<sup>3</sup>. Biomasa mikroorganizmów przeliczono na suchą masę stosując wskaźniki dla grzybów 3,9 × 10<sup>-6</sup>, dla komórek bakterii 0,2 × 10<sup>-13</sup>.

Zawartość kwasów nukleinowych oznaczono metodą chromatografii, przy rozdzielnym napromieniowywaniu podstawowych produktów hydrolizy DNA i RNA. Do analizy pobierano od 2,5 do 5,0 g gleby, którą traktowano 0,7 normalnym roztworem alkalicznym, a następnie wirowano przy prędkości 5000 obrotów na minutę. Otrzymaną zawiesinę zalano w przypadku prób dla DNA – 0,1 normalnym HCl, 57% HClO<sub>4</sub> – dla RNA. Po odparowaniu i oczyszczeniu z użyciem filtru Daueks 50, próby chromatografowano roztworem C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH:HCl:H<sub>2</sub>O (70:20:10). Oznaczeń dokonano przy użyciu spektrofotometru, wykorzystując następujące długości fal: dla adeniny – 228, 260, 290 nm, dla guaniny – 224, 250, 290 nm (Zwiagincew 1980).

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono liczebność mikroorganizmów, biomasę grzybni i zawartość kwasów nukleinowych w półmetrowej warstwie gleby o powierzchni jednego metra kwadratowego, uwzględniając miąższość poszczególnych poziomów glebowych oraz ich gęstość.

### 3. WYNIKI

Poziom próchnicy nadkładowej (ściśle związanej zależnościami z mineralną częścią profili) kształtował się w badanych glebach zależnie od żyzności i wilgotności danego pedotypu, tworząc trzy odrębne podtypy: mor, moder/mor, mor/moder (Degórski, w tym tomie – s. 41–53).

Analiza składu substancji organicznej dowiodła również istnienia różnic w zawartości poszczególnych swoistych form związków próchnicznych na kontakcie strefy organicznej i mineralno-organicznej badanych gleb. Zawartość próchnicy, wyrażona ogólną zawartością węgla (C), wahała się od około 2% do



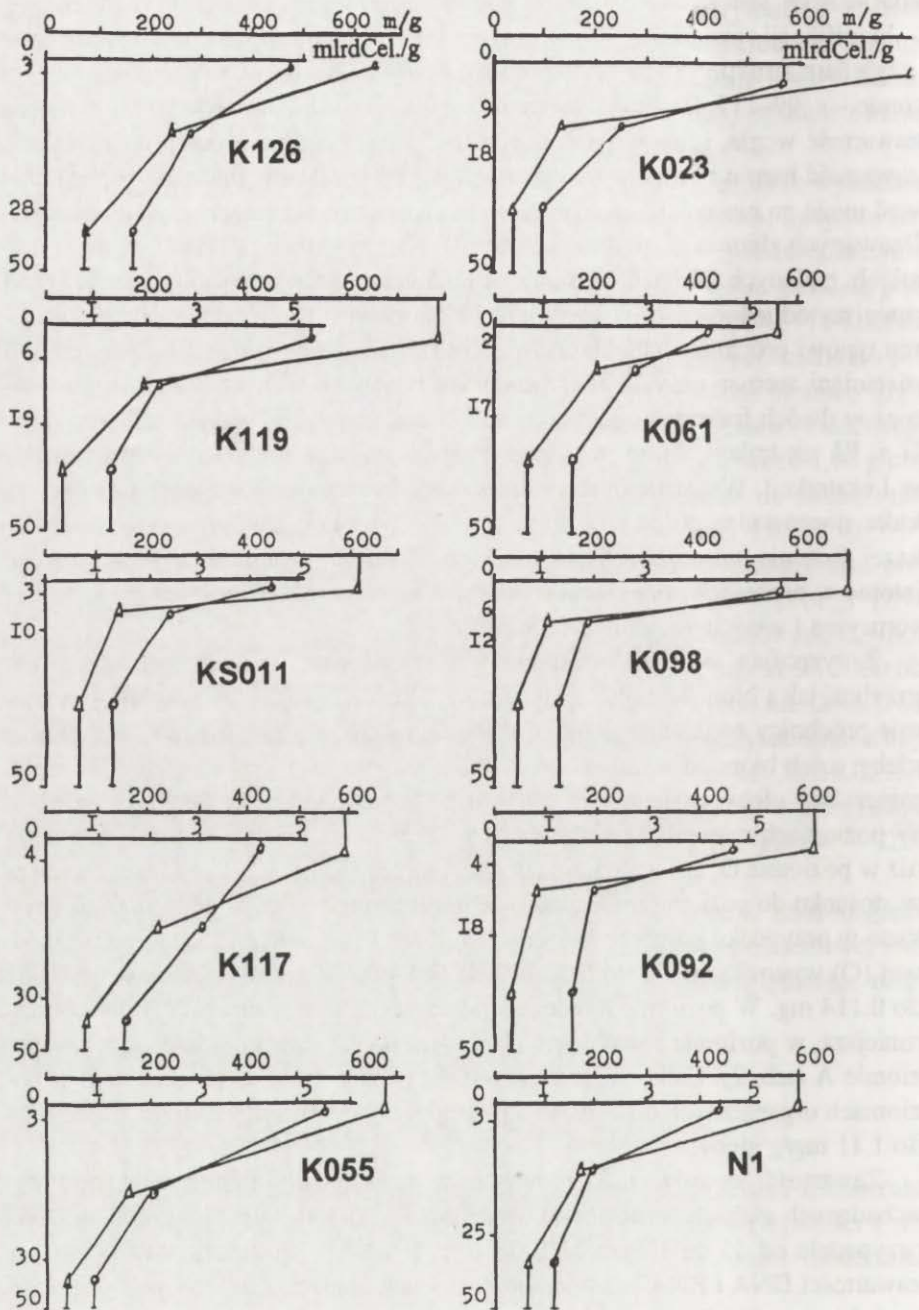
około 15% (tab. 1). Ta znaczna rozpiętość wyników w określonych warunkach edaficznych jest zapewne następstwem różnego tempa procesów mineralizacji i humifikacji związków organicznych w zróżnicowanych, szczególnie pod względem struktury runa zbiorowiskach leśnych (Solon, Roo-Zielińska, w tym tomie – s. 99–111, Degórski, w tym tomie – s. 41–53). Zaobserwowana mniejsza zawartość węgla, idąca w parze z wyższym stopniem humifikacji oraz większa zawartość humin i kwasów huminowych w glebach borów mieszanych, wskazywać może na nieco dalej posuniętą ewolucję materii organicznej w glebach analizowanych zbiorowisk roślinnych (tab. 1). Należy jednak pamiętać, że we wszystkich badanych glebach stosunek kwasów huminowych do fulwowych jest mniejszy od jedności, co w klasyfikacji Kononowej (1968) odpowiada pierwszemu typowi próchnicy, charakteryzującemu się niewielkim stopniem kondensacji pierścieni aromatycznych. We wszystkich badanych glebach stwierdzono również w dwóch frakcjach obecność kwasów huminowych uwalnianych w wyniku II i III ekstrakcji, które w sumie przeważają nad związkami uwalnianymi w I ekstrakcji. Wskazuje to na polimeryzację brunatnych kwasów huminowych, która doprowadza do powstawania pewnej ilości kwasów huminowych o większej drobinie, tak zwanych szarych kwasów huminowych. Kwasy te są bardzo istotne w procesach mineralizacji ściółki. Charakteryzują się wysoką zdolnością sorpcyjną i właściwościami hydrofilnymi.

Z żyźnością siedlisk koresponduje również określona długość strzępków grzybni, jak i biomasa mikroorganizmów. Długość strzępków grzybni w poziomie próchnicy nadkładowej (O) wahała się od 526 do 821 metrów w 1 gramie gleby, a ich biomasa wynosiła od 2,10 do 3,27 mg w 1 gramie gleby. W części mineralnej gleby następowało gwałtowne zmniejszanie się biomasy grzybni. W poziomach mineralno-próchnicznych (A) była ona od 2,5 do 6 razy mniejsza niż w poziomie O, zaś w poziomach eluwalnych (E) od 2,5 do 5,0 razy mniejsza w stosunku do poziomu mineralno-próchnicznego (tab. 2). Podobny rozkład uzyskano w przypadku komórek bakterii. Ich liczba w poziomie próchnicy nadkładowej (O) wynosiła od 4,1 do 6,2 miliarda w 1 gramie gleby, a biomasa od 0,083 do 0,114 mg. W poziomie mineralno-próchnicznym była ona od 1,3 do 2,6 razy mniejsza, w poziomie eluwalnym (E) od 1,6 do 2,2 razy mniejsza aniżeli w poziomie A (tab. 2). Całkowita biomasa mikroorganizmów wynosiła zatem w poziomach organicznych od 2,20 do 3,38 mg/g, w poziomach mineralnych od 0,18 do 1,11 mg/g gleby.

Zawartość kwasów nukleinowych w poziomach próchnicy nadkładowej w badanych glebach wynosiła od 96 do 242 mcM/100g gleby, z czego na DNA przypadało od 55 do 132 mcM/100g, a na RNA 41–116 mcM/100g. Najniższe zawartości DNA i RNA zanotowano na powierzchniach z intensywną gospodarką leśną (np. N1 Kiritz, K061 Krucz), najwyższe natomiast w borach mieszanych, charakteryzujących się wykazaną przez Solona i Roo-Zielińską (w tym tomie – s. 99–111) dużą bioróżnorodnością (K023 Bobrowniki, K098 Gościm). W porównaniu z poziomem O, w poziomach mineralno-próchnicznych zawar-



## A



Ryc. 1. Zawartość grzybów i bakterii w poszczególnych poziomach badanych gleb we wszystkich profilach transektu klimatycznego

A – zachodnia część transektu (Niemcy, Polska), B – wschodnia część transektu (Białoruś)

## B

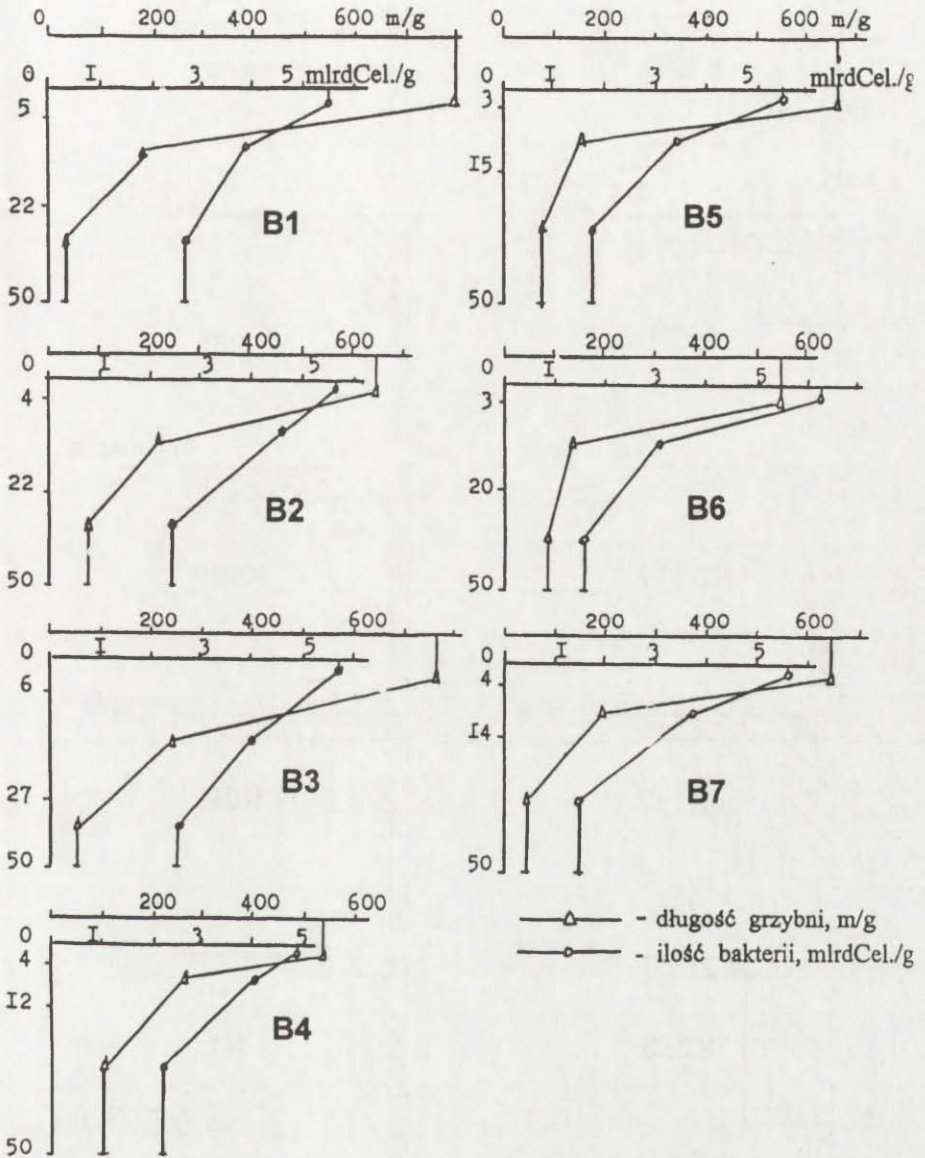
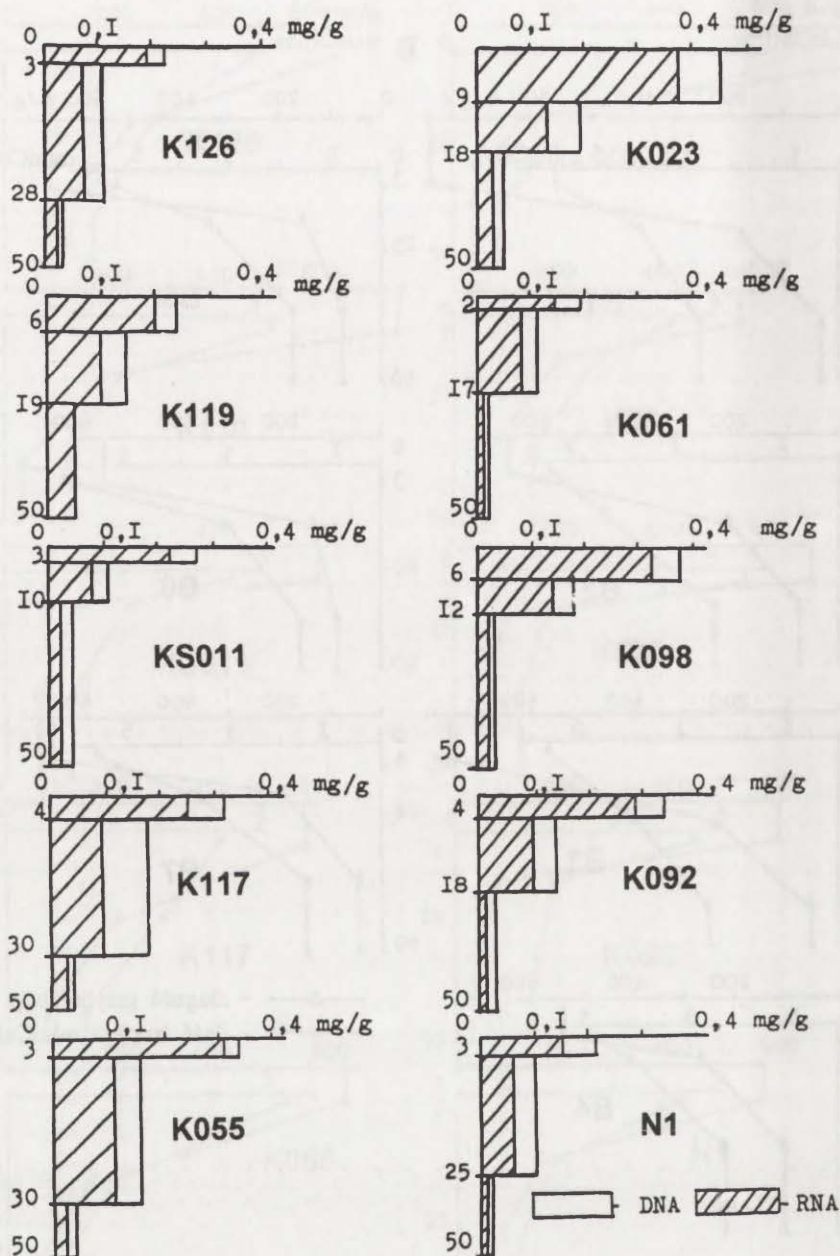


Fig. 1. Content of fungi and bacteria in defined horizons of all soil profiles - climatic transect

A - western part of transect (Germany, Poland), B - eastern part of transect (Belarus)

## A



Ryc. 2. Zawartość kwasów nukleinowych w poszczególnych poziomach badanych gleb we wszystkich profilach transektu klimatycznego

A – zachodnia część transektu (Niemcy, Polska), B – wschodnia część transektu (Białoruś)

## B

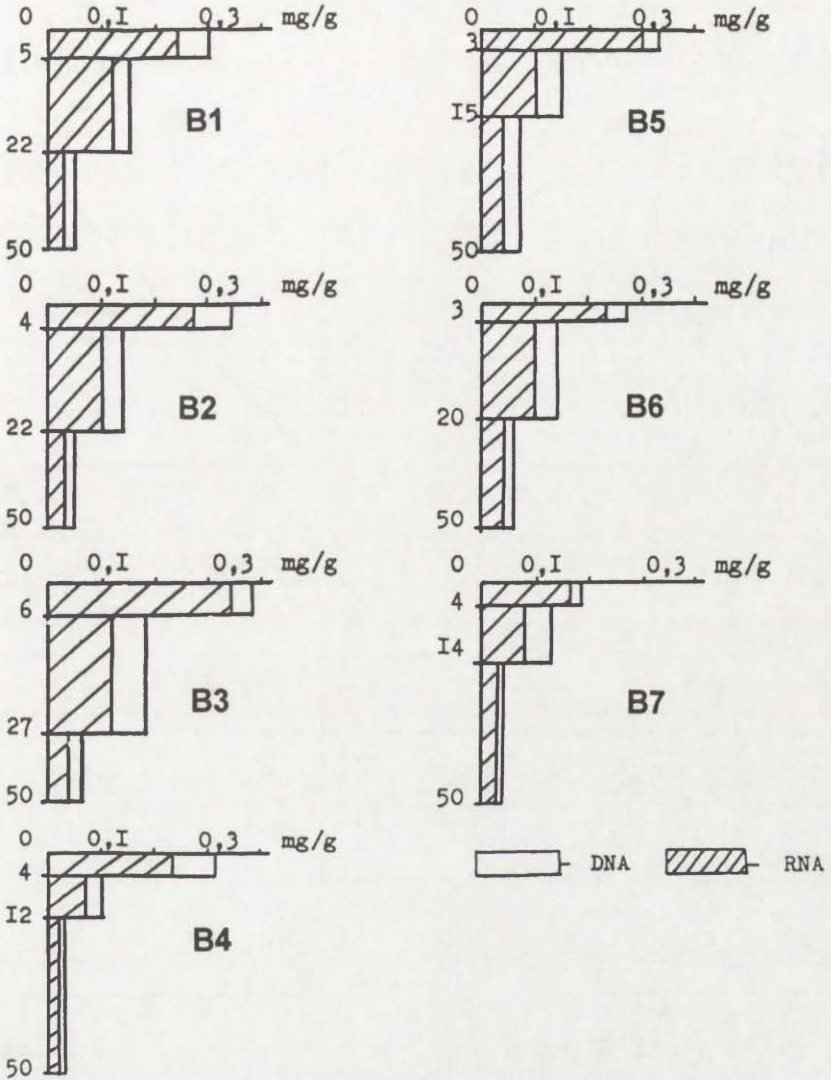
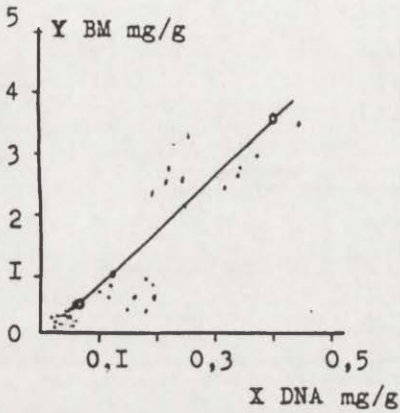


Fig. 2. Content of nucleic acids in defined horizons of all soils profiles – climatic transect  
 A – western part of transect (Germany, Poland), B – eastern part of transect (Belarus)

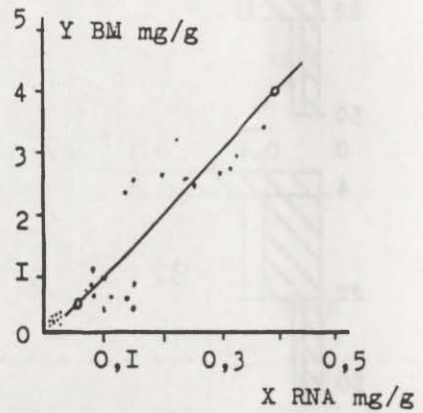


## A

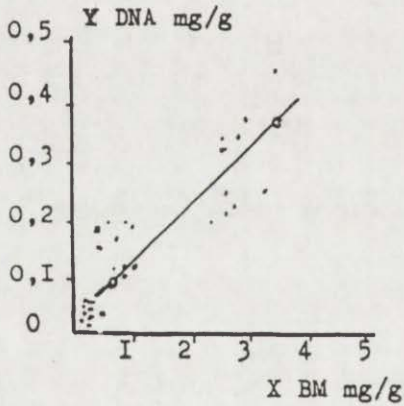
 $r=0,89$   $Sr=0,038$ .

 $r=0,94$   $Sr=0,022$ .


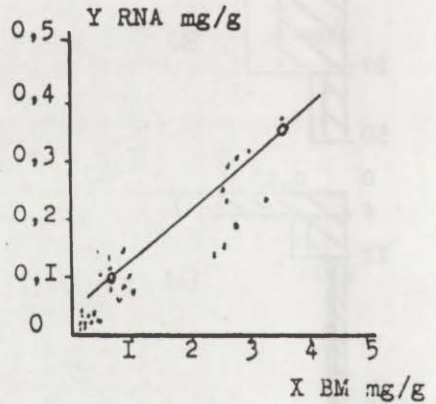
$$Y(BM) = 0,125 + 8,37X(DNA).$$



$$Y(BM) = 0,016 + 9,88X(RNA).$$



$$Y(DNA) = 0,046 + 0,094X(BM).$$



$$Y(RNA) = 0,053 + 0,088X(BM).$$

Ryc. 3. Korelacja i regresja pomiędzy biomasa mikroorganizmów a zawartością kwasów nukleinowych w badanych glebach transektu klimatycznego

A – zachodnia część transektu (Niemcy, Polska), B – wschodnia część transektu (Białoruś)

## B

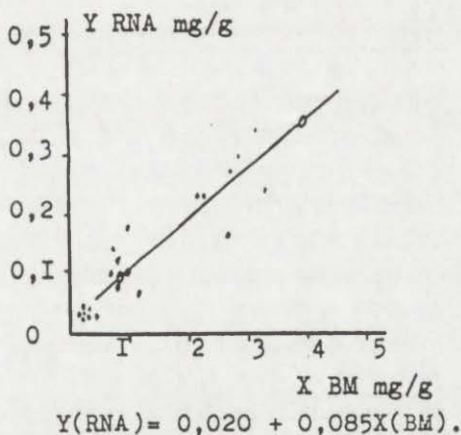
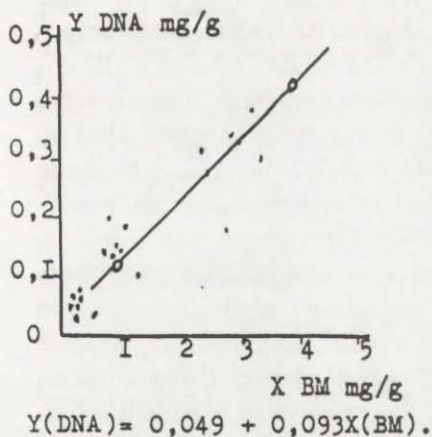
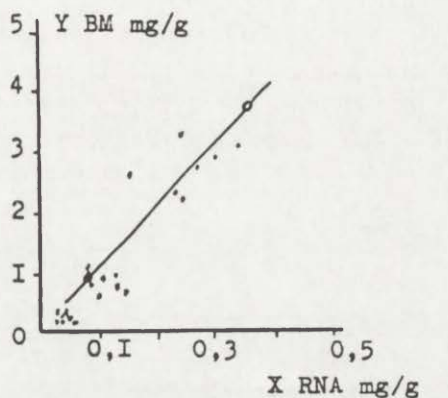
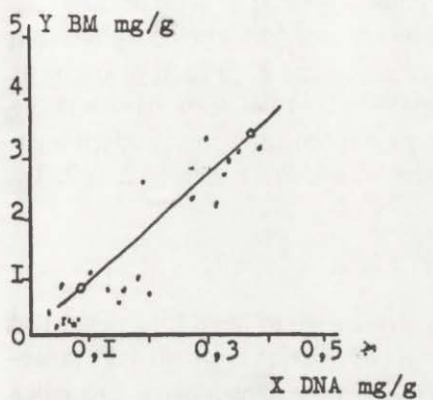
 $r=0,92$   $Sr=0,033.$ 
 $r=0,94$   $Sr=0,026.$ 


Fig. 3. Correlation and regression between microorganisms biomass and content of nucleic acids in studied soils – climatic transect

A – western part of transect (Germany, Poland), B – eastern part of transect (Belarus)

tość DNA zmniejsza się około 1,8–2,2-krotnie, zaś RNA 2,1–2,8-krotnie. W poziomach eluwalnych zawartość kwasów nukleinowych zmniejsza się jeszcze wyraźniej, w stosunku do poziomu mineralno-próchnicznego DNA około 3,5–5,2-krotnie, RNA około 3,8–6,1-krotnie. Również skład kwasów nukleinowych zmienia się wraz z głębokością. W poziomie O dominuje typ AT-DNA (47–49 mol%GC), w poziomach A i E typ GC-DNA (A 51–59, E 57–66 mol%GC).

Stosunek RNA:DNA wskazujący na aktywność metaboliczną kompleksu mikrobiologicznego (Jefremow 1990) wynosi w poziomach organicznych badanych gleb od 0,75 do 0,92, a w poziomach mineralnych od 0,58 do 0,68.

Analiza statystyczna wykonana dla określenia związków pomiędzy biomasa mikroorganizmów a zawartością kwasów nukleinowych w glebach wskazała na bardzo silną, istotną statystycznie, korelację pomiędzy tymi cechami ( $r = 0,89 - 0,94$ ), co zgodne jest zarówno z rozkładem pionowym zawartości materii organicznej w profilach, jak i aktywnością biologiczną badanych gleb (ryc. 1, 2, 3).

#### 4. PODSUMOWANIE

Wszystkie badane gleby charakteryzują się przewagą kwasów fulwowych nad huminowymi w składzie humusu. Wywiera to wpływ na cały kompleks procesów dekompozycji materii organicznej, jej humifikacji i mineralizacji. Próchnica nadkładowa wszystkich badanych profili należy do typu mor, od kseromor do formy przejściowej mor/moder z zanikającym podpoziomem epihumusu ( $O_H$ ). Biomasa mikroorganizmów w badanych glebach wskazuje na zbliżony w tych typach siedlisk przebieg procesów mikrobiologicznych, aczkolwiek interpretując wyniki liczebności mikroorganizmów, trzeba pamiętać o użytej metodzie bezpośredniej, która w świetle badań porównawczych daje wyniki zawyżone (Kosinkiewicz 1985). Masa mikroorganizmów w 0,5 m warstwie gleby o powierzchni 1 metra kwadratowego wynosi od 167 do 433 g, kwasów nukleinowych od 44 do 122 g, z czego DNA stanowi 58–60%, a RNA 40–42%. W ogólnej biomacie mikroorganizmów bakterie stanowią 8–12%, grzyby 88–92%, a stosunek wyróżnionych zespołów bakterii do grzybów wynosił jak 1:7, 1:12.

Uzyskane w pracy wyniki nawiązują do warunków lokalnych, a szczególnie do typu siedliskowego scharakteryzowanego poprzez typ gleby i zbiorowisko roślinne. Dowodzi tego typ próchnicy nadkładowej oraz skład humusu wyraźnie związany z typem siedliska (tab. 1). Potwierdzają to również badania mikrobiologiczne. Biomasa mikroorganizmów, jak i zawartość kwasów nukleinowych w siedliskach boru położonego w Niemczech (Kiritz) oraz Białorusi przy granicy z Rosją (Chocimsk) są zbliżone, podczas gdy różnice wielkości tych cech są znacznie wyższe pomiędzy borami a borami mieszanymi położonymi w tym samym miejscu przy granicy z Rosją – powierzchnie (B6 i B7) (tab. 2).

## 5. WNIOSKI

– Zróżnicowanie właściwości próchnicy nadkładowej, próchnicy właściwej, jak i biomasy mikroorganizmów oraz zawartości kwasów nukleinowych zależy w głównej mierze od lokalnych warunków siedliskowych, w mniejszym stopniu od zmienności przestrzennej wynikającej z warunków położenia geograficznego.

– Wszystkie badane gleby charakteryzują się próchnicą typu mor; w najsuchszych borach stanowi ona podtyp kseromor, w najżyźniejszych borach mieszanych podtyp mor/moder z zanikającym podpoziomem epihumusu.

– W składzie frakcjonowanym próchnicy właściwej dominują kwasy fulwowe (ich stosunek do kwasów huminowych jest mniejszy od jedności) w siedliskach borów mieszanych wzrasta ilość kwasów huminowych.

– Z żyznością siedlisk związana jest biomasa mikroorganizmów, jak również zawartość kwasów nukleinowych.

## LITERATURA

- B r e y m e y e r A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.
- D e g ó r s k i M., 1990, *Warunki siedliskowe kateny ekosystemów leśnych na Wysoczyźnie Rawskiej, ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki wodno-troficznych właściwości gleb*, Dokum. Geogr., 5–6, 206.
- D u c h a u f o u r P., J a c q u i n F., 1966, *Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques*, Extrait Bull. l'Ecol. S. A. de Nancy, 8, 1, 24.
- F o t h H., 1984, *Fundamentals of soil Sciences*, John Willey and Sons, New York, Chichester, Toronto, Singapur, 435.
- J e f r e m o w A., 1990, *Sodierżanie nukleinowych kistot i biomasa mikroorganizmow w niekotrych liesnych poczwach Bietarusi*, Poczwowiedienie, 4, 134–139.
- 1994, *Nuklienowyje kistoty i biomasa mikrobnnych kompleksow w poczwach listwiennych nasazdzeni Bieriezinskowo biocernogo zapowiednika*, Poczwowiedienie, 6, 71–78.
- K o n o n o w a N., 1968, *Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań*, PWRiL, Warszawa.
- K o s i n k i e w i c z B., 1985, *Próba oceny biomasy mikroorganizmów w glebie*. Roczn. Gleb., 36, 3, 67–74.
- K o w d a W., 1985, *Biochimia poczwiennowo pokrowa*, M. Nauka, Moskwa.
- M o n n i e r G., 1962, *Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol*, Anns. Agron., 13, 1, 55–63.
- P i e r z y n s k i G., S i m s T., V a n c e G., 1994, *Soils and environmental quality*, Lewis publisher, London.
- P r u s i n k i e w i c z Z., 1975, *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*, PWRiL, Warszawa.
- R i c h a r d s B., 1979, *Wstęp do ekologii gleby*, PWN, Warszawa.
- U g g l a H., U g g l a A., 1979, *Gleboznawstwo leśne*, PWRiL, Warszawa.
- W o o d M., 1995, *Environmental soil biology*, Blackie Academic and Professional, London, 150.
- Z w i a g i n c e w D., 1986, *Ekologiczeskaja rol mikrobnnych metabolitow*, M MGU, Moskwa.



HUMUS PROPERTIES, MICROORGANISM BIOMASS  
AND NUCLEIC ACID CONTENT IN THE SOILS OF PINE  
AND MIXED PINE FOREST ALONG A CLIMATIC TRANSECT

S u m m a r y

Soil organic matter is one of the most important functional elements of the pedosphere. In forest ecosystems it constitutes, *inter alia*, a secondary source of biogenic (mainly nitrogenous) compounds and many other physiologically-active substances; as well as being one of the main links in the biological cycling of elements and throughputs of energy, and a regulator of soil reaction and buffering properties (Prusinkiewicz 1975; H. Uggla, A. Uggla 1979; Richards 1979; Foth 1984; Pierzynski et al. 1994; Wood 1995). Soil humus is also an ion-exchange substance of high sorption capacity – a factor of particular significance in ecosystems developing on light soils (sands) almost entirely devoid of a sorption complex.

The aim of the work described here was to determine the fractional composition of humus and to assess the biomass of microorganisms and content of nucleic acids, in soils at pine and mixed/pine forest sites along a transect of climatic continentality between Namyslin and Browsk.

The work began with the taxonomy of overlying humus in line with the classification from Prusinkiewicz (1975). A further stage involved the defining of humus composition in the zone of contact between the organic and mineral-organic horizons. Determinations were carried out using the method for the extraction and fractionation of humus compounds from Douchaufour and Jacquin (1966). The division into light (free) and heavy (bound) fractions by way of decantation in sodium pyrophosphate solution was after Monnier (1962).

Bacterial abundance, fungal biomass and lengths of fungal hyphae were all determined using direct methods, at the Soil Enzymology Laboratory of the Institute of Botany, Belarusian Academy of Sciences. Calculations of microorganism contents were made in soil suspension that had been separated in a low-frequency (15 kHz, 0.44 amp) UZDN-1 disintegrator for 2 minutes. The length of fungal hyphae was measured under an MBI-15U (40 × 15) microscope using contrast. Calculations of fungal and bacterial biomass assumed that fungi had a specific gravity of 1.05 g/cm<sup>3</sup> and a diameter of 5 nm, and bacterial cells a specific gravity of 1.08 g/cm<sup>3</sup> and a volume of 0.1 μm<sup>3</sup>. The biomass of microorganisms was converted to dry mass by applying indexes of 3.9 × 10<sup>-6</sup> for fungi and 0.2 × 10<sup>-13</sup> for bacterial cells.

The content of nucleic acids was determined by chromatography, with separable irradiation of the basic products of DNA and RNA hydrolysis. Samples of between 2.5 and 5.0 g of soil were analyzed following treatment in a 0.7 normal alkali solution, centrifuging at 5000 rpm, in addition to the suspension obtained of 0.1 normal HCl (in the case of the DNA determination) or 57% HClO<sub>4</sub> (for RNA), evaporation and filtering through a Daueks 50 filtering. The chromatography employed a solution of C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH:HCl:H<sub>2</sub>O (70:20:10), while determinations involved spectrophotometry at wavelengths 228, 260 and 290 nm for adenine and 224, 250 and 290 nm for guanine (Zwiaginew 1980).

Findings were as follows:

1. All the soils studied had humus with a preponderance of fulvic over humic acids. This influences the whole complex of processes by which organic matter decomposes, humifies and mineralizes. The overlying humus was of the mor type in all the profiles studied and ranged between xeromor and a mor/moder transitional form with a disappearing epihumus sub-horizon (OH).

2. The biomass of microorganisms in the soils indicated a similar course of microbiological processes in these habitats. However, in interpreting results for microorganism abundance it needs to be recalled that the direct method used has been shown to generate exag-

gerated results in comparative studies (Kosinkiewicz 1985). The mass of microorganisms in a 0.5 m layer of soil of area 1 square metre ranged between 167 and 433 g and masses of nucleic acid between 44 and 122 g (of which 58–60% was DNA and 40–42% RNA). 8–12% of the total biomass of microorganisms was bacterial and 88–92% fungal, while the ratios for the distinguished groupings of bacteria to fungi were 1:7 and 1:12.

Author's adress:

Aleksander Jefremow  
Instytut Eksperymentalnej Botaniki,  
ul. F. Skoriny 27, Minsk/220630, Białoruś

Marek Degórski  
Zakład Geoekologii  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



EWA ROO-ZIELIŃSKA, JERZY SOLON

CHARAKTERYSTYKA GEOBOTANICZNA  
I ANALIZA ZASIĘGÓW BORÓW I BORÓW MIESZANYCH  
NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH: KLIMATYCZNYM  
(wzdłuż 52°N, OD 12° DO 32°E) I „ŚLĄSKIM”

1. WSTĘP

Analizę geobotaniczną wybranych stanowisk badawczych na transekcie klimatycznym i „śląskim” (Breymeyer 1997) prowadzono pod dwoma różnymi kątami: 1) w celu określenia ich wzajemnego podobieństwa i jednorodności; 2) w celu określenia wpływu, jaki wywierają zróżnicowanie klimatu, warunki siedliskowe i zanieczyszczenia powietrza na skład gatunkowy i różnorodność runa. Warstwa runa najżywiej reaguje na wszelkie zmienne środowiska, a skład florystyczny zależy od wielu czynników, w tym m.in. od:

1) położenia geograficznego, które determinuje z jednej strony bogactwo flor lokalnych (wpływa na występowanie gatunków o określonym typie zasięgu), a z drugiej jest wyznacznikiem zróżnicowania makroklimatycznego. Charakterystyki klimatu (w szczególności średnia temperatura roczna, temperatury okresu ciepłego i zimnego oraz suma opadów) w znacznym stopniu wpływają na fenologię i zdolności konkurencyjne poszczególnych populacji;

2) rodzaju i właściwości siedlisk, głównie ich żyzności i wilgotności, co wpływa na obecność gatunków budujących daną fitocenozę;

3) odkształcenia antropogenicznego, związanego z zanieczyszczeniem środowiska, historią użytkowania i stopniem rozwoju fitocenozy.

2. METODY

Podstawą opisu roślinności 23 powierzchni badawczych była charakterystyka florystyczna płatu roślinnego, zapisana w postaci zdjęcia fitosocjologicznego. Zawiera ono podstawowe informacje o konkretnym płacie roślinności:

1. skład gatunkowy;
2. pokrywanie (tj. udział powierzchniowy poszczególnych gatunków);



3. warstwowość (strukturalna cecha zbiorowiska dotycząca jego pionowej budowy; najczęściej wyróżniane są warstwy: drzew – A, krzewów – B, runa – C, warstwy przyziemnej – mchów i porostów – D).

Większość zdjęć fitosocjologicznych wykonano w maju 1995 r. Każde z nich na powierzchni ok. 400 m<sup>2</sup>. Ilościowość gatunków (pokrywanie) oszacowano w zmodyfikowanej skali 12-stopniowej, w której r, +, 1 oznaczają odpowiednio 0,1, 0,5 i do 10%. Pozostałe wartości, od 2 do 10, to kolejne przedziały dziesięcioprocentowe. Gatunki roślin naczyniowych określano na podstawie klucza Szafera, Kulczyńskiego i Pawłowskiego (1969), ich nazewnictwo stosowano zgodnie z opracowaniem Rothmalera (1976), nazewnictwo mchów według Szafrana (1957, 1961), nazewnictwo wątrobowców według Rejment-Grochowskiej (1950), a nazewnictwo porostów według Fałtynowicza (1993).

Otrzymane zdjęcia fitosocjologiczne zestawiono w nieuporządkowaną tabelę, którą interpretowano i opisano zgodnie z systemem klasyfikacyjnym i wykazem gatunków diagnostycznych W. Matuszkiewicza (1981).

Na podstawie składu florystycznego runa obliczono wzajemne podobieństwo wytypowanych zbiorowisk leśnych wykorzystując miarę odległości Czekanowskiego. Przedstawiono je za pomocą dendrogramu wykonanego metodą Warda (Solon 1994).

### 3. WYNIKI

#### 3.1. REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE POWIERZCHNI BADAWCZYCH

Zgodnie z regionalizacją geobotaniczną Polski i Europy (J. M. Matuszkiewicz 1993), spośród 23 powierzchni badawczych, trzy najbardziej wschodnie (na terenie Białorusi – B5, B6, B7) leżą w obrębie Podprowincji Środkoworosyjskiej, Prowincji Kontynentalnej Lasów Mieszanych. Pozostałe 20 powierzchni znajduje się na obszarze Prowincji Środkowoeuropejskiej. Powierzchnia N1 należy do Podprowincji Południowobałtyckiej (a w jej obrębie do Działu Pomorskiego), natomiast wszystkie pozostałe należą do Podprowincji Środkowoeuropejskiej Właściwej (a w jej obrębie do czterech Działów). Pięć powierzchni (K092, K098, K061, S126, S005) należy do Działu Brandenbursko-Wielkopolskiego; trzy powierzchnie (S028, S060, S002) reprezentują Dział Wyżyn Południowopolskich; osiem powierzchni (K023, K055, K117, K126, S023, S011, B3, B4) leży w Dziale Mazowiecko-Poleskim, natomiast pozostałe trzy powierzchnie (KS011, B1, B2) reprezentują Dział Północny.

Poszczególne Działy na terenie Polski różnią się wyraźnie pod względem florystycznym i geobotanicznym. Jedną z charakterystycznych cech Działu Brandenbursko-Wielkopolskiego jest występowanie kwaśnych dąbrów (*Quercetea robori-petraeae*) w typie siedliskowym boru mieszanego. W obrębie zbiorowisk borów sosnowych świeżych występuje prawie wyłącznie *Leucobryo-Pinetum*

(suboceaniczny bór świeży), a w obrębie zbiorowisk grądowych *Galio-Carpinetum* (środkowoeuropejski las dębowo-grabowy). Dział Wyżyn Południowopolskich wyróżnia się obecnością podgórskich lasów bukowych ze związku *Fagion* oraz subkontynentalnych grądów (*Tilio-Carpinetum*) w formie wyżynnej odmiany małopolskiej. Bory sosnowe świeże reprezentowane są przez dwa zespoły: *Leucobryo-Pinetum* (bór suboceaniczny), *Peucedano-Pinetum* (bór subkontynentalny). Dział Mazowiecko-Poleski charakteryzuje się brakiem zbiorowisk ze związku *Fagion* (buczyny) i *Vaccinio-Piceion* (świerczyny), prawie wyłącznym występowaniem *Quercu-Pinetum* w typie siedliskowym boru mieszanego oraz znaczną przewagą *Peucedano-Pinetum* w typie siedliskowym boru sosnowego świeżego. Dział Północny Mazursko-Białoruski łączy w sobie cechy dwóch prowincji: Środkowoeuropejskiej i Kontynentalnej Lasów Mieszanych. Do charakterystycznych cech tego działu należy brak zbiorowisk ze związku *Fagion*, obecność niżowych świerczyn z podzwiązku *Eu-Vaccinio-Piceion* oraz udział świerka w wielu różnych zbiorowiskach.

### 3.2. SKŁAD FLORYSTYCZNY ZBIOROWISK LEŚNYCH NA POWIERZCHNIACH BADAWCZYCH

Wszystkie analizowane zbiorowiska leśne na dwóch transektach reprezentują związek *Dicrano-Pinion*, a w jego obrębie dwa zbiorowiska borów świeżych: *Peucedano-Pinetum* i *Leucobryo-Pinetum* oraz zbiorowisko boru mieszanego *Quercu roboris-Pinetum* (tab. 1). Na powierzchniach: K092, K023, S005, S002, występuje *Leucobryo-Pinetum* w postaci typowej. Na powierzchni K061 występuje nieco wilgotniejszy wariant z *Molinia caerulea*. Natomiast powierzchnie: N1, K098, S028 i S011 obejmują zbiorowiska występujące na siedlisku kwaśnej buczyny (związek *Luzulo-Fagion*) lub boru mieszanego, choć pod względem obecnego składu florystycznego są one prawie identyczne ze zbiorowiskami reprezentującymi *Leucobryo-Pinetum*. Zespół *Peucedano-Pinetum* jest reprezentowany przez powierzchnie: KS011 (fot. 1), B2, B3, B5 (postacie typowe lub subborealne), oraz wilgotniejszy wariant z *Molinia caerulea* na powierzchniach S023 i B7. Pozostałe powierzchnie obejmują bory mieszane (*Quercu roboris-Pinetum*), przy czym postaci typowe występują na powierzchniach: K055, K126 (fot. 2), S060, B1, B4, B6. Powierzchnia S126 reprezentuje wilgotniejszy podzespół *Quercu roboris-Pinetum molinietosum*, natomiast powierzchnia K117 to najprawdopodobniej zdegradowane siedlisko ubogiej postaci grądu *Tilio-Carpinetum*.

Analiza podobieństwa składu gatunkowego roślin naczyniowych między poszczególnymi powierzchniami wskazuje wyraźnie na występowanie dwóch dużych grup zbiorowisk: subkontynentalnej i suboceanicznej. Należy przy tym zwrócić uwagę, że skład tych grup różni się nieco zależnie od sposobu określenia podobieństwa – na podstawie pokrywania (ilościowości) gatunków (ryc. 1) i na podstawie obecności lub braku gatunków (ryc. 2, 3). Trzon grupy subatlantyckiej stanowią powierzchnie: N1, K092, K098, K061, K023, S126, S005, S060, S023.

Zróżnicowanie florystyczne powierzchni badawczych  
Floristical differentiation of the study plots

Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KSO
Data (V 1995)	14.9.95	3	4	4	27.6.94	5	5	6	5
Ekspozycja	SW	–	–	–	–	–	–	–	–
Nachylenie w stopniach	3	–	–	–	–	–	–	–	–
Długość geograficzna	12°43'	14°54'	15°71'	16°44'	19°01'	19°33'	20°33'	21°71'	23°62'
Szerokość geograficzna	53°10'	52°66'	52°74'	52°79'	52°83'	52°8'	52°83'	52°68'	52°92'
Pokrycie A (%)	75	70	60	70	60	55	70	60	60
Pokrycie A1 (%)	75	70	60	70	60	50	70	60	50
Pokrycie A2 (%)	+		10			30	15	+	35
Pokrycie B (%)	5	1	10	20	80	70	20	80	5
Pokrycie C (%)	90	60	90	60	50	90	50	60	60
Pokrycie D (%)	95	60	50	80	70	50	40	50	80
Bez roślin (%)	5	10	5	5	5	1	10	1	1
Liczba gatunków naczyniowych runa	7	15	15	7	15	20	21	27	25
Liczba gatunków krzewów	4	4	7	3	5	10	8	8	8
Gatunki naczyniowe razem	13	9	22	10	20	32	29	36	33
Liczba gatunków porostów	6	15	15	17	14	9	14	6	16
Zbiorowisko rzeczywiste	LP	LP	LP	LPm	LP	QP	QPz	QP	PP
Zbiorowisko potencjalne	LuF	LP	LuF	LPm	LP	QP	TC	QP	PP

## Warstwa A1

<i>Pinus sylvestris</i> L.	7	7	6	7	6	5	7	6	5
<i>Betula pendula</i> Roth	+	+	+				1		+

Sporadycznie (+) w jednym zdjęciu: N1 – *Fagus sylvatica* L.; K126 – *Quercus robur* L.; S023 – *Picea abies* (L.) Karsten.

## Warstwa A2 i A3

<i>Betula pendula</i> Roth	+		1			+		+	
<i>Quercus robur</i> L.						3	2		+
<i>Picea abies</i> (L.) Karsten									3
<i>Fagus sylvatica</i> L.	+		1						

Sporadycznie (+) w jednym zdjęciu: B5 – *Pinus sylvestris* L.

## Warstwa B i B/C

<i>Quercus robur</i> L.	+	+	+	+		3	1	2	+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+	+	1		(+)	1	+	+	+



B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
23	23	22	21	19	20	20	6	8	8	8	9	8	9
-	-	SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-
-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
25°88'	27°15'	28°43'	30°21'	31°11'	32°63'	32°06'	22°28'	20°62'	20°42'	19°54'	18°74'	19°65'	18°34'
52°95'	52°82'	52°87'	53°24'	53°43'	53°35'	53°35'	52°64'	51°58'	51°11'	50°72'	50°58'	50°35'	50°18'
70	70	60	60	90	80	60	40	50	50	70	80	80	45
60	70	60	50	90	60	60	40	50	50	70	60	80	40
10	-	+	15	5	20	10	-	-	-	-	70	-	10
70	30	15	70	10	90	20	60	30	40	45	1	5	5
70	60	30	60	45	90	60	80	10	80	50	90	90	90
70	80	80	50	90	50	80	90	70	30	70	60	60	20
1	5	1	+	+	+	+	5	10	10	10	1	5	1
23	42	20	50	43	42	31	13	6	9	17	11	23	10
9	11	7	14	9	14	10	8	5	2	8	3	8	4
32	54	27	65	54	56	41	21	11	11	25	14	31	14
17	9	19	12	13	7	12	6	11	12	4	4	6	6
QP	PP	PP	QP	PP	QP	PPm	PPm	LP	LP	QP	LP	LP	QPm
QP	PP	PP	QP	PP	QP	PPm	PPm	QP	LP	QP	LP	QP	QPm

6	7	6	5	8	6	6	4	5	5	7	6	8	3
		+		1			+						

1		+	1	+		1		+					1
						1							
1			1	+	2						7		1

	+	1	+	1	+	+	2	2	+	1			+
1	+	+	1	+	7	+	+			+		+	



Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011
<i>Betula pendula</i> Roth	+	+	2		+	+	+	1	+
<i>Pinus sylvestris</i> L.		+	+	2	1		1		+
<i>Frangula alnus</i> Mill.	+		+		+	4	1	2	+
<i>Picea abies</i> (L.) Karsten				+					+
<i>Juniperus communis</i> L.			+		7	2	3	3	+
<i>Rubus idaeus</i> L.						+	1	3	
<i>Populus tremula</i> L.						+			
<i>Salix caprea</i> L.									
<i>Acer platanoides</i> L.						+	+	+	
<i>Pyrus pyraster</i> subsp. <i>achras</i> (Gaertn.) Stohr									
<i>Rubus</i> sect. <i>Suberecti</i> Mull.						2			
<i>Rubus saxatilis</i> L.									
<i>Fagus sylvatica</i> L.			+						
<i>Amelanchier ovalis</i> Med.									
<i>Quercus rubra</i> L.									
<i>Sambucus racemosa</i> L.									

Sporadycznie (+) w jednym zdjęciu: K055 – *Ribes uva-crispa* L., *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.; K126 – *Sambucus nigra* L.; K011 – *Pyrus communis* L.; S126 – *Rubus* cf. *hirtus* W.K.; S005 – *Padus serotina* (Ehrh.) Borkh.; B1 – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.; B4 – *Corylus avellana* L., *Viburnum opulus* L., *Salix starkeana* Willd.; B6 – *Malus sylvestris* (L.) Mill., *Salix aurita* L.; S028 – *Salix repens* L.

#### Warstwa C

<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Salisb.	+	1.3	1.3	3.3	+3	(r)	3.3	1	2
<i>Festuca ovina</i> L.	6	2	3	+	3	+	5.3	1	3.3
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.			1	4	6	2.3	(+)	2	4
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	7		2			7	1	3	6
<i>Melampyrum pratense</i> L.			+			(+)	1	+	2
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth.		1	+	+	+3			+	+
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.						+	+	+	+
<i>Rumex acetosella</i> L.	r	+	+		1	+	1	1	+
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	+		+2		+	+		+	+
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn						+		+	r
<i>Hieracium pilosella</i> L.			+		1		1	+2	
<i>Veronica officinalis</i> L.						+	+2	+	+
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) P.B.	5	5	7	+	1		+	2	
<i>Trientalis europaea</i> L.						1		+	
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth.	+		+3				1.3		+3

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
3	+	+	1			1	+	+		+		+	
3		+			1	+	+	+	4	3	+	+	+
+	1	+	4	+	1	1	1			2		+	
3	+	+	1	+	1	+	+			+	+		+
+	1			+			+	+				+	
	+		+		2	+3				+			
+	+			+	1	+						+	
	+		+	r	+	+						+	
			+	r									
	r	(+)	r	r	1								
+			2							+			
	+		1		+								
							4						
					+	+							
								2					
					1								

2	1	1	+	1.3	+	1.3	1	+3	3	1	(+)	(+)	(+)
1	1	1	+	+	1	4	1	+	1	+	1	2	
2	1	+	+	+	2	1	2	1.3	4	1	+	3	+3
2	3	2	5	1.2		1.3	6	1.3	4	2	5	2	3.3
+	1	1	+	+	+	2	1	+	+	1	+	+	
+	+3	r	+	+	+	1	2.3			+	1		4
+	+	+	+	+	1	1			r	+3	+	+	
	+	+	+		+	+				+			
	+		+	+	+						+		1
2	+	+	+		+	+	3			+			4.4
+2	+2	r	+	+	+	+						+	
+2	+2		+	+	+	+				+			
										3	3	3	3
+	+		1		1	1	1			1	1		2
	+		1	1	+		3			+			

Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS01
<i>Solidago virgaurea</i> L.					+			+	+
<i>Peucedanum oreoselinum</i> (L.) Moench						1.2	+		+
<i>Epilobium angustifolium</i> L.									+
<i>Scorzonera humilis</i> L.					+	(+)	1		+
<i>Carex ericetorum</i> Poll.					+		+	+	
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) Nutt.									
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.				+	+			1	+
<i>Festuca rubra</i> L.							+	+	+
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench			r	4.3					
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House						+3	+		
<i>Hypericum perforatum</i> L.							+	+	
<i>Hieracium umbellatum</i> L.									
<i>Poa pratensis</i> L.									
<i>Fragaria vesca</i> L.									+
<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce						1			
<i>Convallaria majalis</i> L.						2			+
<i>Lycopodium clavatum</i> L.							+2		+
<i>Viola canina</i> L. et <i>V. montana</i> L.						+			
<i>Thymus serpyllum</i> L.					+3				
<i>Achillea millefolium</i> L.									
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Vulgaria</i> Dahlst.									
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt									
<i>Pyrola chlorantha</i> Sw.									
<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv.			r					+2	
<i>Hieracium lachenalii</i> C.C. Gmelin							+	+	
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.						+2		1	
<i>Hypochoeris maculata</i> L.									
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dum.									
<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.									
<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.									
<i>Veronica chamaedrys</i> L.									
<i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) Dom.									
<i>Viola riviniana</i> Rchb.									
<i>Diphysium complanatum</i> (L.) Rothm.									+
<i>Chamaecytisus ratisbonensis</i> (Schaeffer) Rothm.							+2	+	+

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
+	+	r	+		+	+							
+	1		+	+		+		(r)					
+	+	+	+	+	+	1						+	
+	+		+	+									
+	+	+		+					+				
+	+	+	+	+	+	+2						1	
	+		+									+	
+	+		+		+								
+2			1			+3	4.4						4.3
	+		+	+	+							1	
	+	+		+	+								
+	+		+	+	+	(+)							
+2	1		r	+	1	1							
	+		+	+	2	+3							
	+		+	+	+	+							
	+		3.2	1	+								
					+					+		+	
			+	+	+								
	+			+3								+	
			r	+	+	(+)							
	(+)	+		+		+							
+2			+2		1							(+)	
	r			+		+3						1	
			(r)		+								
										+		+	
									r			+	
	+	+	+	+									
	(+2)				+	+							
	+			+	+								
	+		+	1									
			+		+	+							
	+2		1.3	3									
	+		+		+								
			+									(r)	



Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS01
<i>Lycopodium annotinum</i> L.									
<i>Galium mollugo</i> L.									
<i>Monotropa hypopitys</i> L.									r
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rauschel									
<i>Oxalis acetosella</i> L.								+2	
<i>Melica nutans</i> L.									
<i>Carex montana</i> L.									
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.									
<i>Succisa pratensis</i> Mnh.									
<i>Carex pilulifera</i> L.					1				
<i>Laserpitium prutenicum</i> L.									
<i>Geranium sanguineum</i> L.									
<i>Trifolium alpestre</i> L.									
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.									
<i>Danthonia decumbens</i> (L.) Lamk. et Dc.									
<i>Genista tinctoria</i> L.									+2
<i>Carex leporina</i> L.						(+)		+	
<i>Poa compressa</i> L.									

Sporadycznie (+) w jednym zdjęciu: K098 – *Senecio vernalis* W.K.; K023 – *Dianthus carthusianorum* L.; K117 – *Sarothamnus scoparius* (L.) Koch, *Gnaphalium sylvaticum* L.; K126 – *Rumex acetosa* L.; S005 – *Cerastium semidecandrum* L.; S028 – *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Hypochoeris glabra* L., *Lupinus luteus* L.; B2 – *Hypochoeris radicata* L., *Hieracium murorum* L., *Anthericum ramosum* L.; B3 – *Carex nigra* (L.) Reichard; B4 – *Pyrola rotundifolia* L., *Cerastium holosteoides* Fries em. Hyl., *Astragalus glycyphyllos* L.; B5 – *Arctostaphylos uva-ursi* L., *Pulsatilla teklae* Zam., *Silene nutans* L., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.; B6 – *Carex canescens* L., *Ly simachia nummularia* L., *Poa nemoralis* L., *Stellaria graminea* L., *Milium effusum* L.; B7 – *Dactylis glomerata* L., *Ledum palustre* L.

## Mszaki

<i>Pleurozium schreberi</i> Mitt.	9	6	5	8	6	5	3	5	7
<i>Brachythecium rutabulum</i> (Brid.) Podp.	+	+	+	+	1	+		+	+
<i>Dicranum undulatum</i> Ehrh.								+	+
<i>Leucobryum glaucum</i> (Hedw.) Schimp.		+	+						
<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb.								+	
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	+						1		+
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Br. eur.									+
<i>Orthodicranum montanum</i> Hedw.								+	
<i>Georgia pellucida</i> Raben.								+	

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
			+2				1.4					+	
					+	+3							2
+		+											
			+	+	+								
			+		2								
			+		+								
			+							+			
				+		+							
			+	+						+			
			+	+									
			+3	+2									
						+3	1						
	+	+											
				+									
												2	

6	7	4	4	7	5	8	7	4	3	6	5	6	2
					+		+				+		+
1	+	+	+	1	+	+	+		+		+	+	
							1	+	+	1			
		+					+		+	+			
								+					
			+	+			+						
				+					+				+
									+				+

Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS01
<i>Scleropodium purum</i> Limpr.				+			+	+	
<i>Polytrichum attenuatum</i> Menz.								+	+
<i>Aulacomnium palustre</i> Schwagr.									
<i>Lophocoelia bidentata</i> (L.) Dum.								+	+
<i>Lophocoelia heterophylla</i> (Schrader) Dum.									
<i>Plagiothecium laetum</i> Lindb.								+	
<i>Cephalozia bicuspidata</i> (L.) Dum.									
<i>Mnium affine</i> Bland.								+	
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.									+
<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	+								
<i>Polytrichum commune</i> L.									
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.									
<i>Cephaloziella starkei</i> (Funck) Schiffner									
<i>Sphagnum nemoreum</i> Scop.									
<i>Sphagnum apiculatum</i> Nees.									+

Porosty: a – naziemne; b – na murszejącym drewnie; c – na korze drzew  
(Uwaga: dla porostów nie określano ilościowości)

<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	c	c	c	bc	bc	bc	abc	c	bc
<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach.) Choisy		c	c	c	bc	b	bc	bc	c
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.	c	b		b	bc	bc	bc	bc	c
<i>Lecanora conizaea</i> (Ach.) Nyl.	bc	bc	bc	bc	bc	bc	bc	c	b
<i>Cladonia coniocraea</i> (Flk.) Vain.		a	b	ab	c	bc	b		b
<i>Micarea prasina</i> Fr.	c		b	b		c	b	b	
<i>Cladonia bacillaris</i> Nyl.		ab	b	b	b	c	ab	b	
<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.		b	b						b
<i>Cladonia furcata</i> (Huds.) Schrad.		a	a	a			a		a
<i>Cladina arbuscula</i> (Wallr.) Hale et W. Culb.		a	a	a					a
<i>Placynthiella uliginosa</i> (Schrad.) Coppins et P. James			b	b	b	c			
<i>Trapeliopsis flexuosa</i> (Fr.) Coppins et P. James			b		b				
<i>Scoliosporum chlorococcum</i> (Stenham.) Vezda	b						bc		c
<i>Cladonia macilenta</i> Hoffm.					b				bc



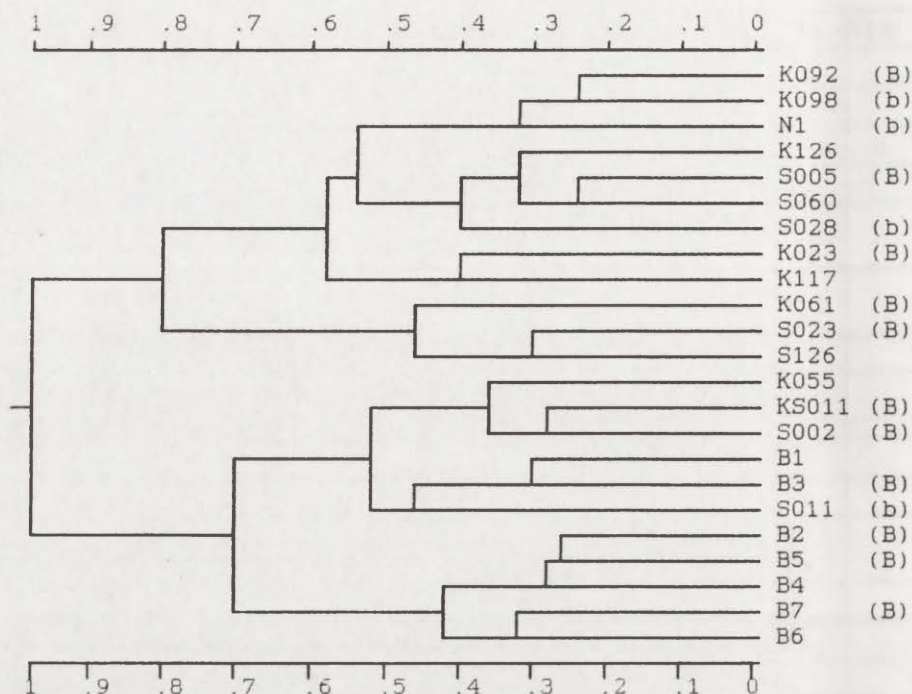


Stanowiska	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS01
<i>Cladina rangiferina</i> (L.) Nyl.		a	a	a			a		
<i>Cladonia cenotea</i> (Ach.) Schaer.			b		b				b
<i>Cladonia digitata</i> (L.) Hoffm.					b				bc
<i>Cladonia deformis</i> (L.) Hoffm.				b					
<i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) Fricke Meyer									c
<i>Cladonia chlorophaea</i> (Flk. ex Sommerf.) Spreng.		b	b	b	bc				
<i>Pseudevermia furfuracea</i> (L.) Zopf									
<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. in Cromb.	c	c	c			b			
<i>Parmelia sulcata</i> Tayl.									c
<i>Cladina mitis</i> (Sandst.) Hustich		a					a		
<i>Cladonia scabriuscula</i> (Del.) Leight.				b	b				
<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Ach.							c		
<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.									
<i>Cladonia ochrochlora</i> Flk.				b					
<i>Cladina portentosa</i> (Duf.) Follm.		a		a					
<i>Cladonia crispata</i> (Ach.) Flot.									
<i>Chaenotheca ferruginea</i> (Turn. ex Sm.) Migula									c
<i>Cladonia squamosa</i> (Scop.) Hoffm.									
<i>Cladonia phyllophora</i> Hoffm.						a			
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.									
<i>Phlyctis argena</i> (Ach.) Flot.									c
<i>Cladonia cornuta</i> (L.) Hoffm.									
<i>Cladonia glauca</i> Flk.					b				
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.							a		
<i>Cetraria pinastri</i> (Scop.) Ach.									
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.									
<i>Cladonia uncialis</i> (L.) Wigg.		a							
<i>Cladonia pyxidata</i> (L.) Fr.				b					
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl.									
<i>Cladonia</i> sp. plecha pierwotna	bc								b

Skróty nazw zbiorowisk:

LP – *Leucobryo-Pinetum*, LPm – *Leucobryo-Pinetum* wariant z *Molinia coerulea*, PP – *Peucedano-Pinetum*  
typicum, PPM – *Peucedano-Pinetum* wariant z *Molinia coerulea*, LuF – *Luzulo-Fagion*, QP – *Quercu roboris-Pine-*  
*tum*, QPz – *Quercu roboris-Pinetum* postać zdegradowana, QPM – *Quercu roboris-Pinetum molinietosum*, TC? –  
*Tilio-Carpinetum* (prawdopodobnie).

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
		a				a							
a			c	b									
	b		b					b	b				
a		a		c	c			ab					
		bc				c			bc	c			
		ab											
c		bc	b	c					c				
												bc	
			b	c									
		a											
		a											
						b							
a		a											
									b				
a		a											
c													
a				c									
						a							
				c									
		a											
				b									
			b										
c							c	c	c	b	b	b	b



Ryc. 1. Dendrogram podobieństwa składu gatunkowego roślin naczyniowych runa powierzchni badawczych na podstawie ilościowości gatunków (podobieństwo określono za pomocą współczynnika Czekanowskiego, dendrogram wg metody Warda)

(B) – bory świeże, (b) – zbiorowiska borów świeżych na siedlisku boru mieszanego, brak oznaczeń – bory mieszane

Dendrogram of similarity of floristic composition of the herb layer of study plots (on the basis of species cover) based on Czekanowski's index and Ward's method

(B) – pine forests; (b) – pine forests on the habitat of mixed forests; no additional sign – mixed forests

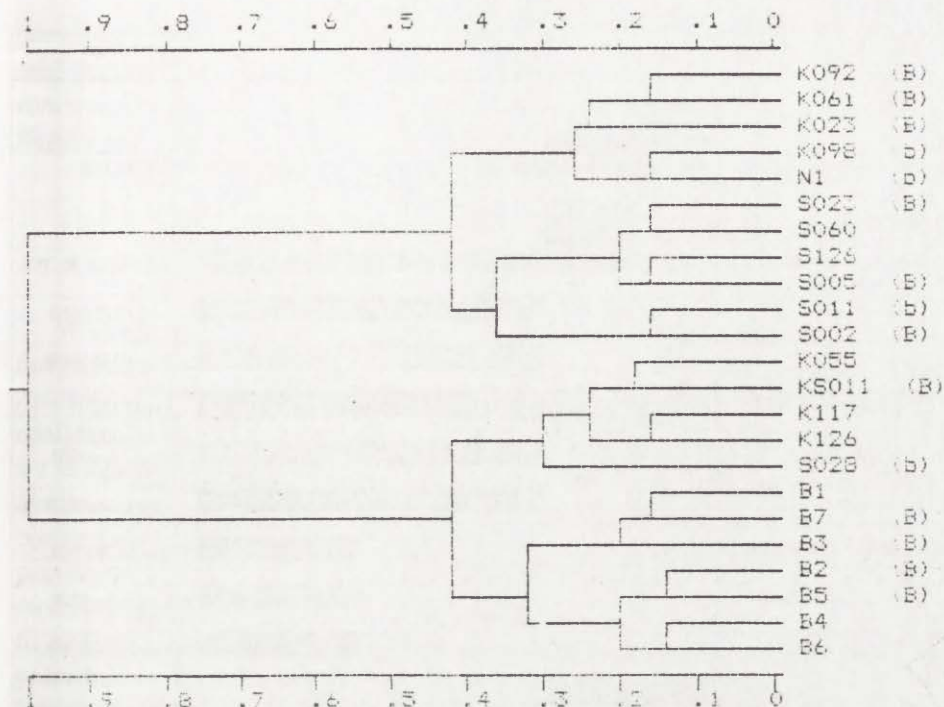
Przy uwzględnieniu pokrywania (ilościowości) gatunków, do tej grupy należą także powierzchnie K117, K126, S028 (które ze względu na podobieństwo składu gatunkowego są częścią grupy subkontynentalnej). Natomiast biorąc pod uwagę jedynie obecność lub brak gatunków grupę subatlantycką uzupełniają powierzchnie S011, S002 leżące w Dziale Wyżyn Południowopolskich. Przy uwzględnieniu pokrywania gatunków należą one do grupy borów subkontynentalnych.

Ryc. 3. Rozmieszczenie powierzchni badawczych i ich charakter fitosocjologiczny

Pełne kwadraty – bory sosnowe; pełne koła – bory mieszane; koła w kwadratach – bory sosnowe na siedlisku boru mieszanego. Linia ciągła – podział powierzchni na grupę wschodnią i zachodnią na podstawie obecności gatunków; linia przerywana – podział na grupy drugiego rzędu (porównaj ryc. 2).

Location of study plots and their phytosociological character

Solid rectangles – pine forests; solid circles – mixed forests; circles in rectangles – pine forests on the habitat of mixed forests. Solid line – division into western and eastern group (based on species presence-absence), broken line – second order division (compare fig. 2). Długość geograficzna – longitude; szerokość geograficzna – latitude

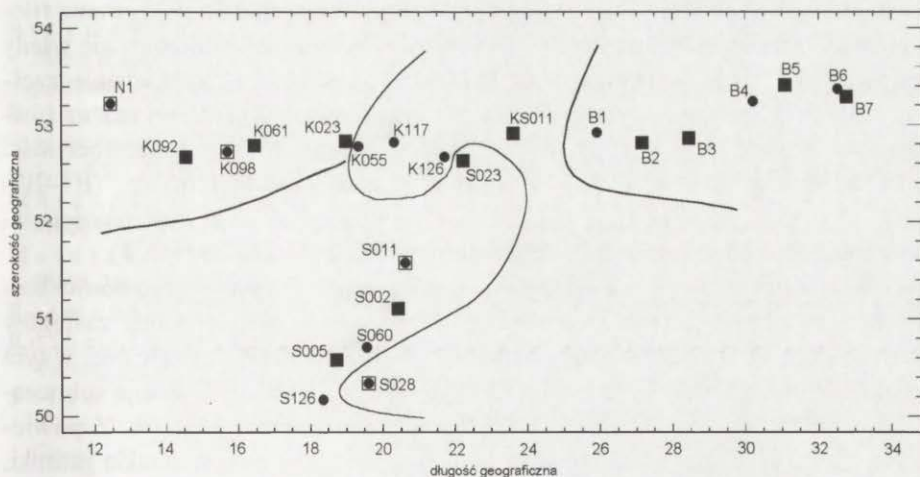


Ryc. 2. Dendrogram podobieństwa składu gatunkowego roślin naczyniowych runa powierzchni badawczych na podstawie obecności gatunków (podobieństwo określono za pomocą współczynnika Czekanowskiego, dendrogram wg metody Warda)

(B) – bory świeże, (b) – zbiorowiska borów świeżych na siedlisku boru mieszanego, brak oznaczeń – bory mieszane

Dendrogram of similarity of floristic composition of the herb layer of study plots (on the basis of species presence) based on Czekanowski's index and Ward's method

(B) – pine forests; (b) – pine forests on the habitat of mixed forests; no additional sign – mixed forests





Gatunek	Długość geograficzna						Typ zasięgu
	12	15	19	22	27	33	
	■	■					
<i>Deschampsia flexuosa</i>	■	■	■	■			ozCTRCPOL
		■	■	■	■	■	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>						■	arct.(subk)CTRCPOL
<i>Melampyrum pratense</i>			■	■	■	■	b.(oz)EUR-WAS
<i>Luzula pilosa</i>			■	■	■	■	b.(oz)EUR-WSTB
<i>Veronica officinalis</i>			■	■	■	■	b.(oz)EUR
<i>Peucedanum oreoselinum</i>			■	■	■	■	temp.subozEUR
<i>Scorzonera humilis</i>			■	■	■	■	temp.(suboz)EUR
<i>Chimaphila umbellata</i>					■	■	b.subkCTRCPOL
<i>Hypochoeris maculata</i>					■	■	temp.subozEUR
<i>Koeleria pyramidata</i>					■	■	b.(subk)EUR-WAS
<i>Lecanora conizaoides</i>	■	■	■				
<i>Cladonia chlorophaea</i>		■	■				
<i>Pseudevernia furfuracea</i>			■	■	■	■	

Ryc. 4. Występowanie wybranych gatunków w zależności od położenia geograficznego na transekcje zachód–wschód

Presence of chosen species along the the west–east transect

Podział na grupy niższej rangi ma przede wszystkim charakter geograficzny. W obrębie grupy subatlantyckiej skład gatunkowy pozwala wyróżnić podgrupy południową i zachodnią (ryc. 3), natomiast przy uwzględnieniu pokrywania (ilościowości) ważniejszy jest podział siedliskowy. Wyraźnie wyodrębnia się wtedy podgrupa stanowisk wilgotniejszych (K061, S023, S126), o dużym udziale trzęslicy (*Molinia caerulea*) (ryc. 1). W obrębie grupy subkontynentalnej można również wyróżnić dwie podgrupy, wyraźnie geograficzne. Na podstawie obecności lub braku gatunków roślin wszystkie stanowiska białoruskie (B1–B7) (ryc. 2) tworzą jedną podgrupę, natomiast przy uwzględnieniu ilościowości stanowiska B1 i B3 są bardziej podobne do powierzchni polskich (ryc. 1).

Jedną z przyczyn przestrzennej zmienności składu florystycznego borów sosnowych zależnych od położenia geograficznego jest zróżnicowanie zasięgów poszczególnych gatunków roślin znajdujących, przynajmniej teoretycznie, w tym typie roślinności odpowiednie warunki bytowania. Charakter wybitnie suboceaniczny wykazuje np. *Deschampsia flexuosa* i *Leucobryum glaucum*. Z powierzchniami o charakterze subkontynentalnym najsilniej są związane takie gatunki,

jak *Chimaphila umbellata*, *Hypochoeris maculata* i *Koeleria pyramidata*. Spośród porostów z powierzchniami zachodnimi najsilniej jest związana *Lecanora conizaeoides* i *Cladonia chlorophaea*. Natomiast *Pseudevernia furfuracea* występuje jedynie na stanowiskach położonych na wschód od 19 południka (ryc. 4).

#### 4. PODSUMOWANIE

W obrębie transektu zachód–wschód obserwuje się wyraźne zmiany składu florystycznego, zarówno w obrębie borów sosnowych, jak i borów mieszanych. Zróżnicowanie składu florystycznego odpowiada jednocześnie zróżnicowaniu edaficznemu siedlisk (z jednej strony podział na bory sosnowe i bory mieszane, a z drugiej – występowanie postaci typowych oraz wilgotnych z *Molinia caerulea*), a także podziałowi na geograficznie wikaryzujące zbiorowiska w obrębie borów świeżych (podział na *Peucedano-Pinetum* i *Leucobryo-Pinetum*). Główną przyczyną przestrzennej geograficznej zmienności składu florystycznego borów świeżych jest zróżnicowanie zasięgów poszczególnych gatunków roślin. Należy tu podkreślić, że stanowiska z Polski środkowej i południowej mają charakter pośredni między dobrze wyodrębnionymi borami o charakterze zachodnim i wschodnim.

Zróżnicowanie geograficzne i edaficzne powierzchni badawczych najsilniej odzwierciedla warstwa runa. Jest ono natomiast słabo widoczne w obrębie porostów. Wydaje się, że na zróżnicowanie porostów w znacznie większym stopniu wpływają czynniki lokalne (w tym historia użytkowania terenu) niż czynniki makrośrodowiskowe.

#### LITERATURA

- B r e y m e y e r A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.
- F a ł t y n o w i c z W., 1993, *A checklist of Polish lichen forming and lichenicolous fungi including parasitic and saprophytic fungi occurring on lichens*, Polish. Bot. Stud., 5, 1–65.
- M a t u s z k i e w i c z J. M., 1993, *Krajobrazy roślinne i regiony geobotaniczne Polski*, Prace Geogr., 158.
- M a t u s z k i e w i c z W., 1981, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa.
- R e j m e n t - G r o c h o w s k a J., 1950, *Wątrobowce*, PZWS.
- R o t h m a l e r W., 1976, *Exkursionsflora. Kritischer Band, Volk und Wissen Volkseigener, Verlag, Berlin*.
- S o l o n J., 1994, *Krajobrazowe zróżnicowanie roślinności rzeczywistej*, [w:] A. S. Kostrowicki, J. Solon (red.), *Studium geobotaniczno-krajobrazowe okolic Pińczowa*, Dokum. Geogr., 1–2, 83–94.

Sz a f e r W., K u l c z y ń s k i S., P a w ł o w s k i B., 1969, *Rośliny Polskie*, PWN, Warszawa.

Sz a f r a n B., 1957, *Flora polska, Mchy*, Tom I, PWN, Warszawa.

– 1961, *Flora polska, Mchy*, Tom II, PWN, Warszawa.

## A GEOBOTANICAL CHARACTERISTIC AND ANALYSIS OF THE RANGE OF FOREST COMMUNITIES AT STUDY SITES ALONG CLIMATIC (52°N, 12–32°E) AND „SILESIA” TRANSECT

### S u m m a r y

Geobotanical analysis of selected study sites was carried out: 1) to determine similarities and differences at the stage of the initial selection of study sites; and 2) to define the influence exerted by differences in climate and habitat conditions on the species composition and diversity of floristic herb layer. This reflects the fact that the herb layer reacts to all kinds of environmental change or difference, including to: (a) geographical location; (b) the type and properties of the habitat, mainly fertility and humidity, which influence the presence of species comprising a given phytocoenosis; and (c) anthropogenic distortions associated with environmental pollution, land use history and the maturity of the phytocoenosis.

A basis for the description of the vegetation at the 23 study sites was provided by a floristic characterization of a vegetation patch representative of the given type of community and registered on a phytosociological relevé. All of the identified study areas were representative of the *Dicrano-Pinion* alliance and embraced two communities of “fresh” pine forest (*Peucedano-Pinetum* and *Leucobryo-Pinetum*) as well as the community of mixed-pine forest (*Quercu roboris-Pinetum*). In accordance with the division of Poland and Europe into geobotanical regions (after J. M. Matuszkiewicz 1993), the 3 easternmost sites in Belarus are within the Central Russian Sub-province, Continental Mixed Forest Province. The remaining 20 sites are within the Central European Province. Site N1 is in the Southern Baltic Sub-province (Pomeranian Division), while the remaining sites are in the Central European Sub-province Proper, and within it the Divisions of Brandenburg-Wielkopolska, the Southern Polish Uplands and Mazowsze–Polesie, as well as the Northern Division.

On the basis of similarity indices it is possible to distinguish two geographical groups of plots: suboceanic and subcontinental (figs. 1, 2 and 3). The division into groups of lower rank is also primarily geographical in character. Within the sub-Atlantic group, floristic composition allows for the discernment of a southern and western sub-group (fig. 3), while cover points to the existence of a sub-group of the wettest sites characterized by a high proportional representation of purple moor grass *Molinia caerulea* (fig. 1). The sub-continental group could also be separated into two clearly-geographical sub-groups (fig. 2).

Geographical differentiation of the stands is connected with the presence of the groups of species of different geographical distribution type. For the western part of the transect, as a characteristic species, *Deschampsia flexuosa* and *Leucobryum glaucum* can be found. On the stands located on the easternmost part of the transect the following species are frequently found: *Pirola chlorantha*, *Chimaphila umbellata*, *Koeleria pyramidata* and *Hypochoeris maculata* (fig. 4).

Author's adress:

Ewa Roo-Zielinska, Jerzy Solon  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



JERZY SOLON, EWA ROO-ZIELIŃSKA

## ZRÓŻNICOWANIE STRUKTURY RUNA BORÓW I BORÓW MIESZANYCH NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH: KLIMATYCZNYM (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) I „ŚLĄSKIM”

### 1. WSTĘP

Poziome zróżnicowanie runa jest jedną z ważniejszych charakterystyk strukturalnych fitocenoz leśnych. Z jednej strony wpływa ono na przestrzenne zróżnicowanie przebiegu różnych procesów, takich jak m.in. produkcja materii organicznej i jej rozkład, a z drugiej może być indykatorem mikrozróżnicowania siedliskowego (w szczególności topograficznego, żyznościowego i wilgotnościowego). Jednym ze sposobów opisu poziomego zróżnicowania runa jest wyróżnianie, analiza i typologia synuzjów. Synuzjum jest to zgrupowanie, w obrębie jednej warstwy zbiorowiska, gatunków charakteryzujących się zbliżoną formą życiową i podobnymi wymaganiami ekologicznymi. Podstawowe jednostki przestrzenne oraz funkcjonalno-czasowe w obrębie fitocenozy określa się niekiedy mianem synuzjów (Mavriscev 1980; Gillet 1986; Julve, Gillet 1994).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zróżnicowania synuzjalnego runa powierzchni badawczych położonych na transekcie zachód-wschód, opracowanie typologii przeanalizowanych synuzjów i określenie średniej biomasy w obrębie poszczególnych typów synuzjów i w obrębie powierzchni badawczych.

### 2. METODY

Podstawą opisu struktury synuzjalnej runa powierzchni badawczej było kartowanie terenowe w obrębie prostokątnej powierzchni  $5 \times 20$  m, najbardziej typowej dla każdego z 9 stanowisk badawczych (N1, K092, K098, K061, K023, K055, K117, K126, KS011), leżących na transekcie zachód-wschód na obszarze Polski i Niemiec (w tej analizie nie uwzględniono stanowisk białoruskich). Ponadto wykonano spisy florystyczne w obrębie poszczególnych synuzjów. Ilościowość gatunków (pokrywanie) oszacowano w zmodyfikowanej skali 12-sto-



pniowej, w której r, 1 oznaczają odpowiednio 0,1, 0,5 i do 10%, pozostałe wartości od 2 do 10 – kolejne przedziały dziesięcioprocentowe. Spisy te były podstawą do wyróżnienia typów synuzjów. W tabeli typologicznej umieszczone jedynie te gatunki, których pokrywanie było wyższe niż 10%. Gatunki roślin naczyniowych określano na podstawie klucza Szafera, Kulczyńskiego i Pawłowskiego (1969), a nazewnictwo stosowano zgodnie z opracowaniem Rothmalera (1976). Kartowanie i spisy gatunków roślin wykonano w czerwcu 1995 r.

Podobieństwo składu florystycznego między poszczególnymi synuzjami obliczono na podstawie miary odległości Czekanowskiego i przedstawiono za pomocą dendrogramu wykonanego metodą Warda (Solon 1994).

Biomasę warstwy runa (roślin naczyniowych i mchów) określono na podstawie jednorazowego pomiaru przeprowadzonego we wrześniu i październiku 1995 roku na wszystkich 23 stanowiskach dwóch transektów: klimatycznego i „śląskiego”. Na każdym z nich zebrano 6 prób biomasy z powierzchni: 0,1 m<sup>2</sup> o kształcie kolistym. Wybór powierzchni do replikacji nie był losowy: w obrębie danego stanowiska badawczego starano się wykonać po trzy powierzenia w dwóch powierzchniowo dominujących typach synuzjów. W terenie zebrano całą biomasę, którą następnie rozdzielono na żywą biomasę mchów i roślin wyższych. Martwe części roślin usunięto. Próby wysuszono do stałej wagi w temp. 90°C i zważono z dokładnością do 0,01 g. Otrzymane wyniki uśredniono w odniesieniu do typu synuzjum i powierzchni badawczej i przeliczono na 1 m<sup>2</sup>.

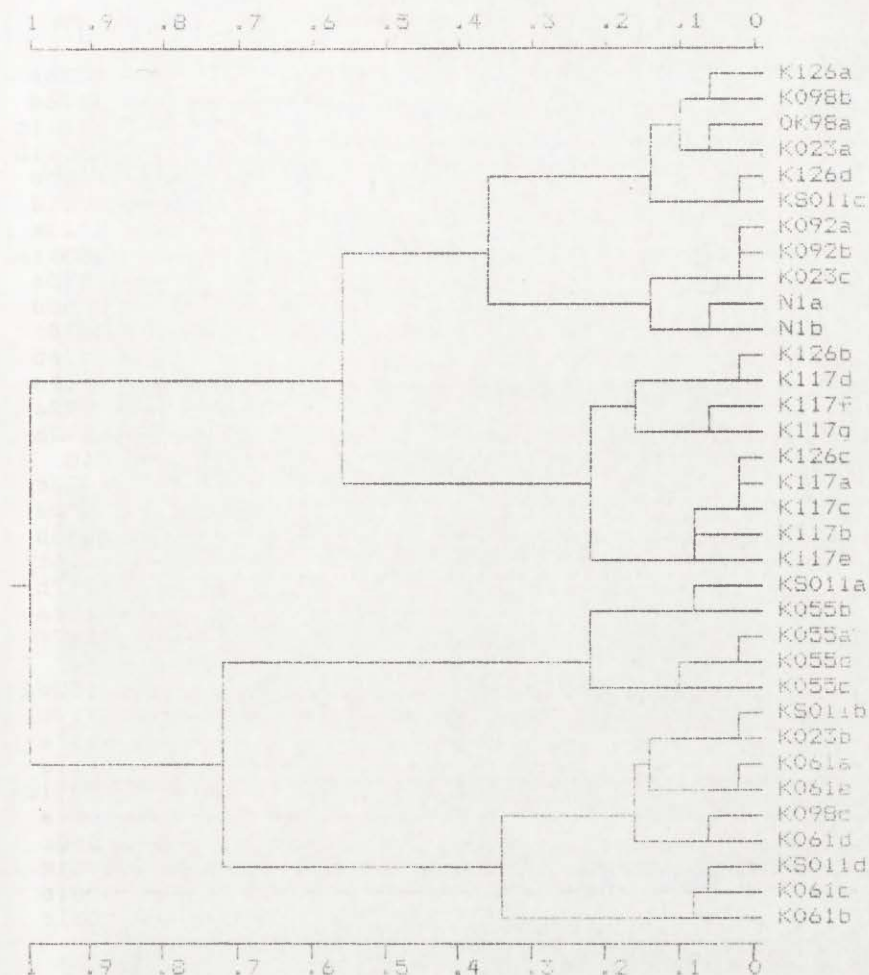
Zależności między wielkością biomasy i położeniem geograficznym określono jedynie dla 17 stanowisk leżących na transekcje klimatycznym.

### 3. WYNIKI

#### 3.1. GŁÓWNE TYPY SYNUZJÓW

Na 9 powierzchniach badawczych wykonano 34 opisy synuzjów. Analiza dendrogramów podobieństwa wskazuje na występowanie czterech grup synuzjów, w obrębie których wzajemne podobieństwo jest wyższe niż 0,6 (ryc. 1, 2). Należy przy tym zwrócić uwagę, że grupy te obejmują różne synuzja w zależności od tego, czy podobieństwo określano na podstawie ilościowości gatunków czy jedynie na podstawie ich obecności.

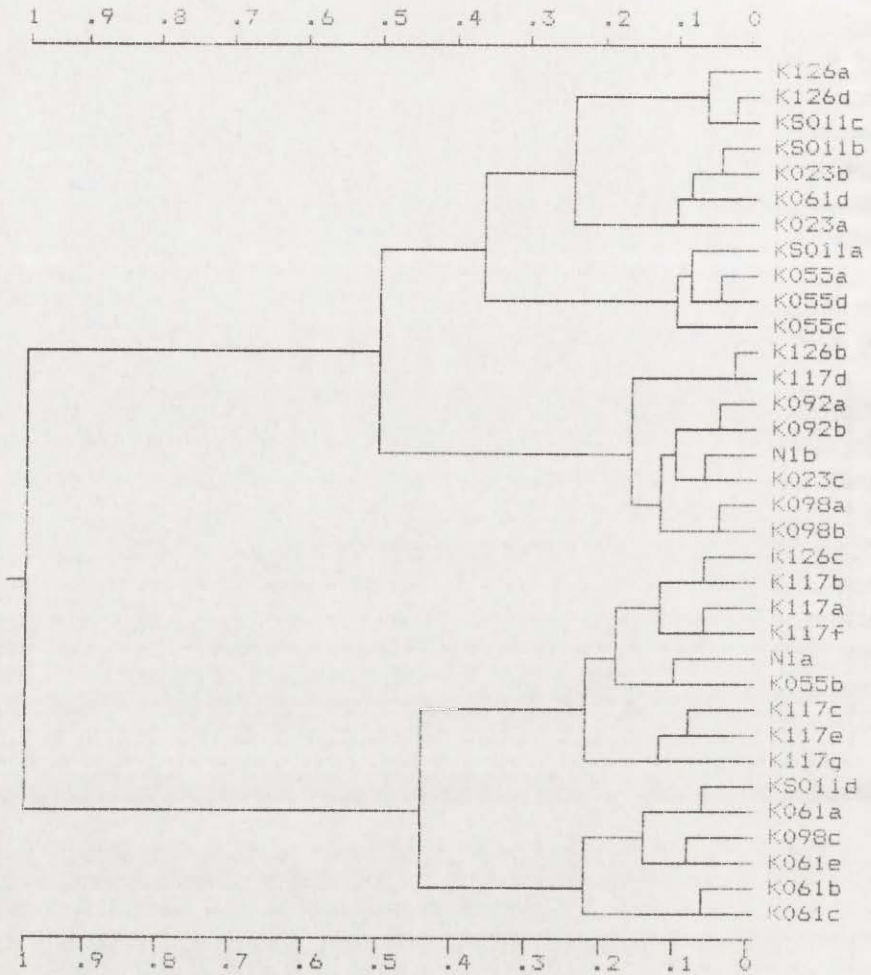
Na podstawie gatunków dominujących, form życiowych i stopnia pokrycia terenu roślinnością oraz przy uwzględnieniu grup wynikających z analizy dendrogramów można wyróżnić 6 głównych typów synuzjów (tab. 1). Pierwszy typ obejmuje synuzja z bezwzględną dominacją borówki czernicy i niewielkim udziałem mchów oraz sporadycznym występowaniem różnych gatunków trawiatych. Drugi typ charakteryzuje się dominacją borówki brusznicy i w porównaniu z typem pierwszym występuje na miejscach lokalnie nieco suchszych. Trzeci typ obejmuje synuzja mszyste z dominacją *Pleurozium schreberi*. Jest to



Ryc. 1. Dendrogram podobieństwa składu gatunkowego synuzjów (na podstawie obecności gatunków) według miary podobieństwa Czekanowskiego i metody grupowania Warda

Dendrogram of similarity of floristic composition of synusiae (on the basis of species presence) based on Czekanowski's index and Ward's method

typ występujący najczęściej i jednocześnie najsilniej zróżnicowany na podtypy w zależności od obecności i charakteru współdominantów i subdominantów. W szczególności można wyróżnić podtyp czysto mszysty, mszysto-brusznicy, mszysto-czernicowy, mszysto-trzcinnikowy, mszysto-kostrzewowy, mszysto-śmiałkowy oraz mszysto-śmiałkowo-kostrzewowy. Następny typ obejmuje synuzja charakteryzujące się współdominacją trzech-czterech gatunków, a brakiem wyraźnej dominanty. W obrębie tego typu pierwszy podtyp obejmuje synuzja mszysto-trawiaste, a drugi mszysto-wrzosowe. Piąty typ obejmuje synuzja z dominacją kostrzewy owczej, natomiast typ szósty charakteryzuje się bardzo luźną pokrywą roślinną, która zajmuje nie więcej niż 20% powierzchni.



Ryc. 2. Dendrogram podobieństwa składu gatunkowego synuzjów (na podstawie pokrywania gatunków) według miary podobieństwa Czekanowskiego i metody grupowania Warda

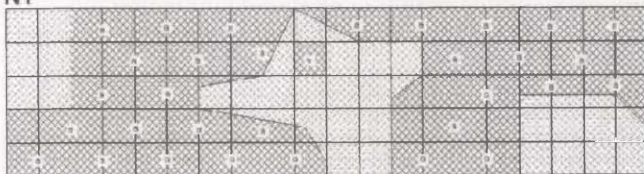
Dendrogram of similarity of floristic composition of synusiae (on the basis of species cover) based on Czekanowski's index and Ward's method

### 3.2. ZRÓŻNICOWANIE SYNUZJALNE POWIERZCHNI BADAWCZYCH

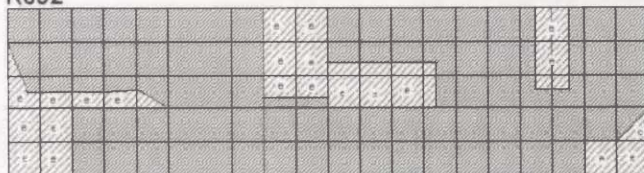
Poszczególne powierzchnie badawcze różnią się wyraźnie pod względem zestawu typów synuzjów jak i ich rozmieszczeniem przestrzennym (ryc. 3). Na kartowanych fragmentach powierzchni występuje od 2 do 4 typów synuzjów tworzących od 3 do 32 indywidualnych płatów. Wydaje się przy tym, że bory mieszane mają znacznie bardziej mozaikowy charakter runa, gdyż na tych powierzchniach obserwuje się wyraźnie wyższe liczby płatów synuzjów różnych typów (ryc. 3).



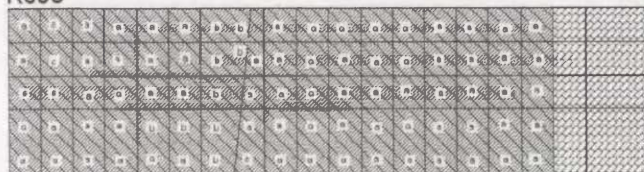
N1



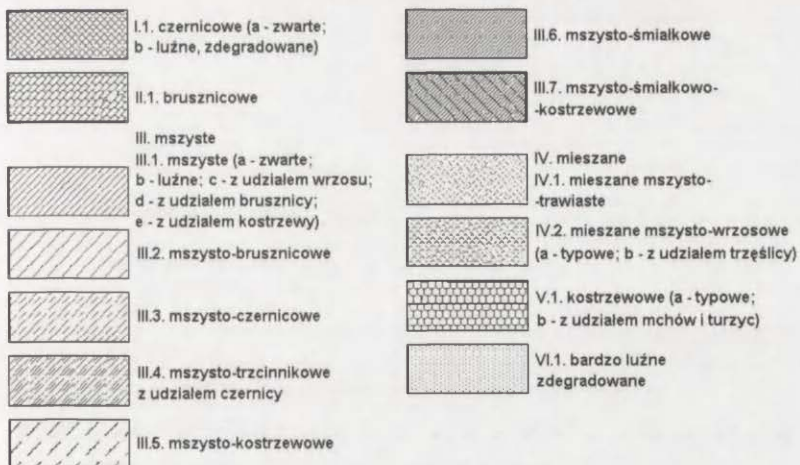
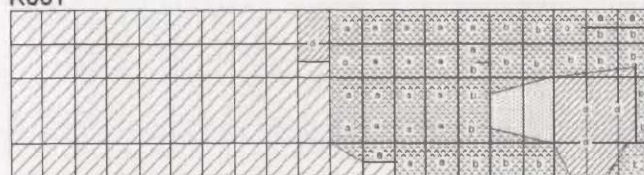
K092



K098



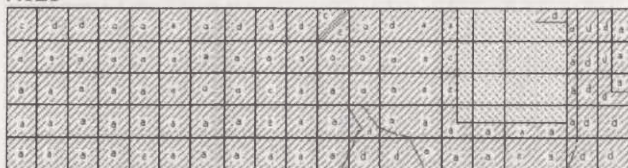
K061



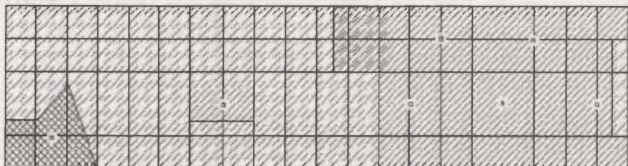
Ryc. 3. Zróżnicowanie synuzjalne powierzchni badawczych  
Synusial differentiation of study plots. Legend – see tab. 3



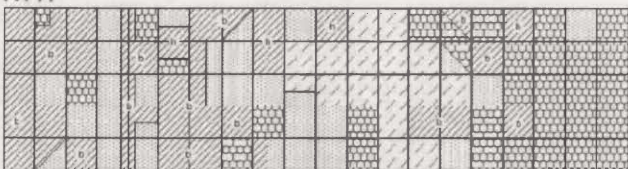
K023



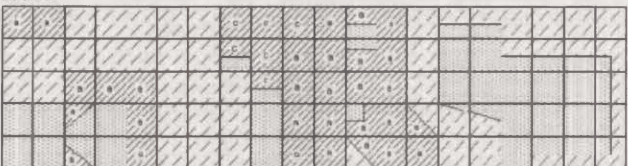
K055



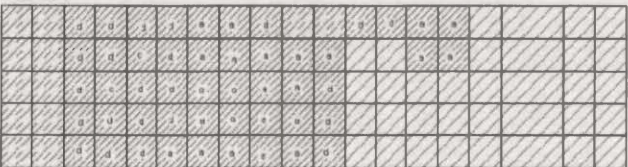
K117





K126




KS011





 I.1. czernicowe (a - zwarte;  
b - luźne, zdegradowane)


 II.1. brusznicowe


III. mszyste


 III.1. mszyste (a - zwarte;  
b - luźne; c - z udziałem wrzosisu;  
d - z udziałem bruszniczy;  
e - z udziałem kostrzewy)


 III.2. mszysto-brusznicowe

 III.3. mszysto-czernicowe


 III.4. mszysto-trzcinnikowe  
z udziałem czernicy


 III.5. mszysto-kostrzewowe


 III.6. mszysto-śmiałkowe


 III.7. mszysto-śmiałkowo-  
kostrzewowe

IV. mieszane

 IV.1. mieszane mszysto-  
trawiaste

 IV.2. mieszane mszysto-wrzosowe  
(a - typowe; b - z udziałem trzęślicy)

 V.1. kostrzewowe (a - typowe;  
b - z udziałem mchów i turzyc)

 VI.1. bardzo luźne  
zdegradowane

Skład florystyczny synuzjów na transekcie zachód-wschód  
Floristic composition of synusia on the west-east transect

Typ synuzjum	I.1b	I.1a	II.1	III.2		III.Id			III.1a			III.1c	III.3	III.4	III.5	III.1e	III.6	III.7a	III.7	IV.1	V.1b	V.1a			III.Ib		IV.2	IV.2	VI							
Stanowiska	K055	N1	K098	K061	KS011	KS011	K023	K061	K055	K023	K126	KS011	K126	KS011	K055	K055	K126	K117	K092	K092	K098	K098	N1	K023	K117	K117	K117	K117	K117	K117	K117	K061	K061	K126	K117	K061
Replikacja	b	a	c	a	d	b	b	d	c	a	a	c	d	a	a	d	b	d	b	a	a	b	b	c	e	g	c	f	a	c	b	c	b	e		
<i>Vaccinium myrtillus</i>	2	5									1	1	1	4	3	3					2	1														
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>				3	4	4	2	3	2		1	1	1	1							1	1							2						1	
<i>Entodon schreberi</i>	1	2	1	3	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	3	2	2	1	1	3	3	2	2	1	1	1	1	
<i>Deschampsia flexuosa</i>		1														1	3	3	3	3	3	3														
<i>Festuca ovina</i>		1							1	1	1	1				3	4	2	1	3	3	3	2	3	4	4	1	1					1	1		
<i>Calluna vulgaris</i>					1						1	2													1		1	2	3							
<i>Molinia caerulea</i>																												2	1							
<i>Carex ericetorum</i>																						2														
<i>Calamagrostis arundinacea</i>									1					1	4																					
Lichenes			1					1																											1	
Brak roślin	4	1	3	1	1																				1	1	2	2	1	1	5	4	4			

I. czernicowe (*Vaccinium myrtillus*)

I.1. czernicowe (a – typowe; b – luźne, zdegradowane)

II. brusznicowe (*Vaccinium vitis-idaea*)

II.1. brusznicowe

III. mszyste (*Pleurozium schreberi*)III.1. mszyste (a – typowe; b – luźne; c – z udziałem wrzosu [*Calluna vulgaris*])d – z udziałem brusznicy [*Vaccinium vitis-idaea*]; e – z udziałem kostrzewy [*Festuca ovina*]III.2. mszysto-brusznicowe (*Pleurozium schreberi* – *Vaccinium vitis-idaea*)III.3. mszysto-czernicowe (*Pleurozium schreberi* – *Vaccinium myrtillus*)III.4. mszysto-trzcinnikowe z udziałem czernicy (*Pleurozium schreberi* – *Calamagrostis arundinacea*)III.5. mszysto-kostrzewowe (*Pleurozium schreberi* – *Festuca ovina*)III.6. mszysto-śmiałkowe (*Pleurozium schreberi* – *Deschampsia flexuosa*)III.7. mszysto-śmiałkowo-kostrzewowe (*Pleurozium schreberi* – *Festuca ovina* – *Deschampsia flexuosa*)

## IV. mieszane

IV.1. mieszane mszysto-trawiaste

IV.2. mieszane mszysto-wrzosowe (*Pleurozium schreberi* – *Calluna vulgaris*)(a – typowe; b – z udziałem trzęślicy [*Molinia caerulea*])V. kostrzewowe (*Festuca ovina*)

V.1. kostrzewowe (a – typowe; b – z udziałem mchów i turzyc)

## VI. zdegradowane

VI.1. bardzo luźne, zdegradowane

Zróznicowanie geograficzne synuzjów rysuje się słabo i wynika ze zróżnicowania zasięgów gatunków dominujących (Roo-Zielińska, Solon 1997). Z powierzchniami zachodnimi związane są synuzja mszysto-śmiałkowe, mszysto-śmiałkowo-kostrzewowe i mieszane mszysto-trawiaste. Wydaje się, że większość typów synuzjów występuje zarówno w borach świeżych, jak i w borach mieszanych. Silniej z borami świeżymi są związane jedynie synuzja mieszane mszysto-trawiaste i mszysto-wrzosowe oraz mszysto-bruszcicowe i czysto mszyste. Natomiast w borach mieszanych spotyka się częściej synuzja mszysto—kostrzewowe, mszysto-trzcinnikowe oraz kostrzewowe.

### 3.3. BIOMASA W SYNUZJACH

Biomasa mchów i roślin naczyniowych różni się znacznie w poszczególnych synuzjach jak i ich typach i wynosi od ok. 15 g/m<sup>2</sup> (w synuzjach zdegradowanych) do ponad 600 g/m<sup>2</sup> (w synuzjach mszysto-czernicowych) (tab. 2). Zmienność biomasy w obrębie poszczególnych typów synuzjów jest również stosunkowo wysoka, a różnica między najuboższym a najuboższym płatem może osiągać nawet 300%. Zmienność tę tylko częściowo można wytłumaczyć zmiennością geograficzną (ryc. 4). Jedyna istotna statystycznie (na poziomie istotności 0,05) korelacja (wynosząca 0,67) z długością geograficzną dotyczy biomasy mchów w obrębie mszysto-czernicowego podtypu synuzjów. W przypadku tego podtypu korelacje między długością geograficzną z jednej strony a biomasą roślin naczyniowych oraz biomasą ogólną są stosunkowo wysokie (ok. 0,5), ale ich istotność jest bardzo niska. Podobnie jest w przypadku synuzjów czysto mszystych. Wydaje się, że niska istotność korelacji związana jest z niską liczebnością analizowanej próby, a otrzymane wyniki mogą świadczyć o niewielkiej zmienności biomasy w poszczególnych typach synuzjów w kierunku z zachodu na wschód.

W kilku typach synuzjów stosunek biomasy roślin naczyniowych do biomasy mchów jest stosunkowo stały i wyraźnie odmienny od innych typów. W przypadku synuzjów czernicowych (I) i bruszcicowych (II) mieści się on w przedziale 4 i 5; dla typu mszystego (III) jest prawie zawsze mniejszy od 1 (w kilku tylko przypadkach jest większy od 1 i osiąga wartość ok. 3); dla typu mieszanego (IV) zmienia się od ok. 1 do 3; w przypadku typu kostrzewowego (V) waha się między 3,5 i 5,5; dla typu zdegradowanego (VI) oscyluje ok. 1, natomiast w przypadku typu trzęślicowego (VII) jest zawsze większy od 2 i może znacznie przekraczać 10.

### 3.4. PRZECIĘTNA BIOMASA W ZBIOROWISKU

Przeciętna biomasa runa i warstwy mszystej na całych powierzchniach badawczych zmienia się wyraźnie wraz z położeniem geograficznym (tab. 2). Współczynnik korelacji biomasy mchów z długością geograficzną dla wszystkich 17 stanowisk na transekcie zachód-wschód wynosi 0,701\*\*\*, dla borów świeżych 0,701\* i dla borów mieszanych 0,712\* (\*\*\*) oznacza poziom istotności 0,001; \*\* 0,01; \* 0,05). Z długością geograficzną skorelowana jest również łącz-



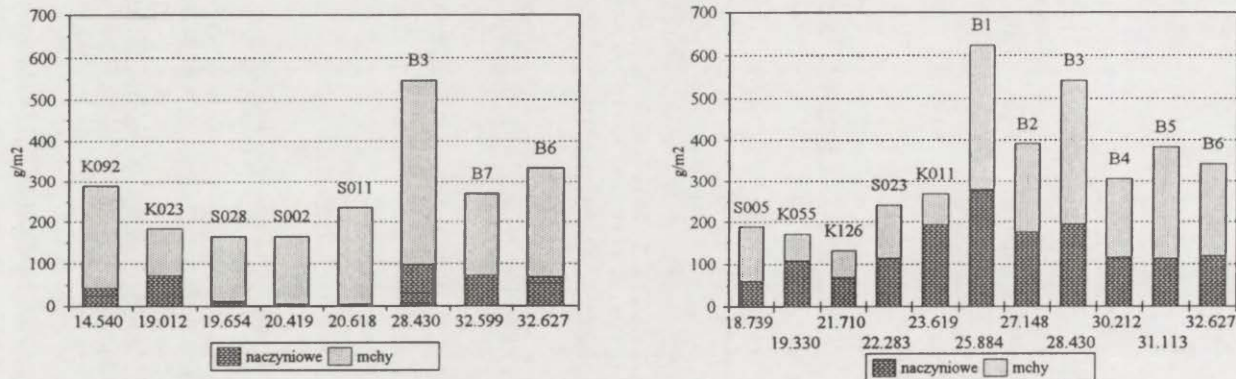
Zróżnicowanie biomasy ( $\text{g/m}^2$ ) synuzjów i powierzchni badawczych w 1995 r.Biomass differentiation ( $\text{g/sq. m}$ ) of synusia and permanent plots in 1995

Stano- wiska	Data	Typ	Liczba replikacji	Runo		Mchy		Razem	
				średnia	odchy- lenie	średnia	odchy- lenie	średnia	odchy- lenie
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N1	14.09.	IV.1	3	137,83	45,69	45,10	14,67	182,93	59,93
		I.1	3	159,77	24,07	31,57	33,20	191,33	40,53
		średnio	6	148,80	38,13	38,33	26,54	187,13	51,33
K092	15.09.	III.1	3	42,70	5,42	247,17	19,19	289,87	13,85
		III.6	3	62,00	8,86	214,33	55,52	276,33	51,73
		średnio	6	52,35	12,13	230,75	44,66	283,10	38,47
K098	13.09.	III.7	6	77,30	25,52	114,87	45,99	192,17	69,35
		średnio	6	77,30	25,52	114,87	45,99	192,17	69,35
K061	13.09.	III.2	3	101,80	31,25	99,03	24,24	200,83	29,07
		IV.2	3	126,73	52,14	102,53	62,24	229,27	88,69
		średnio	6	114,27	44,76	100,78	47,26	215,05	67,51
K023	12.09.	III.1	6	72,00	31,22	112,08	66,32	184,08	59,78
		średnio	6	72,00	31,22	112,08	66,32	184,08	59,78
K055	12.09.	III.3	3	107,87	33,10	64,10	17,56	171,97	39,39
		I.1	3	79,97	19,38	16,33	11,80	96,30	26,10
		średnio	6	93,92	30,50	40,22	28,18	134,13	50,48
K117	12.09.	III.5	3	34,93	18,66	46,63	3,23	81,57	18,51
		VI.1	3	8,60	4,52	7,03	4,45	15,63	8,20
		średnio	6	21,77	18,91	26,83	20,18	48,60	35,94
K126	11.09.	III.3	3	69,13	26,76	61,93	11,77	131,07	17,68
		III.5	3	38,97	9,19	48,10	10,30	87,07	8,56
		średnio	6	54,05	25,05	55,02	13,04	109,07	26,02
KS01	11.09.	III.3	3	192,57	28,66	76,60	13,49	269,17	16,36
		III.2	3	90,13	5,44	178,73	36,85	268,87	31,47
		średnio	6	141,35	55,22	127,67	58,12	269,02	25,08
B1	24.09.	III.3	3	278,83	39,85	344,33	86,88	623,17	49,99
		III.2	3	68,60	10,37	279,00	68,86	347,60	68,15
		średnio	6	173,72	109,07	311,67	84,92	485,38	150,19
B2	23.09.	III.3	3	175,90	38,77	215,00	11,22	390,90	45,67
		IV.2	3	144,67	71,34	288,00	17,47	432,67	54,17
		średnio	6	160,28	59,50	251,50	39,34	411,78	54,28
B3	22.09.	III.1	3	97,83	23,39	448,17	58,25	546,00	35,31
		III.3	3	194,33	70,21	347,00	58,86	541,33	126,63
		średnio	6	146,08	71,18	397,58	77,38	543,67	92,99



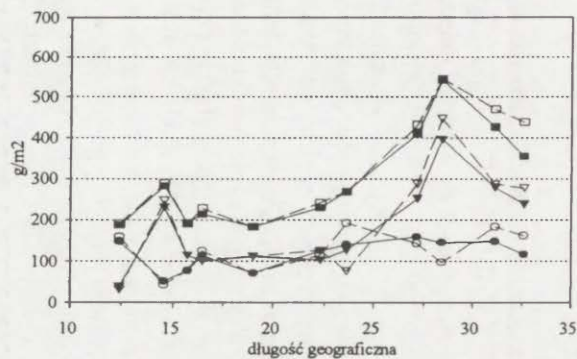
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B4	22.09.	III.3	3	115,67	45,84	190,33	21,45	306,00	62,12
		IV.1	3	139,83	27,48	163,67	50,33	303,50	76,46
		średnio	6	127,75	39,68	177,00	40,92	304,75	69,67
B5	21.09.	III.3	3	113,00	12,68	270,10	18,61	383,10	28,39
		IV.1	3	183,83	62,28	287,33	16,01	471,17	68,33
		średnio	6	148,42	57,22	278,72	19,38	427,13	68,38
B6	20.09.	III.3	3	119,00	57,71	223,00	19,80	342,00	66,71
		III.1	3	69,33	29,10	264,33	41,07	333,67	52,45
		średnio	6	94,17	52,01	243,67	38,30	337,83	60,15
B7	20.09.	III.1	3	72,17	20,68	198,33	36,28	270,50	31,31
		III.5	3	162,17	31,56	277,67	50,31	439,83	51,79
		średnio	6	117,17	52,32	238,00	59,14	355,17	94,87
S023	11.09.	VII.1	3	138,90	7,07	78,77	52,91	217,67	49,15
		III.3	3	114,77	34,71	127,20	38,66	241,97	71,85
		średnio	6	126,83	27,80	102,98	52,28	229,82	62,75
S011	2.10.	III.1	3	3,23	1,87	233,03	15,51	236,27	16,09
		II.1	3	155,33	8,49	34,23	9,35	189,57	6,74
		średnio	6	79,28	76,30	133,63	100,22	212,92	26,41
S002	1.10.	III.1	3	3,47	1,56	161,63	40,15	162,37	39,89
		III.2	3	192,03	54,94	58,07	43,36	250,10	46,88
		średnio	6	97,75	101,98	109,85	66,54	207,60	60,77
S060	1.10.	III.6	3	54,43	10,36	105,87	25,15	160,30	15,64
		III.7	3	81,93	22,09	93,10	10,24	175,03	13,82
		średnio	6	68,18	22,06	99,48	20,24	167,67	16,49
S005	2.10.	III.3	3	60,77	6,68	127,03	7,69	187,80	13,49
		V.1	3	202,87	9,39	54,60	29,53	257,47	33,33
		średnio	6	131,82	71,52	90,82	42,16	222,63	43,13
S028	3.10.	IV.1	3	46,37	6,25	35,77	1,03	82,13	6,98
		III.1	1	11,30	-	153,80	-	165,10	-
		II.1	1	170,10	-	40,60	-	210,70	-
		III.2	1	60,10	-	142,00	-	202,10	-
		średnio	6	63,43	50,16	73,95	52,43	137,38	57,21
SI26	2.10.	V.1	3	146,03	32,47	26,50	9,03	172,53	23,97
		VII.1	3	328,67	90,95	6,67	2,94	335,33	93,57
		średnio	6	237,35	114,02	16,58	11,98	253,93	106,26

na biomasa runa i mchów w przypadku borów (0,779\*\*) i wszystkich stanowisk łącznie (0,779\*\*\*). Jeśli za charakterystykę stanowiska przyjąć średnią biomasa najbogatszego typu synuzjum, to okaże się, że związki korelacyjne mają charakter podobny: współczynnik korelacji biomasy mchów z długością geograficzną dla wszystkich 17 stanowisk na transekcje zachód-wschód wynosi 0,687\*\*\*,

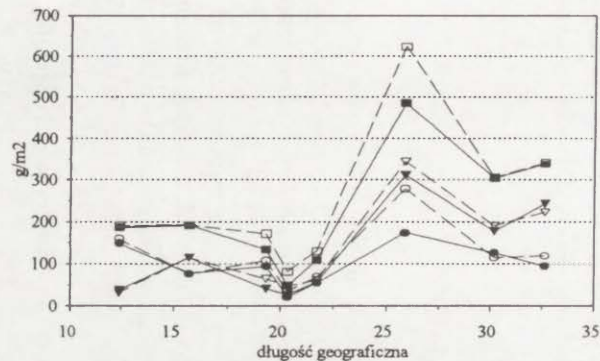
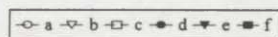


Ryc. 4. Zmienność biomasy synuzjów w zależności od położenia geograficznego na transekcie zachód–wschód (A – typ III. 1. mszysty; B – typ III. 3. mszysto-czernicowy)

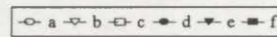
Changes in biomass of synusiae along the west–east transect (A – III. 1. typical *Pleurozium schreberi* subtype; B – III. 3. *Pleurozium schreberi-Vaccinium myrtillus* subtype). (naczyńiowe = vascular plants; mchy = mosses)



A



B



Ryc. 5. Zmienność biomasy powierzchni badawczych w zależności od położenia geograficznego na transekcie zachód-wschód (A – bory sosnowe; B – bory mieszane)

Oznaczenia zmiennych: a – średnia biomasa roślin naczyniowych w najbujniejszym synuzjum na stanowisku; b – średnia biomasa mchów w najbujniejszym synuzjum na stanowisku; c – średnia łączna biomasa roślin naczyniowych i mchów w najbujniejszym synuzjum na stanowisku; d – średnia dla stanowiska biomasa roślin naczyniowych; e – średnia dla stanowiska biomasa mchów; f – średnia dla stanowiska łączna biomasa roślin naczyniowych i mchów

Changes in biomass of study plots along the west-east transect (A – pine forests; B – mixed forests)

Variables: a – mean biomass of vascular plants in the richest synuzjum of the plot; b – mean biomass of mosses in the richest synuzjum of the plot; c – mean biomass of vascular plants and mosses in the richest synuzjum of the plot; d – mean biomass of vascular plants on the plot; e – mean biomass of mosses on the plot; f – mean biomass of vascular plants and mosses on the plot. Długość geograficzna = geographical longitude

a dla borów świeżych 0,687\*. Natomiast współczynnik korelacji między długością geograficzną i łączną biomasą mchów i roślin naczyniowych wynosi odpowiednio 0,847\*\*\* oraz 0,848\*\*\*. Należy podkreślić, że zarówno w przypadku średniej biomasy zbiorowiska jak i średniej biomasy w najbogatszym synuzjum nie ma istotnych statystycznie korelacji między biomasą roślin naczyniowych i długością geograficzną (ryc. 5).

#### 4. PODSUMOWANIE

W obrębie borów i borów mieszanych runo nie jest jednorodne, lecz tworzy układ odrębnych mikropowierzchni różniących się dominacją poszczególnych gatunków i form życiowych. Szczegółowa analiza zmienności przestrzennej biomasy runa i mszaków wykonana dla różnych zbiorowisk leśnych w Puszczy Kampinoskiej (Kwiatkowska, Dudziec 1974) wskazuje jednoznacznie na istotne różnice występujące zarówno w obrębie fitocenozy, jak i między fitocenozami. Ze zmienności tej wynika konieczność zastosowania pomiarów stanu biomasy w mniejszych, bardziej jednorodnych jednostkach strukturalnych runa. Wyróżnianie synuzjów jest przydatne do opisu i charakterystyki takich układów przestrzennych. Wysoki stopień mozaikowatości runa uniemożliwia jednak zastosowanie podejścia synuzjalnego do typologii zbiorowisk leśnych, w sposób przyjęty w swoim czasie w Skandynawii (Du Rietz 1930; Lippmaa 1935) i sporadycznie także stosowany obecnie w odniesieniu do zbiorowisk leśnych innych regionów (Gillet 1986).

Większość opisanych w tej pracy typów synuzjów występuje zarówno w borach sosnowych, jak i w borach mieszanych. Z 14 wyróżnionych podtypów synuzjów jedynie 4 są wyraźnie związane z borami sosnowymi, a trzy z borami mieszanymi.

Rysuje się pewna zmienność biomasy z zachodu na wschód zarówno w odniesieniu do poszczególnych typów synuzjów runa, jak i całych powierzchni leśnych. Zmienność ta jest silniej wyrażona w przypadku biomasy mchów i znacznie słabiej w przypadku roślin naczyniowych. Podobnie silniejsze i bardziej istotne korelacje występują w przypadku borów sosnowych niż w przypadku borów mieszanych.

Przedstawione w niniejszej pracy dane dotyczące zróżnicowania biomasy zarówno w obrębie synuzjów, jak i w odniesieniu do powierzchni badawczych rozmieszczonych na transekcie zachód-wschód, dobrze uzupełniają pozycje znane z literatury. Otrzymane wartości są nieco niższe niż stany biomasy podawane dla terenów położonych bardziej na wschód. Gabeev (1990) podaje, że w borach sosnowych mszysto-brusznicowych Zachodniej Syberii biomasa runa waha się od 110 do 200 g/m<sup>2</sup> (w tym biomasa mchów mieści się w przedziale 50–140 g/m<sup>2</sup>), a w borze sosnowym czernicowym zmienia się od 90 do 130 g/m<sup>2</sup>, przy czym biomasa mchów jest niższa i mieści się w przedziale 15–20 g/m<sup>2</sup>. Natomiast w borach sosnowych trawiastych biomasa runa jest bardzo zmienna i może wynosić nawet do 304 g/m<sup>2</sup>, przy minimalnym udziale mchów (ok. 1 g/m<sup>2</sup>).



Poza położeniem geograficznym, na średnią wielkość biomasy runa silnie wpływa zróżnicowanie warunków edaficznych poszczególnych stanowisk. Na transekcie „śląskim” stanowiska charakteryzujące się stosunkowo wysoką średnią biomasa (S126 – 254 g/m<sup>2</sup>, S023 – 230 g/m<sup>2</sup>) cechują się jednocześnie najwyższym procentowym udziałem gatunków wymagających gleb świeżych i słabowilgotnych (odpowiednio 34,6 i 46,3% w przedziale 5–7 wskaźnika F). Stanowiska te charakteryzują się również najwyższym udziałem gatunków azotolubnych (odpowiednio 17,2 i 17,8% w przedziale 5–8 wskaźnika N) (Roo-Zielińska, Solon 1997).

## LITERATURA

- Du Rietz E., 1930, *Vegetationsforschung auf soziationsanalytischer Grundlage*, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abderhalden, 11.5.
- Gabeev V. N., 1990, *Ekologia i produktivnost sosnovych lesov*, Nauka, 226, Novosibirsk.
- Gillet F., 1986, *Les phytocoenoses forestières du Jura nord-occidental, Essai de phytosociologie intégrée*, Thèse, Besançon, 604.
- Julve P., Gillet F., 1994, III. *Experiences of french authors (Map 3)*, [w:] Faliński J. B. (red.), *Vegetation under the diverse anthropogenic impact as object of basic phytosociological map. Results of the international cartographical experiment organized in the Białowieża Forest*, Phytocoenosis, 6 (N. S.), Suppl. Cartogr. Geobot., 4, 45–66.
- Kwiatkowska A., Dudziec, 1974, *Zmienność przestrzenna stanu biomasy części nadziemnej runa w rezerwacie Grabowy w Puszczy Kampinoskiej*, Phytocoenosis, 1–2, 43–69.
- Lippmaa T., 1935, *La méthode des associations unistrates et le système écologique des associations*, Acta Inst. Horti Bot. Univ. Tartuensis, IV.
- Mavriscev V. V., 1980, *Sinuzialnaja struktura fitocenozov kislicnoj seri tipov lesa*, avtoreferat, Instytut Eksperymentalnoj Botaniki AN BSSR, Mińsk.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360
- Rothmaler W., 1976, *Exkursionsflora. Kritischer Band*, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin.
- Solon J., 1994, *Krajobrazowe zróżnicowanie roślinności rzeczywistej*, [w:] A. S. Kostrowicki, J. Solon (red.), *Studium geobotaniczno-krajobrazowe okolic Pińczowa*, Dokum. Geogr., 1–2, 83–94.
- Szafar Wł., Kulczyński St., Pawłowski B., 1969, *Rośliny polskie*, PWN, Warszawa.

## DIFFERENTIATION OF HERB LAYER STRUCTURE IN PINE AND MIXED PINE FORESTS ALONG A CLIMATIC (52°N, 12–32°E) AND A “SILESIAN” TRANSECT

### S u m m a r y

A synusia is a grouping, within a single layer of a community, of species characterized by similar life form and ecological requirements. The aims of this study were to present the synusial differentiation to the ground cover of study sites along an E–W transect, to devise a typology of the analyzed synusiae and to determine the mean biomass within each type of

synusia and each study site. The basis for describing synusial structure at each of the 9 study sites was a field map within the most typical  $5 \times 20$  m rectangle at each. Floristic lists for each synusia were also drawn up so that different types might be distinguished. The similarity of floristic composition between different synusiae was calculated using Czekanowski distances and presented with the aid of Ward's Method dendrograms. The biomass of the ground-cover layer (vascular plants + bryophytes) was defined by one-off measurement at all 23 sites along the climatic and "Silesian" transects in September or October 1995. 6 samples were taken at each site, from a  $0.1 \text{ m}^2$  circular area.

34 descriptions of synusiae from 9 study sites were obtained. Analysis of similarity dendrograms pointed to the existence of four groups of synusiae (figs. 1, 2). However, when these groupings were considered together with dominant species, life forms and levels of cover, it proved possible to increase this number to 6 main types (tab. 1). The different study sites differed markedly in their sets of synusial types and in the spatial distribution thereof (fig. 3). The mapped fragments of sites had between 2 and 4 types of synusia forming 3–32 individual patches. Mixed pine forest appeared to have much more mosaic-like ground cover, as the number of patches of synusiae of different types was markedly higher (fig. 3). The geographical differentiation of synusiae was not strongly outlined and reflected differences in the ranges of dominant species. Most types of synusia would seem to occur in both fresh pine forests and mixed-pine forests.

The biomass of bryophytes and vascular plants differed greatly between synusiae and the types thereof – between c. 15 and more than  $600 \text{ g/m}^2$  (tab. 2). The variability in biomass within different types of synusia was also relatively great, with differences between the most and least luxuriant patches reaching even 300%. Thus variability may only partly be explained by reference to geographical differences (fig. 4). Nevertheless, for study sites as a whole, the mean biomass of herb and mossy layers combined changed markedly with geographical location (tab. 2). Also correlated with longitude were the combined biomass of herb and bryophyte layers of pine forests and all sites. Most of the types of synusia described are present in both pine and mixed-pine forests. Of the 14 subtypes only 4 and 3 respectively are clearly associated with pine forest and mixed-pine forest. There is evidence of a certain variability in biomass from west to east, in relation to both the different types of ground-cover synusia and whole forest sites. This is expressed more strongly in the case of bryophyte biomass and much less so in the case of vascular plants. Similarly, the correlations characterizing fresh pine forest are stronger and more significant than those for mixed pine forest.

Author's adress:

Jerzy Solon, Ewa Roo-Zielińska  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

JERZY SOLON

## RÓŻNORODNOŚĆ GATUNKOWA BORÓW I BORÓW MIESZANYCH NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH: KLIMATYCZNYM (wzdłuż 52°N, od 12° do 32°E) I „ŚLĄSKIM”

### 1. WSTĘP

Bogactwo i różnorodność gatunkowa to jedne z ważniejszych cech strukturalnych zbiorowisk leśnych. Wpływa na nie wiele różnych czynników, od ogólnogeograficznych poprzez siedliskowe (Prusinkiewicz 1970; Grime 1979; Jurko 1985; Day i in. 1988; Cowling 1990), historię rozwoju roślinności w holocenie (Huntley 1993) i historię użytkowania ziemi (Law, Morton 1993) do interakcji międzypopulacyjnych i sukcesyjnych (Dollar i in. 1992; Trevin i in. 1993). Należy przy tym podkreślić, że rola poszczególnych czynników zmienia się zależnie od skali rozpatrywanego zjawiska.

Przy analizach w skali ponadregionalnej na plan pierwszy wysuwają się czynniki ogólnogeograficzne, w tym makroklimatyczne, z których najważniejsze to: średnie temperatury roczne, suma opadów, niedosyt wilgotności, amplitudy roczne temperatur, stopień kontynentalizmu klimatu oraz długość sezonu wegetacyjnego. Elementy te są ze sobą wzajemnie powiązane i zależne od położenia geograficznego. Dlatego też w wielu pracach analizuje się związek między cechami strukturalnymi flory i roślinności a położeniem geograficznym, traktując to ostatnie jako syntetyczny wskaźnik zróżnicowania makroklimatycznego. Tak postąpili m.in. Oberdorfer i Muller (1984), którzy wykazali, że na terenie Niemiec w lasach bukowych ze związku *Fagion* najwięcej gatunków charakterystycznych występuje w południowo-wschodniej części Alp. Ogólne bogactwo gatunkowe zmniejsza się natomiast z południowego wschodu ku zachodowi i jest skorelowane z gradientem hipsometrycznym oraz klimatycznym. W południowej Afryce bogactwo gatunkowe roślin naczyniowych wzrasta z zachodu na wschód (O'Brien 1993). W tym samym kierunku wzrasta bogactwo gatunków drzew w Ameryce Północnej (Currie, Paquin 1987). Również w Australii w obrębie zbiorowisk klimaksowych obserwuje się wyraźną i regularną zmienność geograficzną bogactwa gatunkowego (Austin 1987; Specht R., Specht A. 1989a; Specht R.



i in. 1991; Specht A., Specht R. 1994). W zależności od położenia geograficznego zmienia się również charakter ekologiczny flor lokalnych, a w szczególności udział gatunków reprezentujących różne formy życiowe (Danin, Orshan 1990).

Celem niniejszego artykułu jest określenie związku między położeniem geograficznym (które determinuje zróżnicowanie makroklimatyczne oraz odzwierciedla historię rozwoju roślinności) i wybranymi charakterystykami bogactwa i różnorodności gatunkowej runa w dwóch wąsko ujętych typach zbiorowisk leśnych, tzn. w obrębie typowych borów sosnowych i w obrębie borów mieszanych na dwóch transektach: klimatycznym i „śląskim”.

## 2. METODY

Podstawą określenia różnorodności gatunkowej runa każdej z 23 powierzchni była charakterystyka florystyczna płatu roślinnego, zapisana w postaci zdjęcia fitosocjologicznego obejmującego wszystkie gatunki występujące na 400 m<sup>2</sup>. Większość zdjęć fitosocjologicznych wykonano w maju 1995 r. Szczegółowy opis metodyki wykonywania zdjęć oraz charakterystykę szaty roślinnej powierzchni badawczych przedstawiono w innym opracowaniu (Roo-Zielińska, Solon w tym tomie – s. 79–98).

Na podstawie informacji zawartych w każdym z 23 zdjęć fitosocjologicznych określono wartości podstawowych wskaźników różnorodności, a mianowicie:

1. liczbę gatunków roślin naczyniowych;
2. wskaźnik Shannona (Shannon, Weaver 1949) postaci  $H = -\sum p_i \log_2 p_i$ ;
3. wskaźnik Simpsona (Simpson 1949) postaci  $I = \sum p_i^2$ ;
4. wskaźnik beta (Simpson 1949) postaci  $b = (1-I)/(1-(1/n))$  oraz
5. wskaźnik równomierności  $HI\max$  postaci  $HI\max = H/\log(n)$  (gdzie  $p_i$  – udział  $i$ -tego gatunku w ogólnym pokryciu roślin naczyniowych runa;  $n$  – ogólna liczba gatunków w zdjęciu).

Obliczono również liczbę i udział powierzchniowy gatunków reprezentujących poszczególne formy życiowe Raunkiaera, typy trwałości liści i typy struktury anatomicznej. Szczegółowe charakterystyki gatunków zaczerpnięto z wykazu Ellenberga (1974). Określono również strukturę fitosocjologiczną runa, wykorzystując spis gatunków charakterystycznych W. Matuszkiewicza (1981).

Zależności między położeniem geograficznym (zmienna niezależna) i wskaźnikami różnorodności oraz udziałami gatunków reprezentujących poszczególne grupy ekologiczne określano na podstawie analizy korelacji i regresji dla czterech grup obiektów: (a) dla wszystkich 23 stanowisk; (b) tylko dla 17 stanowisk na transekcie zachód–wschód; (c) tylko dla 9 stanowisk borów sosnowych na transekcie zachód–wschód; (d) tylko dla 8 stanowisk borów mieszanych na transekcie zachód–wschód.



## 3. WYNIKI

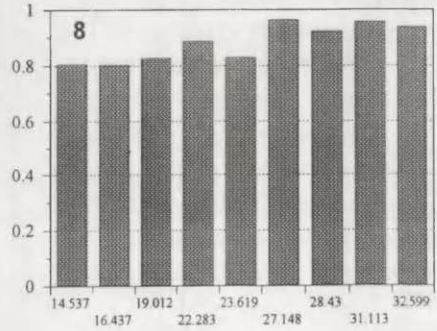
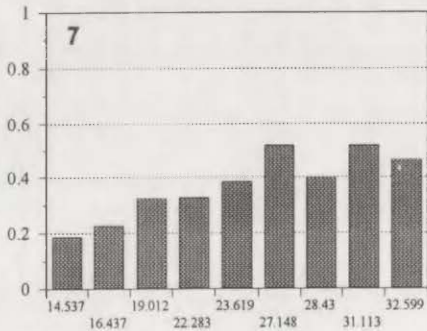
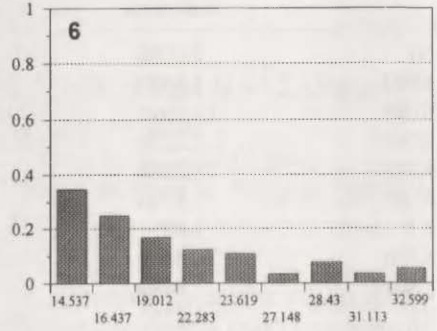
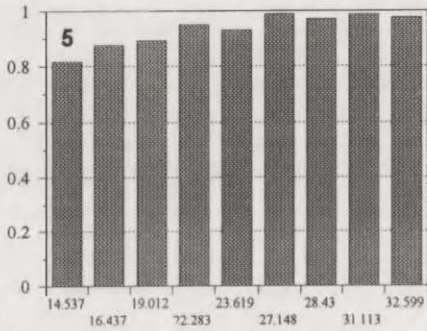
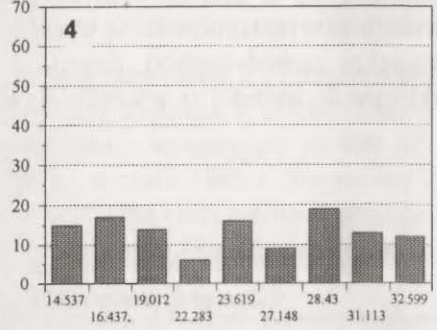
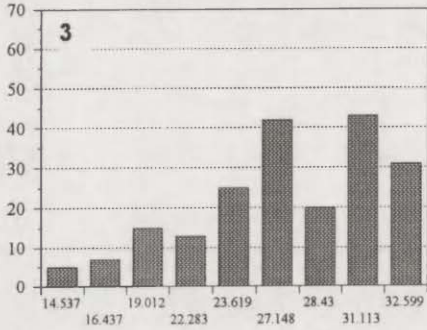
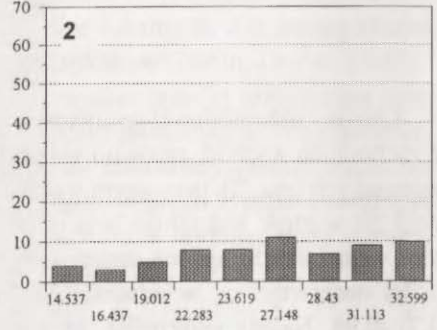
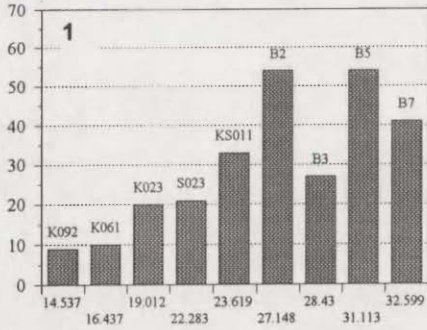
## 3.1. RÓŻNORODNOŚĆ GATUNKOWA

Liczba i różnorodność gatunkowa roślin naczyniowych wzrastają w kierunku z zachodu na wschód, zarówno w obrębie borów sosnowych (ryc. 1), jak i borów mieszanych (ryc. 2), przy czym wartość wskaźnika Shannona zmienia się od 1,87 do 5,20, wartość wskaźnika beta mieści się w przedziale od 0,82 do 0,99, a wartość wskaźnika Simpsona zmienia się od 0,35 do 0,03. Podobny rozkład zmienności obserwuje się w odniesieniu do wskaźnika równomierności ( $HH_{max}$  – 0,71–0,96). Należy podkreślić, że wartości otrzymane dla transektu „śląskiego” mieszczą się w przedstawionych powyżej przedziałach, przy czym wartości wskaźników różnorodności są wyraźnie zbliżone do wartości z zachodniej części transektu zachód–wschód, natomiast wartości wskaźnika równomierności są zbliżone do wartości ze wschodniej części transektu zachód–wschód (tab. 1).

Tabela 1

Wartości wskaźników różnorodności gatunkowej runa na powierzchniach badawczych  
Values of diversity indices of the herb layer on sample plots

Stanowiska	Wskaźnik Shannona	Wskaźnik Simpsona	Wskaźnik beta	Wskaźnik $HH_{max}$
N1	2,0000	0,2883	0,8303	0,7124
K092	1,8680	0,3463	0,8172	0,8045
K098	2,8891	0,2099	0,8465	0,7395
K061	2,2578	0,2485	0,8767	0,8042
K023	3,2284	0,1673	0,8921	0,8263
K055	3,5784	0,1438	0,9013	0,8280
K117	3,9251	0,1017	0,9432	0,8936
K126	4,4609	0,0579	0,9784	0,9382
KS011	3,8489	0,1071	0,9301	0,8288
B1	4,2255	0,0664	0,9761	0,9341
B2	5,1879	0,0345	0,9890	0,9621
B3	3,9784	0,0773	0,9713	0,9205
B4	5,1711	0,0458	0,9737	0,9162
B5	5,1845	0,0352	0,9878	0,9554
B6	5,2002	0,0325	0,9911	0,9644
B7	4,6351	0,0554	0,9761	0,9356
S023	3,2804	0,1233	0,9498	0,8865
S011	2,3569	0,2130	0,9444	0,9118
S002	2,4191	0,2279	0,8686	0,7631
S060	3,6820	0,0995	0,9568	0,9008
S005	2,8527	0,1964	0,8839	0,8246
S028	4,1191	0,0741	0,9680	0,9106
S126	3,0481	0,1332	0,9631	0,9176



Związek wskaźników bogactwa i różnorodności gatunkowej roślin naczyniowych z długością geograficzną ma charakter regularny i istotny statystycznie (tab. 4). W przypadku wszystkich analizowanych wskaźników i w odniesieniu do wszystkich bloków wartości bezwzględne współczynników korelacji są wyższe od 0,74.

We wszystkich czterech grupach obiektów związek między wartością wskaźnika i długością geograficzną najlepiej określa zależność liniowa postaci  $Y = p_1 + p_2X$ , przy czym parametry linii regresji różnią się istotnie jedynie w przypadku borów świeżych i borów mieszanych na transekcje zachód–wschód. Bory mieszane charakteryzują się nieco wyższym bogactwem (średnio o 6 gatunków roślin naczyniowych runa) i różnorodnością gatunkową (wskaźnik Shannona wyższy o ok. 0,4 – ryc. 3) w stosunku do borów sosnowych. Warto podkreślić, że ta pozytywna korelacja nie dotyczy liczby i pokrywania gatunków mchów i porostów.

### 3.2. STRUKTURA EKOLOGICZNA RUNA

W obrębie wszystkich analizowanych powierzchni dominującą grupę gatunków runa stanowią hemikryptofity, których udział waha się od 42 do 78%. Najmniej liczne są terofity, które osiągają 17% ogólnej liczby gatunków (tab. 2). Znacznie bardziej zmienny jest udział hemikryptofitów w ogólnym pokryciu gatunków, w zakresie od 12 do 74%. Pod względem pokrywania hemikryptofity stanowią grupę dominującą jedynie w obrębie 15 powierzchni (tab. 3).

Zmienność geograficzna udziału poszczególnych form życiowych nie jest wyrażona zbyt silnie. W obrębie borów mieszanych na transekcje zachód–wschód obserwuje się silną dodatnią korelację między udziałem chamefitów i geofitów w ogólnym pokryciu a długością geograficzną; podobne, ale słabsze związki obserwuje się również w przypadku łącznej analizy wszystkich stanowisk transektowych. Na uwagę zasługuje fakt, że w obrębie borów sosnowych w kierunku wschodnim wzrasta istotnie liczba i pokrycie terofitów (tab. 4).

Na wszystkich powierzchniach dominują gatunki latem zielone, których udział waha się od 50 do 82% ogólnej liczby gatunków (tab. 2). Znacznie bardziej zmienny jest udział tych gatunków w ogólnym pokryciu warstwy runa (92–85%), dominują one jedynie na 16 powierzchniach (tab. 3).

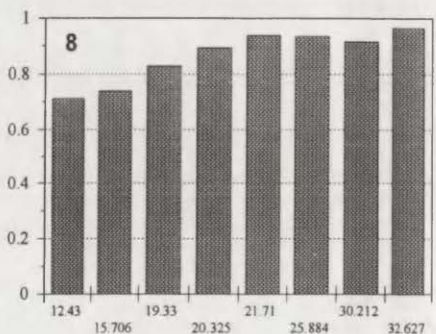
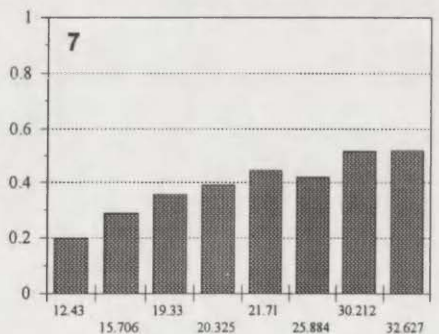
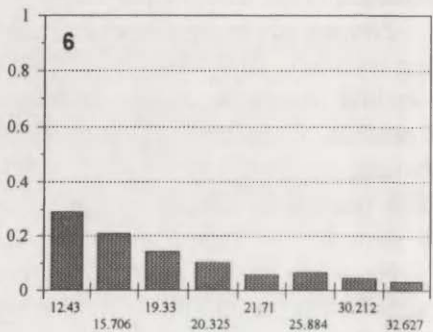
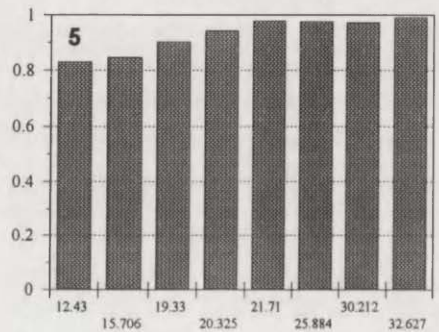
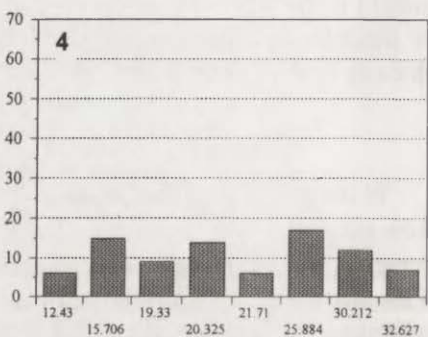
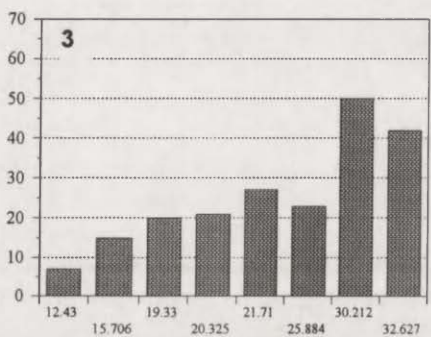
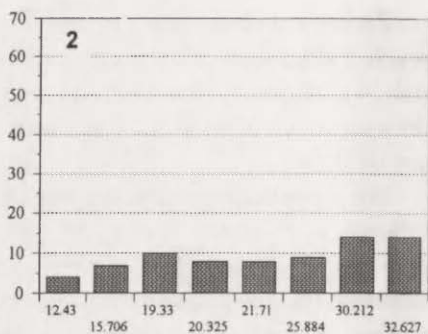
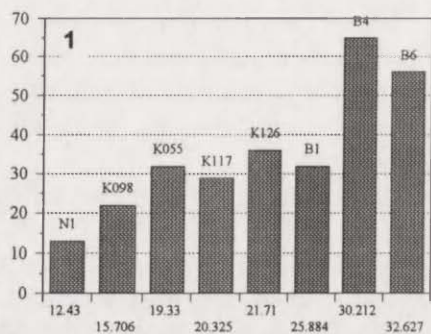
Ryc. 1. Bogactwo i różnorodność gatunkowa na powierzchniach badawczych w obrębie borów sosnowych transektu zachód–wschód

Oś  $X$  – długość geograficzna (w stopniach); oś  $Y$  – wartość wskaźnika: 1 – liczba gatunków roślin naczyniowych razem; 2 – liczba gatunków krzewów; 3 – liczba gatunków naczyniowych runa; 4 – liczba gatunków porostów; 5 – wskaźnik beta; 6 – wskaźnik Simpsona; 7 – wskaźnik „Shannon/10” (wskaźnik Shannona podzielony przez 10); 8 – wskaźnik równomierności  $HH_{max}$

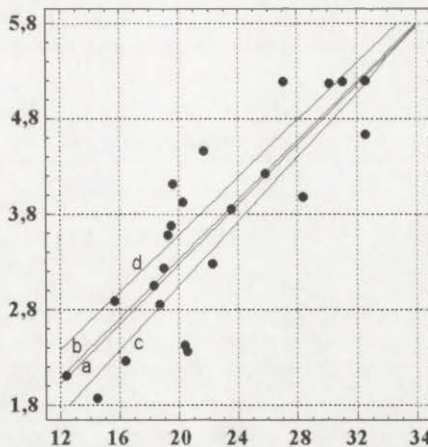
Species richness and diversity on pine forests sample plots along the west–east transect

$X$  axis – geographical longitude (degrees);  $Y$  axis – index value: 1 – the number of all vascular plant species; 2 – the number of shrub species; 3 – the number of herb layer vascular plant species; 4 – the number of lichen species; 5 – beta index; 6 – Simpson's index; 7 – Shannon's index divided by 10; 8 – index  $HH_{max}$









Ryc. 3. Linie regresji dla wskaźnika Shannona (oś  $Y$ ) w stosunku do długości geograficznej (oś  $X$ ) według modelu liniowego  $Y = p_1 + p_2X$

a – wszystkie powierzchnie ( $p_1 = 0,140$ ,  $SE = 0,473$ ;  $p_2 = 0,157$ ,  $SE = 0,021$ ); b – powierzchnie na transekcji zachód–wschód ( $p_1 = 0,225$ ,  $SE = 0,450$ ;  $p_2 = 0,155$ ,  $SE = 0,019$ ); c – bory sosnowe na transekcji ( $p_1 = 0,339$ ,  $SE = 0,581$  [d];  $p_2 = 0,170$ ,  $SE = 0,028$ ); d – bory mieszane na transekcji ( $p_1 = 0,574$ ,  $SE = 0,328$  [c];  $p_2 = 0,151$ ,  $SE = 0,020$ ). W nawiasach kwadratowych – oznaczenie istotnych statystycznie różnic w wartości parametru między blokami

Regression lines for Shannon index ( $Y$  axis) on geographical longitude ( $X$  axis) according to the linear model  $Y = p_1 + p_2X$

a – all plots ( $p_1 = 0.140$ ,  $SE = 0.473$ ;  $p_2 = 0.157$ ,  $SE = 0.021$ ); b – plots on the W–E transect ( $p_1 = 0.225$ ,  $SE = 0.450$ ;  $p_2 = 0.155$ ,  $SE = 0.019$ ); c – pine forests on the transect ( $p_1 = 0.339$ ,  $SE = 0.581$  [d];  $p_2 = 0.170$ ,  $SE = 0.028$ ); d – mixed forests on the transect ( $p_1 = 0.574$ ,  $SE = 0.328$  [c];  $p_2 = 0.151$ ,  $SE = 0.020$ ). In square parenthesis – statistically significant differences of parameter values between the marked and the given blocks

Zmienność geograficzna udziału gatunków o różnej trwałości liści nie zarysowuje się wyraźnie. Jedynie w przypadku udziału (powierzchniowego i ilościowego) gatunków o liściach zielonych zimujących obserwuje się wyraźną dodatnią korelację z długością geograficzną (tab. 4). Związek ten najlepiej określa zależność liniowa postaci  $Y = p_1 + p_2X$ , przy czym parametry linii regresji nie różnią się istotnie pomiędzy wszystkimi analizowanymi blokami (ryc. 4).

Ryc. 2. Bogactwo i różnorodność gatunkowa na powierzchniach badawczych w obrębie borów mieszanych transektu zachód–wschód

Oś  $X$  – długość geograficzna (w stopniach); oś  $Y$  – wartość wskaźnika: 1 – liczba gatunków roślin naczyniowych razem; 2 – liczba gatunków krzewów; 3 – liczba gatunków naczyniowych runa; 4 – liczba gatunków porostów; 5 – wskaźnik beta; 6 – wskaźnik Simpsona; 7 – wskaźnik „Shannon/10” (wskaźnik Shannona podzielony przez 10); 8 – wskaźnik równomierności  $HH_{max}$

Species richness and diversity on mixed forests sample plots along the west-east transect

$X$  axis – geographical longitude (degrees);  $Y$  axis – index value: 1 – the number of all vascular plant species; 2 – the number of shrub species; 3 – the number of herb layer vascular plant species; 4 – the number of lichen species; 5 – beta index; 6 – Simpson's index; 7 – Shannon's index divided by 10; 8 – index  $HH_{max}$

Udział (w ogólnej liczbie gatunków) poszczególnych grup ekologicznych w runie powierzchni badawczych

Shares of different ecological groups in total number of vascular species of the herb layer on sample plots

	Stanowiska										
	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	B1	B2
C	0	0	0	0,143	0,133	0,15	0,095	0,077	0,16	0,13	0,143
G	0,286	0,2	0,143	0,143	0,2	0,2	0,095	0,154	0,08	0,13	0,143
H	0,571	0,6	0,714	0,571	0,533	0,45	0,476	0,577	0,56	0,478	0,476
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0,071	0	0,067	0,1	0,143	0,077	0,12	0,174	0,143
Z	0,143	0,2	0,071	0,143	0,067	0,1	0,19	0,115	0,08	0,087	0,095
I	0,143	0,2	0,071	0,286	0,2	0,1	0,19	0,077	0,2	0,087	0,119
S	0,714	0,8	0,786	0,571	0,667	0,75	0,667	0,769	0,6	0,565	0,619
W	0,143	0	0,143	0,143	0,133	0,15	0,143	0,154	0,2	0,348	0,262
he+hg	0	0	0	0	0	0,1	0,048	0,077	0,04	0,174	0,119
m	0,571	0,4	0,571	0,571	0,467	0,55	0,429	0,538	0,56	0,565	0,619
sk	0,429	0,6	0,429	0,429	0,533	0,35	0,524	0,385	0,4	0,261	0,262
EP	0	0	0,071	0,143	0,133	0	0,048	0,038	0	0,13	0,048
FB	0,143	0,2	0,071	0	0,067	0,1	0,048	0,038	0,08	0	0,048
MA	0,286	0,2	0,214	0,143	0,067	0,1	0,048	0,038	0,16	0,13	0,095
NC	0	0	0	0	0	0,05	0,095	0,077	0,04	0,087	0,119
QF	0,143	0	0,071	0	0	0,1	0,048	0,038	0,04	0,043	0,048
SS	0	0	0	0	0,133	0	0,048	0,038	0,04	0	0,048
TG	0	0,2	0,071	0,143	0,067	0,15	0,095	0,192	0,12	0,087	0,048
VP	0,286	0,2	0,286	0,429	0,4	0,4	0,333	0,346	0,4	0,304	0,286
Inne	0,143	0,2	0,214	0,143	0,133	0,1	0,238	0,192	0,12	0,217	0,262

Formy życiowe: C – chamefity zielne; G – geofity; H – hemikryptofity; N – nanofanerofity; T – terofity; Z – chamefity zdrewniałe.

Life forms: C – herbaceous chamaephytes; G – geophytes; H – hemicryptophytes; N – nanophanerophytes; T – terophytes; Z – woody chamaephytes.

Trwałość liści: I – zawsze zielone; S – zielone w lecie; W – zielone zimujące.

Permanence of leaves: I – evergreen; S – summergreen; W – overwintering green.

Struktura anatomiczna: he+hg – gatunki helo- i higromorficzne; m – gatunki mezomorficzne; sk – gatunki skleromorficzne.

Anatomic Structure: he+hg – helo- and higromorphic species; m – mezomorphic species; sk – scleromorph species.

Struktura fitosocjologiczna: EP – *Epilobieta*; FB – *Festuco-Brometea*; MA – *Molinio-Arrhenatheretea*; NC – *Nardo-Callunetea*; QF – *Quercu-Fagetea*; SS – *Sedo-Scleranthetea*; VP – *Vaccinio-Piceetea*; inne.

Phytosociological structure: EP – *Epilobieta*; FB – *Festuco-Brometea*; MA – *Molinio-Arrhenatheretea*; NC – *Nardo-Callunetea*; QF – *Quercu-Fagetea*; SS – *Sedo-Scleranthetea*; VP – *Vaccinio-Piceetea*; other.

Stanowiska											
B3	B4	B5	B7	B6	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
0,1	0,14	0,163	0,097	0,071	0,083	0	0	0,063	0	0,083	0,1
0,05	0,18	0,163	0,161	0,167	0,167	0	0	0,125	0,273	0,208	0,3
0,65	0,46	0,419	0,484	0,571	0,667	0,667	0,778	0,563	0,545	0,5	0,5
0	0	0	0	0,024	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,14	0,14	0,129	0,095	0	0,167	0	0,063	0	0,083	0
0,1	0,08	0,116	0,129	0,071	0,083	0,167	0,222	0,188	0,182	0,125	0,1
0,05	0,12	0,14	0,065	0,095	0,083	0,167	0,111	0,125	0,091	0,125	0,1
0,65	0,6	0,581	0,581	0,571	0,583	0,667	0,778	0,625	0,818	0,542	0,5
0,3	0,28	0,279	0,355	0,333	0,333	0,167	0,111	0,25	0,091	0,333	0,4
0,05	0,1	0,093	0,161	0,095	0,083	0,167	0	0,063	0,091	0,042	0,1
0,7	0,56	0,605	0,613	0,643	0,583	0,333	0,556	0,5	0,545	0,667	0,6
0,25	0,34	0,302	0,226	0,262	0,333	0,5	0,444	0,438	0,364	0,292	0,3
0,05	0,04	0,07	0,065	0,048	0,083	0	0,111	0	0	0	0,1
0,05	0,04	0,047	0,065	0,048	0	0	0	0,063	0	0	0
0,1	0,08	0,093	0,065	0,095	0,167	0,167	0,111	0,125	0,091	0,083	0
0,05	0,1	0,093	0,065	0,095	0,083	0	0	0,125	0,091	0,042	0,1
0,05	0,06	0,047	0,065	0,024	0,083	0,167	0,111	0,063	0,091	0,042	0,1
0,05	0,06	0,116	0	0,048	0	0	0,111	0	0	0,083	0
0,1	0,06	0,047	0,065	0,119	0,167	0	0,111	0,125	0,091	0,042	0,2
0,3	0,28	0,256	0,355	0,31	0,417	0,5	0,444	0,375	0,455	0,333	0,3
0,25	0,28	0,233	0,258	0,214	0	0,167	0	0,125	0,182	0,375	0,2

Runo wszystkich powierzchni budowane jest głównie przez gatunki mezo- i skleromorficzne, przy czym proporcje między tymi grupami są bardzo różne. Stosunek liczby gatunków mezomorficznych do skleromorficznych zmienia się od 0,6 do 2,8, przy czym w części zachodniej występują wartości poniżej 1,5 a na stanowiskach białoruskich – wartości powyżej 2,0 (tab. 2). Udziały powierzchniowe zmieniają się jeszcze silniej, od 0,08 do ok. 2,9 (tab. 3).

Zmienność geograficzna udziału gatunków o różnym typie anatomicznym jest wyraźna jedynie w przypadku liczby gatunków, rozpatrywanych na wszystkich powierzchniach łącznie, powierzchniach na transekcie zachód–wschód i w obrębie borów świeżych na tym transekcie. W powyższych przypadkach między udziałem ilościowym gatunków mezo- i higromorficznych a długością geograficzną występują korelacje dodatnie, a między udziałem ilościowym gatunków skleromorficznych i długością geograficzną – korelacja ujemna (tab. 4).



Udział (w sumarycznym pokryciu) poszczególnych grup ekologicznych gatunków w runie powierzchni badawczych

Shares of different ecological groups in total cover of the herb layer on sample plots

	Stanowiska										
	N1	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	B1	B2
C	0	0	0	0	0,057	0,047	0,073	0,023	0,057	0,028	0,057
G	0,005	0,158	0,056	0,038	0,114	0,237	0,073	0,163	0,065	0,25	0,134
H	0,612	0,737	0,655	0,423	0,457	0,237	0,512	0,395	0,305	0,333	0,559
N	0	0	0	0	0	0	0,024	0	0	0	0
T	0	0	0,062	0	0	0,047	0,049	0,093	0,076	0,028	0,038
Z	0,383	0,105	0,226	0,538	0,371	0,431	0,244	0,302	0,496	0,361	0,211
I	0,281	0,632	0,508	0,577	0,457	0,123	0,268	0,233	0,267	0,25	0,134
S	0,714	0,316	0,407	0,423	0,371	0,782	0,439	0,465	0,58	0,528	0,632
W	0,005	0,053	0,085	0	0,171	0,095	0,268	0,279	0,153	0,222	0,234
he+hg	0	0	0,006	0	0	0	0	0,047	0	0	0,019
m	0,668	0,579	0,678	0,077	0,343	0,735	0,415	0,651	0,557	0,472	0,67
sk	0,332	0,421	0,316	0,923	0,657	0,265	0,561	0,279	0,443	0,528	0,31
EP	0	0,105	0,028	0,038	0,029	0,024	0,049	0,047	0,057	0,056	0,057
FB	0	0	0	0	0,029	0	0	0	0	0	0,019
MA	0	0	0	0	0	0	0,024	0,047	0,019	0,056	0,077
NC	0,026	0,105	0,056	0,231	0,114	0,028	0,22	0,093	0,095	0,139	0,096
QF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0,311	0,263	0,226	0,038	0,314	0,047	0,366	0,14	0,134	0,083	0,134
TG	0	0	0	0,038	0,029	0,024	0,024	0,07	0,038	0,056	0,077
VP	0,612	0,526	0,599	0,654	0,457	0,735	0,244	0,395	0,557	0,444	0,387
Inne	0,051	0	0,09	0	0,029	0,142	0,049	0,186	0,099	0,167	0,153

Formy życiowe: C – chamefity zielne; G – geofity; H – hemikryptofity; N – nanofanerofity; T – terofity; Z – chamefity zdrewniałe.

Life forms: C – herbaceous chamaephytes; G – geophytes; H – hemicryptophytes; N – nanophanerophytes; T – terophytes; Z – woody chamaephytes.

Trwałość liści: I – zawsze zielone; S – zielone w lecie; W – zielone zimujące.

Permanence of leaves: I – evergreen; S – summergreen; W – overwintering green.

Struktura anatomiczna: he+hg – gatunki helo- i higromorficzne; m – gatunki mezomorficzne; sk – gatunki skleromorficzne.

Anatomic Structure: he+hg – helo- and higromorphic species; m – mezomorphich species; sk – scleromorphich species.

Struktura fitosocjologiczna: EP – *Epilobieta*; FB – *Festuco-Brometea*; MA – *Molinio-Arrhenatheretea*; NC – *Nardo-Callunetea*; QF – *Quercu-Fagetea*; SS – *Sedo-Scleranthetea*; VP – *Vaccinio-Piceetea*; inne.

Phytosociological structure: EP – *Epilobieta*; FB – *Festuco-Brometea*; MA – *Molinio-Arrhenatheretea*; NC – *Nardo-Callunetea*; QF – *Quercu-Fagetea*; SS – *Sedo-Scleranthetea*; VP – *Vaccinio-Piceetea*; other.



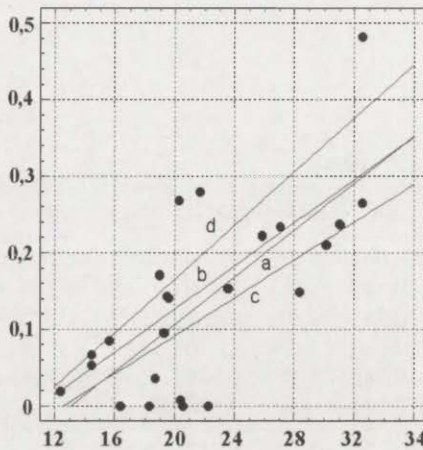
Stanowiska											
B3	B4	B5	B6	B7	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
0	0,077	0,059	0,089	0,041	0,038	0	0	0,071	0	0,122	0
0,193	0,231	0,103	0,25	0,143	0,24	0	0,036	0,179	0,143	0,023	0,412
0,368	0,457	0,676	0,518	0,551	0,304	0,167	0,117	0,393	0,357	0,473	0,412
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,088	0,034	0,02	0,036	0,082	0,038	0,139	0,044	0,071	0,071	0,09	0
0,351	0,201	0,142	0,107	0,184	0,38	0,694	0,803	0,286	0,429	0,293	0,177
0,175	0,093	0,123	0,143	0,122	0,152	0,417	0,511	0,393	0,286	0,455	0,165
0,675	0,698	0,64	0,375	0,612	0,848	0,583	0,482	0,464	0,679	0,405	0,835
0,149	0,21	0,237	0,482	0,265	0	0	0,007	0,143	0,036	0,14	0
0,009	0,034	0,004	0,143	0	0	0	0	0	0	0	0
0,632	0,719	0,597	0,589	0,571	0,494	0,417	0,38	0,714	0,75	0,473	0,465
0,36	0,247	0,399	0,268	0,429	0,506	0,583	0,62	0,286	0,25	0,527	0,535
0,053	0,046	0,059	0,107	0,102	0,087	0	0	0,036	0,071	0,023	0,165
0	0,031	0,119	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0
0,044	0,052	0,099	0,071	0,102	0	0	0	0	0	0	0
0,175	0,046	0,126	0,071	0,061	0,038	0,139	0,292	0,143	0,036	0,068	0,021
0	0,015	0	0,054	0	0	0	0	0	0	0	0
0,184	0,062	0,099	0,107	0,204	0,038	0,139	0,073	0,071	0,107	0,135	0
0	0,093	0,099	0,054	0,061	0	0	0	0,036	0	0,023	0,082
0,404	0,497	0,277	0,214	0,347	0,608	0,722	0,62	0,607	0,714	0,545	0,527
0,14	0,157	0,123	0,321	0,122	0,228	0	0,015	0,107	0,071	0,117	0,206

### 3.3. STRUKTURA FITOSOCJOLOGICZNA RUNA

Gatunki charakterystyczne dla klasy *Vaccinio-Piceetea* stanowią główny składnik runa analizowanych powierzchni. Ich udział w ogólnej liczbie gatunków waha się od 20 do 50%, przy czym zawsze stanowią one grupę dominującą (tab. 2). Pokrycie tej grupy gatunków waha się w przedziale 21–74% ogólnego pokrycia i jedynie w przypadku dwóch powierzchni inne grupy gatunków mają charakter dominujący (tab. 3).

W skład runa leśnych powierzchni badawczych wchodzi również inne grupy gatunków, z czego najważniejsze to gatunki charakterystyczne dla klas: *Molinio-Arrhenatheretea* (zbiorowisk łąkowych), *Sedo-Scleranthetea* (muraw piaszkowych), *Nardo-Callunetea* (wrzosowisk), *Quercu-Fagetea* (lasów liściastych), *Trifolio-Geranietea* (ciepłolubnych zbiorowisk okrajkowych), *Festuco-Brometea* (muraw ciepłolubnych) i *Epilobietea* (zbiorowisk porębowych).

Istotnie statystycznie związki korelacyjne między długością geograficzną a udziałem gatunków o przynależności syntaksonomicznej są liczniejsze i sil-

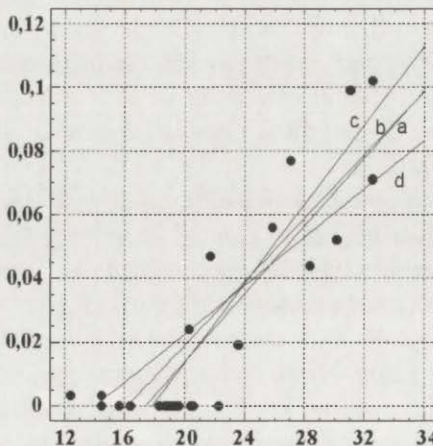


Ryc. 4. Linie regresji dla związku między udziałem powierzchniowym gatunków zimozielonych (oś  $Y$ ) i długością geograficzną (oś  $X$ ) według modelu liniowego  $Y = p_1 + p_2X$

a – wszystkie powierzchnie ( $p_1 = -0,201$ , SE = 0,074;  $p_2 = 0,015$ , SE = 0,003); b – powierzchnie na transekcje zachód-wschód ( $p_1 = -0,154$ , SE = 0,082;  $p_2 = 0,014$ , SE = 0,003); c – bory sosnowe na transekcje ( $p_1 = -0,155$ , SE = 0,091;  $p_2 = 0,012$ , SE = 0,004); d – bory mieszane na transekcje ( $p_1 = -0,184$ , SE = 0,115;  $p_2 = 0,016$ , SE = 0,005). Należy zwrócić uwagę, że wartości parametrów  $p_1$  i  $p_2$  nie różnią się istotnie między analizowanymi blokami

Regression lines for the share of overwintering green species ( $Y$  axis) on geographical longitude ( $X$  axis) according to the linear model  $Y = p_1 + p_2X$

a – all plots ( $p_1 = -0.201$ , SE = 0.074;  $p_2 = 0.015$ , SE = 0.003); b – plots on the W-E transect ( $p_1 = -0.154$ , SE = 0.082;  $p_2 = 0.014$ , SE = 0.003); c – pine forests on the transect ( $p_1 = -0.155$ , SE = 0.091;  $p_2 = 0.012$ , SE = 0.004); d – mixed forests on the transect ( $p_1 = -0.184$ , SE = 0.115;  $p_2 = 0.016$ , SE = 0.005). One should pay attention that parameter  $p_1$  as well as parameter  $p_2$  does not differ significantly between all analysed blocks



niejsze w przypadku udziału powierzchniowego w porównaniu z udziałem ilościowym (tab. 4). Wyraźną zależność obserwuje się w odniesieniu do udziału powierzchniowego gatunków charakterystycznych dla klasy *Molinio-Arrhenatheretea*. Związek ten najlepiej określa zależność liniowa postaci  $Y = p_1 + p_2X$ , przy czym parametry linii regresji różnią się istotnie jedynie w przypadku borów świeżych i borów mieszanych na transekcje zachód-wschód oraz tylko w przypadku borów mieszanych na tym transekcje i wszystkich powierzchni (dwóch transektów) łącznie (ryc. 5).

#### 4. PODSUMOWANIE

Na transekcje rozciągającym się wzdłuż 52 równoleżnika szerokości geograficznej północnej i między 12 i 32 stopniem długości geograficznej wschodniej w obrębie runa borów sosnowych i borów mieszanych zachodzą następujące zmiany w kierunku z zachodu na wschód:

- wzrasta ogólna liczba gatunków roślin naczyniowych na jednostkę powierzchni oraz bogactwo gatunkowe roślin naczyniowych warstwy krzewów i warstwy runa. Należy przy tym podkreślić, że liczba gatunków porostów nie jest skorelowana z długością geograficzną, lecz determinowana wyłącznie warunkami lokalnosiedliskowymi oraz stopniem dojrzałości fitocenozy,

- wzrasta wartość wskaźników różnorodności Shannona i beta, a jednocześnie spada wartość wskaźnika Simpsona. Wzrasta również wartość wskaźnika równomierności *HH*max, co świadczy ogólnie o zmianie struktury dominacyjnej z mono- lub oligo- na polidominacyjną),

- wzrasta liczba i pokrycie gatunków o zielonych liściach zimujących, przy jednoczesnym spadku pokrycia gatunków wiecznie zielonych,

Ryc. 5. Linie regresji dla związku między udziałem powierzchniowym gatunków charakterystycznych dla klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (oś *Y*) i długością geograficzną (oś *X*) według modelu liniowego  $Y = p_1 + p_2X$

a – wszystkie powierzchnie ( $p_1 = -0,092$ , SE = 0,014 [d];  $p_2 = 0,005$ , SE = 0,001); b – powierzchnie na transekcje zachód-wschód ( $p_1 = -0,080$ , SE = 0,017;  $p_2 = 0,005$ , SE = 0,001); c – bory sosnowe na transekcje ( $p_1 = -0,111$ , SE = 0,027 [d];  $p_2 = 0,006$ , SE = 0,001); d – bory mieszane na transekcje ( $p_1 = -0,053$ , SE = 0,016 [ac];  $p_2 = 0,004$ , SE = 0,001). W nawiasach kwadratowych – oznaczenie istotnych statystycznie różnic w wartości parametru między blokami.

Regression lines for the cover share of characteristic species of the *Molinio-Arrhenatheretea* class (*Y* axis) on geographical longitude (*X* axis) according to the linear model  $Y = p_1 + p_2X$

a – all plots ( $p_1 = -0.092$ , SE = 0.014 [d];  $p_2 = 0.005$ , SE = 0.001); b – plots on the W-E transect ( $p_1 = -0.080$ , SE = 0.017;  $p_2 = 0.005$ , SE = 0.001); c – pine forests on the transect ( $p_1 = -0.111$ , SE = 0.027 [d];  $p_2 = 0.006$ , SE = 0.001); d – mixed forests on the transect ( $p_1 = -0.053$ , SE = 0.016 [ac];  $p_2 = 0.004$ , SE = 0.001). In square parenthesis – statistically significant differences of parameter values between the marked and the given blocks

Istotne statystycznie korelacje między długością (zmienna niezależna) i wskaźnikami różnorodności oraz udziałami gatunków z różnych grup (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ )

Statistically significant correlations between geographical longitude (independent variable) and diversity indices and shares of different species groups (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ )

	Wszystkie stanowiska		Transekt		Bory sosnowe na transekcje		Bory mieszane na transekcje	
Liczba stanowisk	23		17		9		8	
Gatunki naczyniowe	0,8208***		0,8422***		0,8506**		0,9246**	
Gatunki krzewów	0,7438***		0,7903***		0,8528**		0,9267***	
Gatunki runa	0,8333***		0,8509***		0,8396**		0,9260**	
Wskaźnik beta	0,7914***		0,8978***		0,9241***		0,8823**	
Wskaźnik Simpsona	-0,8152***		-0,8812***		-0,9156***		-0,8977**	
Wskaźnik Shannona <i>H</i> max	0,8567***		0,9058***		0,9186***		0,9502***	
			0,8733***		0,9004***		0,8686**	
	wg pokrycia gatunków	wg liczby gatunków	wg pokrycia gatunków	wg liczby gatunków	wg pokrycia gatunków	wg liczby gatunków	wg pokrycia gatunków	wg liczby gatunków
Chamefity	0,4368*	0,4981*	0,6047*	0,5013*			0,7919*	
Geofity			0,5209*				0,8212*	
Terofity		0,6337**		0,6911**	0,6953*	0,8363**		
Wiecznie zielone	-0,6851***		-0,7409***		-0,9099***	-0,7489*		
Zimujące	0,7195***	0,6323**	0,7261***	0,8363***	0,7834*	0,8484**	0,8208*	0,8439**
Latem zielone		-0,4786*		-0,6691**				-0,7871*
Higromorficzne	0,4757*	0,601**		0,7528***		0,8571**		
Mezomorficzne		0,441*		0,5902*		0,7621*		
Skleromorficzne		-0,6891***		-0,7856***		-0,8918**		
EP			0,5165*				0,8619**	
MA	0,8795***	-0,4393*	0,8813***	-0,6079**	0,9046***		0,9096**	
NC		0,5468**		0,7567***		0,7525*		0,8430**
QF	0,4643*					0,7297*	0,7328*	-0,7466*
TG	0,5973**		0,6815**			-0,7324*	0,8246*	
VP	-0,6527***		-0,6542**		-0,7900*			



– wzrasta liczba gatunków mezomorficznych i spada liczba gatunków skleromorficznych,

– zwiększa się udział gatunków łąkowych w ogólnym pokryciu.

Powyzsze konkluzje mają charakter ogólny, odnoszący się do borów sosnowych świeżych i do borów mieszanych, ale należy podkreślić, że w obrębie borów sosnowych opisane zależności są silniejsze i bardziej istotne statystycznie, choć jednocześnie zmiany niektórych charakterystyk są wyraźniejsze w obrębie borów mieszanych.

Wyniki zaprezentowane w pracy potwierdzają założenie, że w obrębie jednego, wąsko określonego typu zbiorowiska leśnego położenie geograficzne jest głównym czynnikiem wpływającym na bogactwo gatunkowe i różnorodność runa oraz na jego strukturę ekologiczną i fitosocjologiczną. Otrzymane zależności należy jednak traktować jako pierwsze przybliżenie ogólnego modelu wiążącego charakterystyki strukturalne zbiorowiska z warunkami środowiskowymi. Zgodnie ze zdaniem Bakera (1990), zróżnicowanie bogactwa gatunkowego można wyjaśnić jedynie na podstawie modeli wieloczynnikowych, a jakkolwiek hipoteza wiążąca różnorodność gatunkową z jednym tylko czynnikiem może mieć jedynie ograniczone znaczenie.

W przypadku zbiorowisk leśnych liczba gatunków runa jest kształtowana nie tylko pod wpływem warunków edaficznych i geograficznych, lecz jest zależna również od wieku, charakteru i struktury drzewostanu. W szczególności, charakter runa jest często determinowany przez ilość energii słonecznej dochodzącej do dna lasu (Specht R. i in. 1990; Specht R. i in. 1991; Specht A., Specht R. 1993). R. Specht i A. Specht (1989b) wykazali, że wpływ ażurowości koron jest różny dla różnych grup ekologicznych runa, w szczególności zaś wraz ze wzrostem zacienienia liczba gatunków sklerofilnych zmniejsza się w sposób liniowy. Zmienność przestrzenna i czasowa opadu organicznego może wpływać także na niejednorodność i bogactwo runa (Smith 1987). Stopień odkształcenia antropogenicznego zbiorowiska leśnego ma także duży wpływ na bogactwo i charakter ekologiczny runa.

Wielokrotnie wykazano, że zbiorowiska leśne dojrzałe i/lub mało odkształcone od naturalnych, charakteryzują się znacznie mniejszym udziałem gatunków rocznych i dwuletnich w porównaniu z młodszymi stadiami rozwojowymi lub fitocenozami poddanymi silnym oddziaływaniom antropogenicznym (Trabaud, Lepart 1980; Dodge i in. 1983; Kirby 1988, 1990; Vankat, Carson 1991; Dollar i in. 1992; Trevin i in. 1993). Natomiast w warunkach presji antropogenicznej o średnim natężeniu ogólne bogactwo gatunkowe może wzrastać (Grime 1979; Reader i in. 1991).

## LITERATURA

- Austin M. P., 1987, *Models for the analysis of species' response to environmental gradients*, Vegetatio, 69, 1–3, 35–45.
- Baker W. L., 1990, *Species richness of Colorado riparian vegetation*, Journal of Vegetation Science, 1, 119–124.

- Breymeyer A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.
- Cowling R. M., 1990, *Diversity components in a species-rich area of the Cape Floristic Region*, Journal of Vegetation Science, 1, 699–710.
- Currie D. J., Paquin V., 1987, *Large-scale biogeographical patterns of species richness of tree*, Nature, 329, 326–327.
- Danin A., Orshan G., 1990, *The distribution of Raunkiaer life forms in Israel in relation to the environment*, Journal of Vegetation Science, 1, 41–48.
- Day R. T., Keddy P. A., McNeil J., Carleton T., 1988, *Fertility and disturbance gradients: a summary model for riverine marsh vegetation*, Ecology, 69, 4, 1044–1054.
- Dodge R. E., Fairbanks R. G., Benninger L. K., Maurrasse F., 1983, *Plant cover and biomass response to clear-cutting, site preparation, and planting in Pinus elliotii flatwoods*, Science, 219, 4591, 1421–1425.
- Dollar K. E., Pallardy S. G., Garrett H. G., 1992, *Composition and environment of floodplain forests of northern Missouri*, Canadian Journal of Forest Research, 22, 9, 1343–1350.
- Ellenberg H., 1974, *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*, Scr. Geobot., Göttingen.
- Grime J. P., 1979, *Plant Strategies and Vegetation Processes*, J. Willey and Sons, 222.
- Huntley B., 1993, *Species-richness in north-temperate zone forests*, Journal of Biogeography, 20, 163–180.
- Jurko A., 1985, *A contribution to ecological diversity of some plant communities*, Ekologia (ČSSR), 4, 4, 399–406.
- Kirby K. J., 1988, *Changes in the ground flora under plantations on ancient woodland sites*, Forestry, 61, 4, 317–338.
- Kirby K. J., 1990, *Changes in the ground flora of a broadleaved wood within a clear fell, group fells and a coppiced block*, Forestry, 63, 3, 241–249.
- Law R., Morton R. D., 1993, *Alternative permanent states of ecological communities*, Ecology, 74, 5, 1347–1361.
- Matuszkiewicz W., 1981, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa.
- Oberdorfer E., Muller T., 1984, *Zur Synsystematik artenreicher Buchenwalder, insbesondere im praealpinen Nordsaum der Alpen*, Phytocoenologia, 12, 4, 539–562.
- O'Brien E. M., 1993, *Climatic gradients in woody plant species richness: towards an explanation based on an analysis of southern Africa's woody flora*, Journal of Biogeography, 20, 181–198.
- Prusinkiewicz Z., 1970, *Die Zahl der auf dem Minimi-Areal Vorkommenden Gefasspflanzenarten als Mass für die Fruchtbarkeit der Waldboden*, Gesellschaftsmorphologie (Strukturforschung), 282–296.
- Reader R. J., Taylor K. C., Larson D. W., 1991, *Does intermediate disturbance increase species richness within deciduous forest understory?*, Modern Ecology. Basic and Applied Aspects, 363–373, Elsevier.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360.
- Shannon C. E., Weaver W., 1949, *The mathematical theory of communication*, Univ. of Illinois Press, Urbana, 117.
- Simpson E. H., 1949, *Measurement of diversity*, Nature, 163, 688.
- Smith A. P., 1987, *Respuestas de hierbas del sotobosque tropical a claros ocasionados por la caída de arboles*, [in:] Clark D. A., Dirzo R., Fetcher N. (eds.), *Ecología y ecofisiología*

- logia de plantas en los bosques mesoamericanos*, Revista de Biología Tropical, 35, 1, 111–118.
- Specht A., Specht R. L., 1993, *Species richness and canopy productivity of Australian plant communities*, Biodiversity and Conservation, 2, 2, 152–167.
- 1994, *Biodiversity of overstorey trees in relation to canopy productivity and stand density in the climatic gradient from warm temperate to tropical Australia*, Biodiversity Letters, 2, 39–45
- Specht R. L., Clifford H. T., Arianoutsou M., Bird L. H., Bolton M. P., Forster P. I., Grundy R. I., Hegarty E. E., Specht A., 1991, *Structure, floristics and species richness of plant communities in southeast Queensland*, Proceedings of the Royal Society of Queensland, 101, 27–78.
- Specht R. L., Grundy R. I., Specht A., 1990, *Species richness of plant communities: relationship with community growth and structure*, Israel Journal of Botany, 39, 4–6, 465–480.
- Specht R. L., Specht A., 1989a, *Species richness of overstorey strata in Australian plant communities – the influence of overstorey growth rates*, Australian Journal of Botany, 37, 4, 321–336.
- 1989b, *Species richness of sclerophyll (heathy) plant communities in Australia – the influence of overstorey cover*, Australian Journal of Botany, 37, 4, 337–350.
- Trabaud L., Lepart J., 1980, *Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire*, Vegetatio, 43, 49–57.
- Trevin J. O., Rodney K. P., Glasgow A., Weekes N., 1993, *Forest change in a subtropical moist forest of St. Vincent, West Indies: the King's Hill Forest Reserve, 1945–1990*, Commonwealth Forestry Review, 72, 3, 187–192.
- Vankat J. L., Carson W. P., 1991, *Floristics of a chronosequence corresponding to old field-deciduous forest succession in southwestern Ohio*, III. Post-disturbance vegetation, Bulletin of the Torrey Botanical Club, 118, 4, 385–391.

## SPECIES DIVERSITY OF PINE AND MIXED PINE FORESTS CLIMATIC (52°N, 12–32°E) AND A “SILESIAN” TRANSECT

### S u m m a r y

This study presents the linkage between geographical location (which determines macroclimatic differentiation as well as being reflected in history of vegetation) and selected characteristics of the species richness and diversity of the herb layer in two narrowly-defined types of forest community, i. e. typical pine forest and mixed pine forest, along a climatic transect and a “Silesian” transect. The basis for the determination of species diversity of the herb layer in each of the 23 areas was a floristic composition of a vegetation registered as a phytosociological releve including all the species within 400 m<sup>2</sup> area. The basic indices of diversity adopted included the number of species of vascular plant and the Shannon and Simpson Indexes. Also calculated were the number and percentage cover of species representing the different Raunkiaer life forms, types of permanence of leaves and types of anatomical structure.

The pine forest and mixed pine forest sites were characterized by the following changes in the west-east direction:

– increases in the total number of vascular plant species per unit area and in the species richness of vascular plants in the shrub and herb layers it should be emphasized that the number of lichen species is not correlated with longitude, but determined by local habitat conditions and the maturity degree of the phytocoenosis, is entirely;



– an increase in the values of the Shannon and beta diversity indices; a simultaneous fall in the value of the Simpson Index and an increase in the value of the index of uniformity  $HH_{max}$ , which attests to a change in the dominance structure from mono- or oligodominant to polydominant;

– an increase in the abundance and cover of species with green wintering leaves and a simultaneous fall in the cover of evergreen species;

– an increase in the number of mesomorphic species and a fall in the number of scleromorphic ones;

– an increase in the share of meadow species in the overall cover.

These general conclusions relate to both fresh pine forest and mixed pine forest, but it should be stressed that relationships described for pine forests were stronger and more significant.

The results offer clear confirmation of the assumption that, within a single, narrowly-defined type of plant community, geographical location is the main factor influencing the species richness and diversity of herb layer, as well as its ecological and phytosociological structure.

Author's adress:

Jerzy Solon

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa



ELEONORA KHOTKO

ZESPOŁY BIEGACZOWATYCH (*COLEOPTERA*, *CARABIDAE*)  
W BIOGEOCENOZACH LEŚNYCH  
WZDŁUŻ TRANSEKTU KLIMATYCZNEGO (W-E)  
W STREFIE ŚRODKOWOEUROPEJSKIEJ

1. WSTĘP

Porównanie struktury gatunkowej zespołów owadów jednego regionu z sąsiednimi lub bardziej oddalonymi umożliwia określenie miejsca danej fauny w szeregu innych, pozwala wnioskować o jej wieku i specyficznych cechach. Najczęściej porównuje się fauny poszczególnych regionów w ujęciu strefowym, rzadziej wzdłuż transektów klimatycznych. Wartość danych uzyskanych z jednego obszaru wzrasta, jeśli jednocześnie prowadzone są podobne badania na innych obszarach w warunkach zbliżonej presji człowieka.

Obiektem badań były chrząszcze z rodziny biegaczowatych (*Carabidae*) występujące w lasach sosnowych Polski i Białorusi. Entomolodzy Polski i Białorusi zajmują się badaniem ekologii *Carabidae* lasów sosnowych od wielu lat (Grüm 1976; Chumakow 1986, 1992; Leśniak 1980, 1993; Szyszko 1983). Celem przedstawionych tu badań jest określenie prawidłowości występowania biegaczowatych (*Carabidae*) w lasach sosnowych rozmieszczonych na transekcie biegnącym wzdłuż 52–53°N od zachodniej granicy polskiej do wschodniej białoruskiej.

2. TEREN BADAŃ, METODY

Materiały zebrane w lecie 1995 roku na terenie Polski i Białorusi stanowiły podstawę prezentowanych w niniejszej pracy analiz.

15 stanowisk badawczych rozmieszczono w następujących regionach (podział lasów Polski cytowany za Breymeyer, 1994 i Białorusi za Pugaczewskim (maszynopis):

1. K092. Las sosnowy typowy (*Leucobryo-Pinetum*) – podokręg Namyślin w Kotlinie Frainwaldzkiej (region Notecko-Lubuski, dział Brandenbursko-Wielkopolski).

2. K098. Las mieszany (*Quercus robur-Pinetum*) – podokrąg Puszcza Notecka, okręg Bory Noteckie (region Notecko-Lubuski, dział Brandenbursko-Wielkopolski).

3. K061. Las sosnowy typowy (*Leucobryo-Pinetum*) – na granicy subokręgów Puszcza Notecka i Obrzycko, okręg Bory Noteckie (region Notecko-Lubuski, dział Brandenbursko-Wielkopolski).

4. K023. Las sosnowy typowy (*Leucobryo-Pinetum*) – podokrąg Bobrowniki, okręg Nadwiślański (region Chełmiński-Dobrzyński, poddział Mazowsze, dział Mazowsze-Polesie).

5. K055. Las mieszany (*Quercus robur-Pinetum*) – podokrąg Skępe, okręg Dobrzyń-Skępe (region Chełmiński-Dobrzyński, poddział Mazowsze, dział Mazowsze-Polesie).

6. K117. Las sosnowy typowy (*Peucedano-Pinetum*) – podokrąg Glinojec-Radzaniów, okręg Równina Raciąska (subregion Wkra, region Północne Mazowsze-Kurpie, poddział Mazowsze, dział Mazowsze-Polesie).

7. K126. Las mieszany (*Quercus robur-Pinetum*) – podokrąg Pniewy, okręg Puszcza Biała (subregion Kurpie, region Północne Mazowsze-Kurpie, poddział Mazowsze, dział Mazowsze-Polesie).

8. KS011. Las sosnowy typowy (*Peucedano-Pinetum*) – podokrąg Dolina Górnej Narwi, okręg Dolina Jasioldy (podregion Białowieża, region Północne Podlasie, dział Północno-Mazursko-Białoruski).

9. B1. Las sosnowy (*Pteridium-Pinetum*) – leśnictwo Lesnyany, okręg Baranowichi, region Brest.

10. B2. Las sosnowy (*Pleuroziosum-Pinetum*) – leśnictwo Krasnaya Sloboda, okręg Soligorsk, region Mińsk.

11. B3. Las sosnowy (*Pleuroziosum-Pinetum*) – leśnictwo Polozhevichi, okręg Starye Dorogi, region Mińsk.

12. B4. Las sosnowy (*Pteridium-Pinetum*) – leśnictwo Novobykhov, okręg Bykhov, region Mogilev.

13. B5. Las sosnowy (*Pleuroziosum-Pinetum*) – leśnictwo Starin, okręg Krasnopolie, region Mogilev.

14. B6. Las sosnowy (*Pteridium-Pinetum*) – leśnictwo Khotimsk, okręg Kostyukovichi, region Mogilev.

15. B7. Las sosnowy (*Pleuroziosum-Pinetum*) – leśnictwo Khotimsk, okręg Kostyukovichi, region Mogilev.

Do zbioru fauny zastosowano metodę pułapek Barbera (z 4% formaliną). Na każdym stanowisku założono dwadzieścia pułapek, o średnicy 5–8 cm, pułapki otwarte były przez ok. 60 dni. Stopień podobieństwa ekologicznego ( $I_e$ ) fauny *Carabidae* w badanych biogeocenozach obliczono wg wzoru Gruia (1980):

$$I_e = \sqrt{\frac{c(a+b) \times 100 \times P_{sc}}{2ab}}$$

gdzie:  $c$  – liczba gatunków ogółem,  $a$  i  $b$  – liczba gatunków w każdym z porównywanych stanowisk,  $P_{sc}$  – suma udziału gatunków najmniej liczebnych.

Formy życiowe *Carabidae* określono według Sharova (1981). Różnorodność gatunkową ( $H'$ ) obliczono według wzoru Shannon'a i Weaver'a (1949), a błąd standardowy oraz ilość stopni swobody wyliczono za pomocą wzoru Hutcheson'a (1970). Istotność różnic w faunie *Carabidae* między porównywanymi biotopami określono za pomocą testu Studenta  $t$ . Nazewnictwo *Carabidae* stosowano według opracowania Kryzhanovskij, Belousov, Kabak i in. (1995). W trakcie badań (ogółem 7100 pułapko-dni) zebrano i oznaczono 1160 osobników *Carabidae* z 46 gatunków.

### 3. WYNIKI

#### 3.1. STRUKTURA GATUNKOWA I LICZEBNOŚĆ *CARABIDAE* ZACHODNIEJ CZĘŚCI TRANSEKTU

W ośmiu badanych biogeocenozach leśnych znaleziono 33 gatunki *Carabidae* należące do 13 rodzajów (tab. 1). Dwa z tych rodzajów, *Carabus* L. i *Pterostichus* Bon., są reprezentowane przez największą liczbę gatunków (7). Jednocześnie mają one szeroki zasięg występowania. Wśród nich dominują gatunki transpalearktyczne (55%) i europejskie (21%) (tab. 2).

Zgodnie z preferencją biotopów (Khotko 1993), wszystkie znalezione gatunki można zaklasyfikować do sześciu grup ekologicznych (tab. 3). Dominującymi są gatunki leśne (69%). Wśród nich przeważają gatunki mezofilne: *Calathus micropterus* (35%), *Pterostichus niger* (13%) i umiarkowanie mezofilne: *Calathus erratus* (13%). Szczególnie gatunki *Carabidae*: *Notiophilus aquaticus*, *Notiophilus palustris*, *Amara brunnea*, *Calathus melanocephalus*, *Agonum versutum*, *Cymindis vaporariorum* są typowe dla borów sosnowych, a *Nebria rufescens* i *Agonum versutum* (mezohigrofilne) należą do grupy gatunków leśnych – higrofilnych. Grupa gatunków łąkowo-leśnych (8%) reprezentowana jest przez *Carabidae* zamieszkujące nie tylko łąki, ale także lasy. Spośród nich należy wymienić dwa gatunki: *Pterostichus nigrita* i *Pterostichus rhaeticus*. Liczba gatunków charakterystycznych dla innych siedlisk niż leśne jest mniejsza; są to gatunki łąkowo-polne i polne (8%) oraz łąkowo-bagiennie (4%). Jeden gatunek (*Carabus granulatus*) jest eurybiotyczny. Nie znaleziono w pułapkach gatunków stepowych i leśno-stepowych.

Dominującym typem troficznym wśród zebranej fauny są zoofagi (86%). Większość zoofagicznych *Carabidae* znalezionych w borach sosnowych i mieszanym polu jest obligatoryjnymi drapieżnikami lub hemizoofagami. Wszystkie chrząszcze zoofagiczne zebrane w badanych regionach zamieszkują powierzchnię gleby (28%) lub ściółkę, szczeliny glebowe i glebę (72%). W zbiorach fauny naglebowej dominują biegaczowate migrujące (ryc. 1), szczególnie gatunki z rodzaju *Carabus* L. Te duże chrząszcze wędrują w poszukiwaniu pokarmu. Natomiast gatunki zamieszkujące ściółkę i glebę reprezentowane są przez chrząszcze zasiedlające pory i kapilary (0,61%) (w ściółce, pniach i szczelinach gleby)

Tabela 1

Udział gatunków *Carabidae* (%) w różnych biogeocenozach leśnych (materiał zebrany w sierpniu–wrześniu 1995 r.)Share (%) of *carabid* species caught in the various forest biogeocenososes (August–September 1995)

Lp.	Gatunek	Zachód Granice: Polska-Niemcy					Polska-Białoruś					Wschód Białoruś-Rosja				
		Stanowiska														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	<i>Leistus ferrugineus</i> (L.)	0	27,0	0	0	0	9,1	12,0	0	44,0	0	3,7	0	3,0	0	13,0
2.	<i>L. terminatus</i> (Hell. in Panz.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	6,3	2,0
3.	<i>Nebria rufescens</i> (Ström)	0	0	0	4,0	0	0	8,0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.	<i>Notiophilus aquaticus</i> (L.)	0	0	0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0
5.	<i>N. palustris</i> (Duft.)	0	21,0	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0
6.	<i>N. biguttatus</i> (F.)	2,5	0	5,0	0	0	0	0	0	3,0	1,6	0,4	0	3,2	6,0	
7.	<i>Carabus arvensis</i> Hbst.	1,3	0	0	24,0	3,4	27,3	24,0	4,3	0	51,0	4,5	1,3	20,0	0	8,0
8.	<i>C. cancellatus</i> Ill.	0	0	0	0	0	0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	
9.	<i>C. granulatus</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	
10.	<i>C. nemoralis</i> O. Müll.	0	0	0	0	0	3,0	8,0	0	0	0	0	0	0	0	
11.	<i>C. glabratus</i> Payk.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	
12.	<i>C. hortensis</i> L.	0	0	0	0	10,4	6,2	8,0	15,2	16,0	3,0	0,8	73,1	60,0	0,8	2,0
13.	<i>C. marginalis</i> F.	0	0	0	0	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14.	<i>C. violaceus</i> L.	6,5	0	0	0	6,9	0	0	4,3	0	0	0	0	8,0	0	0
15.	<i>Cychrus caraboides</i> (L.)	0	0	0	0	0	0	8,0	0	0	0	0,4	0,8	0	0,8	0
16.	<i>Loricera pilicornis</i> (F.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0
17.	<i>Miscodera arctica</i> (Payk.)	0	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.	<i>Epaphius secalis</i> (Payk.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0,8	0	
19.	<i>Poecilus cupreus</i> (L.)	1,3	0	0	0	0	0	0	0	2,0	0,4	0	0	0	6,0	
20.	<i>P. versicolor</i> (Sturm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	
21.	<i>Pterostichus niger</i> (Schall.)	0	0	0	4,0	48,3	9,1	8,0	28,3	0	0	0	1,7	0	0,8	0
22.	<i>Pt. vernalis</i> (Panz.)	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
23.	<i>Pt. anthracinus</i> (Ill.)	0	0	0	0	0	0	0	6,5	0	0	0	0	0	0	0
24.	<i>Pt. nigrita</i> (Payk.)	1,3	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0,8	0	0	0	8,0
25.	<i>Pt. rhaeticus</i> Heer	0	0	0	0	0	0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.	<i>Pt. strenuus</i> (Panz.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7	0	3,2	2,0
27.	<i>Pt. aterrimus</i> (Hbst)	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0	0	0	0	0	0	0
28.	<i>Pt. oblongopunctatus</i> (F.)	0	0	0	0	3,4	0	0	0	5,0	31,0	24,8	2,5	3,0	54,7	15,0
29.	<i>Pt. melanarius</i> (Ill.)	0	0	0	0	0	0	4,0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
30.	<i>Calathus fuscipes</i> (Gz.)	1,3	5,0	0	4,0	0	3,0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.	<i>Cal. erratus</i> (Sahlb.)	15,6	0	35,0	0	0	3,0	4,0	10,9	0	0	0	0	0	0	0
32.	<i>Cal. melanocephalus</i> (L.)	23,4	5,0	3,0	0	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.	<i>Cal. micropterus</i> (Duft.)	28,6	27,0	49,0	60,0	20,7	33,3	4,0	23,9	33,0	10,0	60,2	16,4	6,0	17,5	20,0
34.	<i>Agonum versutum</i> Sturm	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.	<i>A. fuliginosum</i> (Panz.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0
36.	<i>Oxypselaphus obscurum</i> (Hbst )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,9	0
37.	<i>Synuchus vivalis</i> (Ill.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0
38.	<i>Amara plebeja</i> (Gyll.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0
39.	<i>A. convexior</i> Steph.	0	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40.	<i>A. eurynota</i> (Panz.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0,8	6,0
41.	<i>A. bifrons</i> (Gyll.)	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42.	<i>A. brunnea</i> (Gyll.)	0	5,0	0	0	6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43.	<i>Anisodactylus signatus</i> (Panz.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0
44.	<i>Harpalus rufipes</i> (Deg.)	0	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45.	<i>Cymindis angularis</i> (Gyll.)	13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46.	<i>C. vaporariorum</i> (L.)	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 2

Udział (% liczby gatunków) różnych elementów geograficznych w faunie *Carabidae* w biogeocenozach leśnych w zachodniej i wschodniej części transektu  
Share (% of species number) of the various geographical elements in ground beetle fauna in western and eastern forest biogeocenoses

Element geograficzny	Zachód – West	Wschód – East
Holarktyczny	12	12
Transpaleoarktyczny	55	69
Euroarktyczny	3	8
Eurosyberyjski	9	3
Europejski	21	8

Tabela 3

Udział (% liczby gatunków) różnych grup ekologicznych w faunie *Carabidae* w biogeocenozach leśnych w zachodniej i wschodniej części transektu  
Share (% of species number) of the various ecological groups in ground beetle fauna in western and eastern forest biogeocenoses

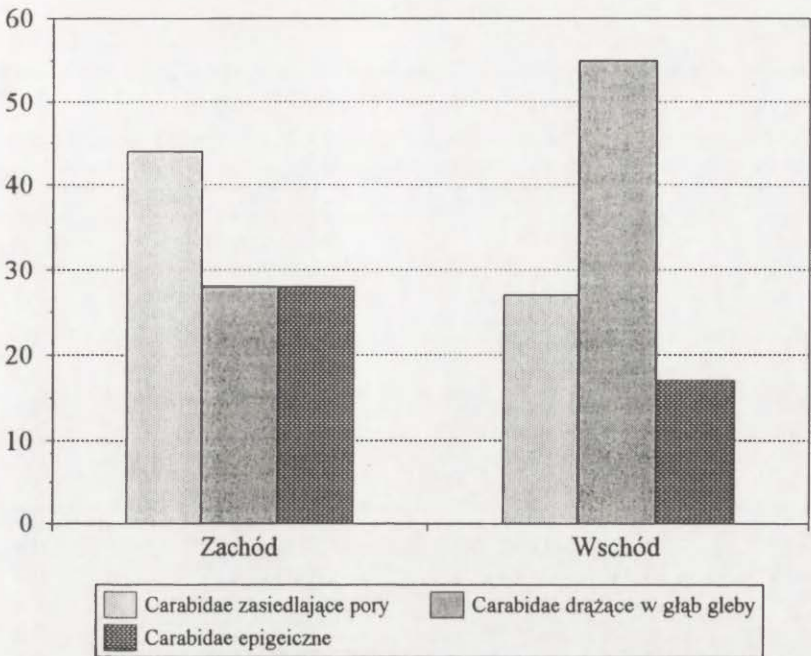
Grupa ekologiczna	Zachód – West	Wschód – East
Leśna	69	68
Łąkowo-leśna	8	12
Łąkowo-bagienna	4	0
Łąkowo-polna	8	8
Polna	8	12
Eurybiotyczna	3	0

oraz drążące w głąb (39%). Chrząższe żyjące w powierzchniowej warstwie ściółki (12%), to przede wszystkim rodzaj *Notiophilus*. Opisano tylko cztery gatunki tego rodzaju: *Notiophilus aquaticus*, *N. palustris*, *N. biguttatus* i *Agonum versutum*.

Zwierzęta z głębszych warstw ściółki i szczelin gleby są bardziej płaskie, stwardniałe i metalicznie błyszczące, są reprezentowane przez jeden gatunek *Cymindis angularis*. W Polsce występuje on rzadko, głównie na północy.

Biegaczowate drążące w głąb reprezentowane są przez siedem gatunków z rodzajów *Poecilus* Bon. i *Pterostichus* Bon.: *Poecilus cupreus*, *Pterostichus niger*, *Pt. anthracinus*, *Pt. nigrita*, *Pt. rhaeticus*, *Pt. oblongopunctatus*, *Pt. melanarius*.

Gatunki charakteryzujące się mieszanym typem odżywiania stanowią 14% zebranego materiału. Pod względem preferencji mikrosiedliskowych dzielą się one na trzy grupy: mieszkańców runa i gleby (50%), ściółki, szczelin i porów gleby (25%) oraz runa, ściółki i szczelin glebowych (25%). W skład pierwszej grupy wchodzi *Amara convexior* i *Amara bifrons*. Drają one rośliny lub aktywnie wchodzi w głąb gleby. Grupa biegaczowatych zamieszkujących pory to chrząszcze głównie z rodzaju *Amara* Bon. Żerują one na szczątkach roślinnych



Ryc. 1. Skład i udział dominujących grup form życiowych *Carabidae*  
Composition and proportion of dominant life-form groups of ground beetle

i zwierzęcych, czasami stosując drapieżnictwo. W skład trzeciej grupy wchodzi *Harpalus rufipes*.

### 3.2. STRUKTURA GATUNKOWA I LICZEBNOŚĆ *CARABIDAE* W BIOGEOCENOZACH LEŚNYCH WSCHODNIEJ CZĘŚCI TRANSEKTU

Na siedmiu stanowiskach borów sosnowych i mieszanych na Białorusi znaleziono 26 gatunków *Carabidae* należących do 14 rodzajów (tab. 1). Najliczniejsze w gatunki są rodzaje: *Pterostichus* Bon. (6 gatunków) i *Carabus* L. (4 gatunki). Dominują wśród nich te o szerokim zasięgu występowania, a więc transpalearktyczne (69%) i holarktyczne (12%) (tab. 2). Liczba gatunków o zasięgu euroarktycznym i europejskim jest znacznie mniejsza (8%).

We wschodniej części transektu znaleziono chrząszcze należące do 4 grup ekologicznych. Grupa chrząszczy leśnych jest najliczniejsza w gatunki (69%), a wśród nich dominują mezofilne gatunki: *Calathus micropterus* (31%), *Carabus hortensis* (28%) i *Pterostichus oblongopunctatus* (21%). Z grupy łąkowo-leśnej (12%) warto wymienić higrofilne gatunki: *Leistus terminatus* i *Pterostichus nigrita*. Grupa chrząszczy łąkowo-leśnych i polnych reprezentowana jest przez pięć gatunków: mezofilny *Poecilus cupreus* i mezohigrofilny *Amara plebeja* występują na łąkach i polach. Tylko na polach występują mezofilne *Synuchus vivalis* i *Amara eurynota* oraz umiarkowanie kserofilny *Anisodactylus signatus*.

Wskaźnik różnorodności (SDI) fauny *Carabidae* obliczony dla różnych typów lasów na transekcie klimatycznym (zachód–wschód)

Species diversity indices (SDI) of ground beetles in the various forests along the climatic transect (west–east)

Nr stanowiska	SDI, H, nt	Maximum SDI, Minimum SDI	Równomierność
1	1,9761 ± 0,11356	2,6390–0,88707	0,6
2	1,8055 ± 0,18566	2,0794–1,3750	0,6
3	1,2286 ± 0,14887	1,7917–0,61352	0,5
4	1,1640 ± 0,20476	1,7917–0,82229	0,4
5	1,5133 ± 0,17456	1,9459–0,88052	0,6
6	1,8562 ± 0,16766	2,3025–1,1851	0,6
7	2,3797 ± 0,16042	2,5649–1,8851	0,7
8	1,9273 ± 0,12296	2,3025–0,92420	0,7
9	1,2450 ± 0,9044	1,6094–0,35137	0,7
10	1,2162 ± 0,10555	1,7917–0,38555	0,6
11	1,3882 ± 0,13073	2,4849–0,62033	0,4
12	0,96907 ± 0,08153	2,3025–0,24402	0,4
13	1,2042 ± 0,11298	1,7917–0,35222	0,6
14	1,5641 ± 0,11461	2,6390–0,59663	0,5
15	2,3904 ± 0,10058	2,7080–1,1161	0,8

Dominującą grupą są zoofagi (88%), żyjące na powierzchni gleby (18%) oraz w ściółce, szczelinach glebowych i glebie (82%) (ryc. 1). W pułapkach przeważa fauna reprezentowana głównie przez chrząszcze wędrujące po powierzchni gleby. Wśród nich są tylko cztery gatunki rodzaju *Carabus* L. (1,7 raza mniej niż w zachodniej części transektu).

Biegaczowate żyjące w glebie są reprezentowane przez trzy grupy:

– zamieszkujące pory ściółkowe oraz żyjące w pniach stanowią 66% liczby gatunków;

– żyjące na powierzchni ściółki to *Carabidae* z rodzajów: *Leistus* Fröl., *Epaphius* Steph., *Pterostichus* Bon., *Calathus* Bon., *Agonum* Bon., *Oxypselaphus* Chaud. i *Synuchus* Gyll. 22% chrząszczy żyjących na powierzchni ściółki należy do czterech gatunków: trzy z nich są z rodzaju *Notiophilus* Dum. i jeden z rodzaju *Loricera* Latr;

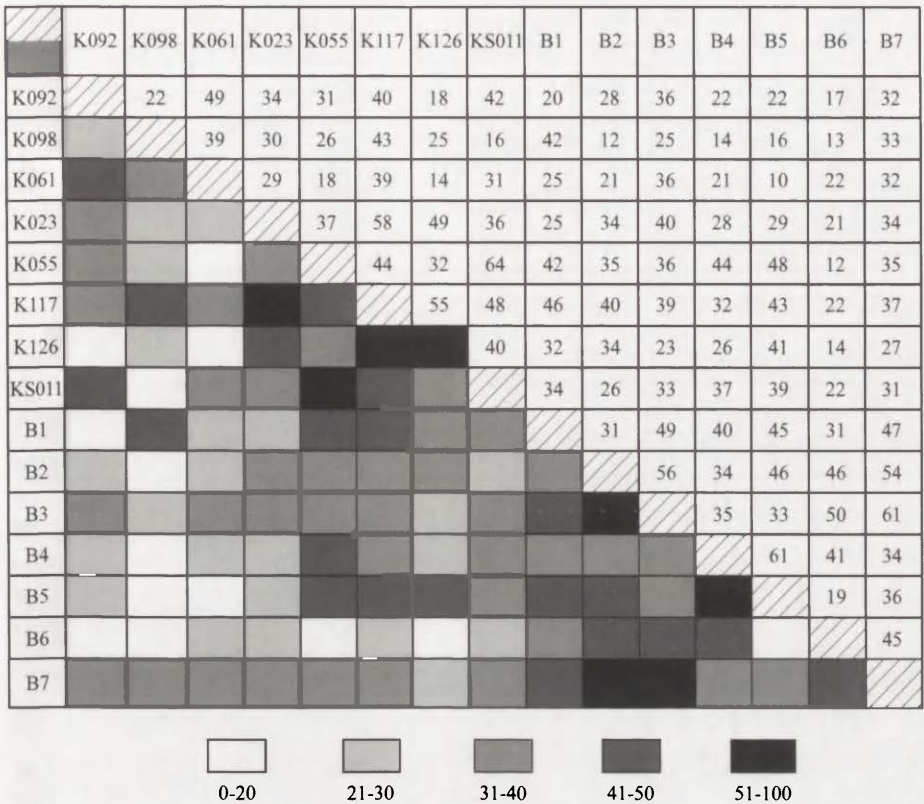
– drążące w głąb gleby reprezentowane są przez sześć gatunków z rodzajów: *Poecilus* Bon. i *Pterostichus* Bon.

Zwierzęta mixofitofagiczne w runie, ściółce i glebie to: *Amara eurynota*, *Amara plebeja*, *Anisodactylus signatus*.

### 3.3. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA FAUNY *CARABIDAE* WYSTĘPUJĄCEJ WZDŁUŻ CAŁEGO TRANSEKTU KLIMATYCZNEGO

Zmiany warunków klimatycznych wpływają na skład gatunkowy, strukturę dominacyjną, zagęszczenie i skład grup ekologicznych *Carabidae*.





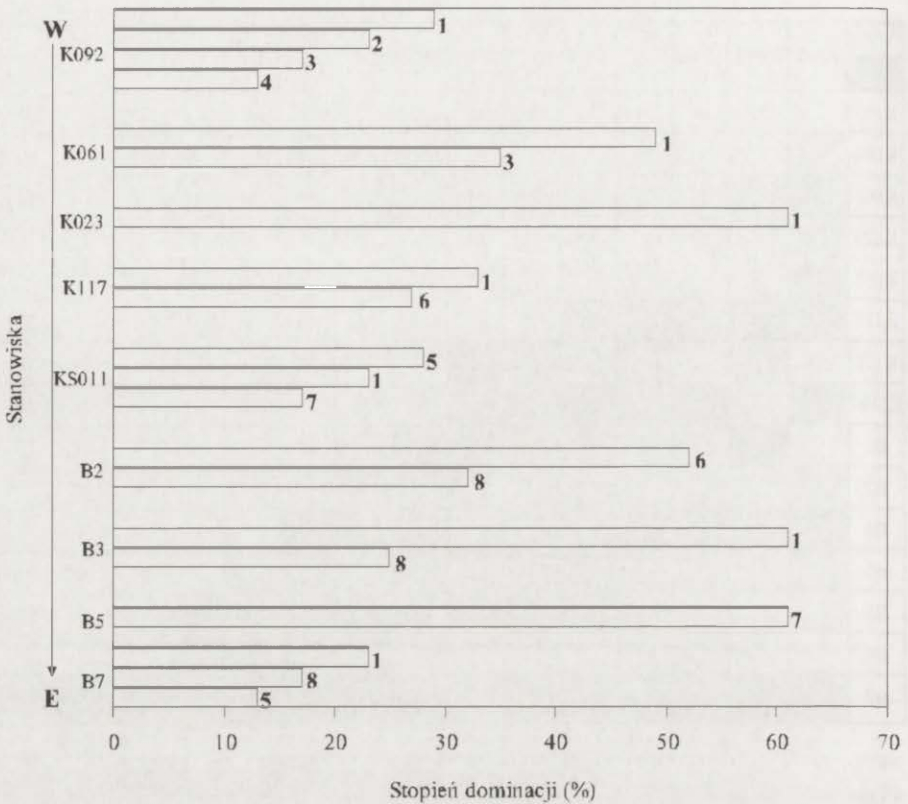
Ryc. 2. Diagram podobieństwa fauny *Carabidae* w różnych typach lasów sosnowych wzdłuż transektu klimatycznego (zachód–wschód)

Diagram of similarity between ground beetle groups in the various types of pine forests along the climatic transect (west–east)

W 15 badanych biogeocenozach leśnych występuje 46 gatunków należących do 18 rodzajów. Znalaziono tylko 13 wspólnych gatunków charakterystycznych dla całego transektu. 20 gatunków występuje tylko w zachodniej jego części, a 13 we wschodniej.

W celu oceny zmienności przestrzennej zespołów *Carabidae* w różnych biogeocenozach leśnych na transekcji sporządzono diagram podobieństwa. Zamieszczone na diagramie (ryc. 2) pary współczynników podobieństwa otrzymano przez porównanie składu fauny *Carabidae* występującej na różnych stanowiskach leśnych i w różnych warunkach klimatycznych. Diagram ten wskazuje, że tylko około 1/3 stanowisk ma podobny skład gatunkowy.

Podobieństwo ekologiczne fauny *Carabidae* w Polsce i Białorusi jest stosunkowo niskie, wynosi ono 47%. Porównywane pary stanowisk zawierają od 1 do 10 gatunków wspólnych (najczęściej 3–4 gatunki). Skład jakościowy fauny zmienia się znacznie z zachodu na wschód. Ustępują gatunki: *Calathus fuscipes*, *C. erratus* i *C. melanocephalus*, natomiast pojawia się *Poecilus cupreus*, żyjący na



Ryc. 3. Stopnie dominacji najbardziej licznych gatunków *Carabidae* w typowych lasach sosnowych na transekcie klimatycznym

Degree of dominance of the most numerous ground beetle species in typical pine forest along the climatic transect

1 – *Calathus micropterus*, 2 – *Calathus melanocephalus*, 3 – *Calathus erratus*, 4 – *Cymindis angularis*, 5 – *Pterostichus niger*, 6 – *Carabus arvensis*, 7 – *Carabus hortensis*, 8 – *Pterostichus oblongopunctatus*

otwartych przestrzeniach. Tylko jeden gatunek *Calathus micropterus* występuje na wszystkich 15 badanych stanowiskach, natomiast *Carabus arvensis* na 10.

W zależności od wilgotności gleby, badane gatunki można podzielić na kilka grup ekologicznych:

- Gatunki występujące w mokrych i wilgotnych glebach (*Pterostichus vernalis*).
- Gatunki występujące w mokrych, wilgotnych i świeżych glebach (*Carabus granulatus*, *Pterostichus anthracinus*).
- Gatunki występujące tylko w glebach wilgotnych (*Amara plebeja*, *Poecilus cupreus*, *Harpalus rufipes*).
- Gatunek występujący we wszystkich wyżej wymienionych i bardzo suchych glebach (*Oxypselaphus obscurum*).
- Gatunki występujące w glebach o różnej wilgotności, aż do gleb suchych (*Pterostichus melanarius*, *Pt. niger*, *Pt. strenuus*, *Pt. nigrita*, *Pt. rhaeticus*).

- Gatunki występujące w glebach o różnej wilgotności, aż do gleb bardzo suchych (*Pterostichus oblongopunctatus*, *Calathus melanocephalus*).
- Gatunki występujące w glebach od świeżych do suchych (*Carabus hortensis*, *Epaphius secalis*, *Notiophilus palustris*).
- Gatunki występujące w glebach od umiarkowanie świeżych do bardzo suchych (*Calathus micropterus*).
- Gatunki występujące w glebach bardzo suchych (*Calathus erratus*).

#### 3.4. STRUKTURA DOMINACJI W ZESPOŁACH CARABIDAE

Zgodnie ze strukturą dominacyjną, badane *Carabidae* można podzielić na trzy grupy: dominanty, subdominanty i gatunki rzadkie. Dominantami przede wszystkim są: *Calathus micropterus*, *C. erratus*, *Carabus arvensis*, *C. hortensis*, *Pterostichus niger*, *Pt. oblongopunctatus*, *Leistus ferrugineus* (ryc. 3). We wszystkich badanych typach biogeocenozy leśnych jest 10 gatunków dominujących.

W zachodniej części transektu dominuje całkowicie *Calathus micropterus*. W centralnej części transektu (KS011) następują zmiany struktury, zaczyna dominować *Pterostichus niger*, a *Calathus micropterus* staje się subdominantem. W kierunku na wschód zaczynają przeważać gatunki *Carabus arvensis* i *Pterostichus oblongopunctatus*, a w niektórych lasach sosnowych dominuje także *Carabus hortensis*. Na wschodnim krańcu transektu dominują znów *Calathus micropterus*, *Pterostichus oblongopunctatus* i *Leistus ferrugineus*.

Dwa gatunki *Calathus melanocephalus* i *C. erratus* dominują tylko na zachodzie. W centralnej i wschodniej części transektu ich zagęszczenie spada. Należy podkreślić, że gatunek *Cymindis angularis* nie został stwierdzony we wschodniej części transektu.

Duże gatunki, takie jak *Carabus arvensis* i *C. hortensis*, dominują w miejscach, gdzie roślinność jest urozmaicona. *Leistus ferrugineus* i *Notiophilus palustris* dominują głównie w borach mieszanych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Praca jest porównawczym opracowaniem danych dotyczących zgrupowań *Carabidae* (*Coleoptera*) występujących na 15 stanowiskach lasu sosnowego i mieszanego na transekcie przecinającym Polskę i Białoruś z zachodu na wschód (ponad 1800 km). Materiały zebrano w czasie ekspedycji jesienią 1995 r. i częściowo uzupełniono podczas innych ekspedycji na terenie Białorusi.

Analiza zgrupowania chrząszczy z rodziny *Carabidae* występujących na transekcie klimatycznym upoważnia do następujących wniosków:

- Zachodnia część transektu różni się od wschodniej ponad połową składu gatunkowego *Carabidae*.
- W obydwu (zachodniej i wschodniej) częściach transektu przeważają gatunki transpalearktyczne o szerokim zasięgu występowania. Na zachodzie dominują gatunki europejskie, a na wschodzie holarktyczne. Niektóre z nich są bardzo



pospolite i licznie występują w całej Europie (*Carabus hortensis*), inne są rzadkie i charakteryzują się tylko występowaniem lokalnym (*Carabus nemoralis*); zasięgi ich nie są do końca ustalone.

– Spektrum grup ekologicznych wyodrębnionych na podstawie preferencji biotopów jest bardziej różnicowane na zachodzie.

– Typ troficzny zespołów *Carabidae* pozostaje niezmienny w zachodniej i wschodniej części transektu, z wyjątkiem niewielkich zmian zagęszczenia chrząszczy zoofagicznych i mixofitofagicznych. Zagęszczenie dużych zoofagicznych *Carabidae* wzrasta z zachodu na wschód, ale liczba gatunków maleje.

– Spektrum form życiowych chrząszczy na transekcie zmienia się znacząco. Ogólnie rzecz ujmując, różnorodność form jest większa na zachodzie.

– Dominanty i niektóre subdominanty zmieniają się wzdłuż transektu klimatycznego. Dominanty występujące we wschodniej części transektu wskazują na to, że obszar ten stanowią (lub stanowiły) głównie ziemie uprawne. Natomiast gatunki dominujące w zachodniej części, świadczą o większej wilgotności gleby i powietrza w tym regionie.

– Dominacja *Calathus micropterus* (jedynego gatunku wspólnego dla wszystkich biogeocenoz) zwiększa się w kierunku centralnego sektora transektu.

#### LITERATURA

- B r e y m e y e r A., 1994, *Functioning of Forest Ecosystems in Gradients of Climate and Pollution: Project for Comparative Ecosystem Studies on Transects*, [w:] J. Solon, E. Roozilińska, A. Bytnerowicz (red.), *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*, Conference Papers 19, IGSO PAS, Warszawa, 101–107.
- C h u m a k o v L., 1986, *Spectra of life forms of ground beetles in forest biocenoses within an industrial area*, Ed. Izv. Akad. Nauk BSSR, Ser. biol. Nauk, 1–16.
- 1992, *Ecological and faunistic characterization of carabids complexes in the forest biocenoses of the Pripyat Reserve in Belarus*, Vesti Akad. Navuk Belarusi. Ser. Biol. Navuk, 2, 58–62.
- G r u i a L., 1980, *Un nouvel indice écologique de similarité*, Hidrobiologia (RSR), 16, 19–26.
- G r ü m L., 1976, *Biomass production of carabid beetles in a few forest habitats*, Ekol. pol., 24, 37–65.
- H u t c h e s o n K., 1970, *A test for comparing diversities based on the Shannon formula*, J. Theor. Biol., 19, 1, 151–154.
- K h o t k o E., 1993, *Soil fauna of Belarus*, Nauka i Technika, Minsk.
- K r y z h a n o v s k i j O. L., B e l o u s o v I. A., K a b a k I. I., K a t a e v B. M., M a k a r o v K. V., S h i l e n k o v V. G., 1995, *A Checklist of the Ground-Beetles of Russia and Adjacent Lands (Insecta, Coleoptera, Carabidae)*, Pensoft Publishers, Sofia–Moscow.
- L e ś n i a k A., 1980, *Ekologiczno-faunistyczna inwentaryzacja entomofauny naziemnej Parków Narodowych*, Dokumentacja IBL, Warszawa.
- 1993, *Carabidae (Coleoptera) of pine forests in Poland*, Fragmenta Faunistica, 36, 10, 157–174.
- S h a n n o n C. E., W e a v e r W., 1949, *The mathematical theory of communication*, Urbana: Univ. Illinois Press.



- Sharova I. Kh., 1981, *Life forms of ground beetles (Coleoptera, Carabidae)*, Nauka, Moscow.  
 S z y s z k o J., 1983, *State of Carabidae (Col.) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment*, Wyd. SGGW, Warszawa.

COMMUNITIES OF GROUND BEETLES (*COLEOPTERA, CARABIDAE*)  
 IN FOREST BIOGEOCOENOSES ALONG A CLIMATIC (W–E) TRANSECT  
 IN THE CENTRAL EUROPEAN ZONE

S u m m a r y

The comparative research concerned the communities of carabid beetles at 15 pine or mixed pine forest sites along a >1800 km W–E transect crossing Poland and Belarus at 52°N (from 12–32°E). Material was collected in autumn 1995 and partially augmented during other expeditions to Belarus.

The following conclusions were drawn from analysis of carabid communities occurring at sites along this climatic transect:

1. Communities in the western and eastern parts of the transect differed in species composition by more than a half.

2. Wide-ranging transpalearctic species were predominant in both the western and east parts of the transect, albeit with European species prevailing in the former and Holarctic species in the latter. Certain species occurring are very common throughout Europe (e. g. *Carabus hortensis*), while others are rare and occur locally only (*C. nemoralis*) with their actual ranges not having been established.

3. A more diverse spectrum of ecological groups distinguished on the basis of biotope preference is noted in the western part of transect.

4. The trophic types are the same in communities of the transect's western and eastern parts, with the exception of minor differences in the densities of zoophagous and myxophytophagous species. The density of large zoophages is greater in the east, though the number of species is smaller.

5. The spectrum of life forms differs markedly along the transect, with the general trend being for a greater diversity of forms in the west.

6. Dominants and certain subdominants are different at different points along the transect. The nature of the dominants at the eastern end point is mainly cultivated, while dominants in the western part attest to this region's higher soil and air humidity.

7. The dominance of *Calathus micropterus* (the only species common to all stands) is greater towards the centre of the transect.

Author's adress:

Eleonora Khotko  
 Instytut Zoologii, Białoruska Akademia Nauk  
 ul. Skorina 27, 220072 Mińsk, Białoruś



ELŻBIETA OLECHOWICZ

## MAKROFAUNA GLEBOWO-ŚCIÓŁKOWA BORÓW SOSNOWYCH W GRADIENTCIE ZRÓŻNICOWAŃ KLIMATYCZNYCH ORAZ ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH W POLSCE

### 1. WSTĘP

Bezkregowce glebowe, o słabych zdolnościach migracyjnych, są dobrym wskaźnikiem warunków siedliskowych, takich jak: typ gleby i próchnicy (Vanek 1959; Volz 1962; Wallwork 1970; Górny 1975; David i in. 1993), żyzność siedliska (Olechowicz 1986, 1995; Schaefer, Schauer mann 1990, 1997; Paquin, Coderre 1997), odczyn gleby (Satchell 1955), jej wilgotność, temperatura (Rubcowa 1967; van der Drift 1967; Kaczmarek 1979). Zwierzęta glebowe są także wrażliwe na zanieczyszczenia przemysłowe (Vanek 1967; Kholova 1968; Pfeffer 1968; Górny 1972; Dąbrowska-Prot 1984; Paplińska 1984, 1987; Andrzejewska, Chmielewski 1995).

W badaniach dotyczących wpływu zróżnicowania klimatycznego i zanieczyszczeń przemysłowych na funkcjonowanie ekosystemów leśnych informacje o makrofaunie glebowej stanowią uzupełnienie badań nad krążeniem materii w tych ekosystemach. Od składu, liczebności i aktywności tych zwierząt zależy tempo rozkładu i ponownego włączenia do obiegu pierwiastków zawartych w martwej materii organicznej.

Celem niniejszej pracy było zbadanie oraz ocena:

- czy i jak zróżnicowanie klimatyczne oraz zanieczyszczenia przemysłowe na wytyczonych transektach wpływają na makrofaunę glebową borów,
- w jakim zakresie zmienia się skład, liczebność i biomasa tych zwierząt w ekosystemie borowym.

### 2. TEREN, METODY, MATERIAŁY

Badania prowadzono w 16 środowiskach borowych usytuowanych wzdłuż:

- 1) transektu klimatycznego (TK) przebiegającego równoleżnikowo od zachodniej do wschodniej granicy Polski, zgodnie z rosnącym kontynentalizmem klimatu (liczącego 9 stanowisk),

2) transektu „śląskiego” (TS) przebiegającego od Górnego Śląska do północno-wschodniej części kraju (okolic Białowieży), zgodnie z malejącym gradientem zanieczyszczeń przemysłowych (liczącego 7 stanowisk).

Przebieg transektów, usytuowanie stanowisk, ich charakterystyki klimatyczne, przedstawia A. Breymeyer we wstępnym rozdziale niniejszego tomu oraz glebowe i geobotaniczne – M. Degórski, E. Roo-Zielińska i J. Solon.

Na każdym ze stanowisk pobierano jednorazowo po 10 prób gleby o powierzchni 100 cm<sup>2</sup> każda i głębokości 10 cm. Materiał zbierano od września 1993 do września 1995 r. Na transekcje klimatycznym próby pobrano 6-krotnie, a na transekcje „śląskim” 3-krotnie (tab. 1).

T a b e l a 1

Wykaz stanowisk i terminów pobierania prób

List of sites and sampling occasions

	Nr	Stanowiska	Nazwa	Terminy pobierania prób					
				IX 93	V 94	VI 94	X 94	V 95	IX 95
Transekt klimatyczny (TK)	1	K092	Namyślin	+	+	+	+	+	+
	2	K100	Skwierzyna	+	+	+	–	–	–
	3*	*K098	Lipki	+	+	+	+	+	+
	4	K061	Krucz	+	+	+	+	+	+
	5	K023	Bobrowniki	+	+	+	+	–	+
	6*	*K055	Skrwilno	+	+	+	+	+	+
	7*	*K117	Glińojek	+	+	+	+	+	+
	8*	*K126	Brok	+	+	+	+	+	+
	9	KS011	Browsk	+	+	+	+	+	+
Transekt „śląski” (TS)	7	S023	Kosów Lacki	–	–	+	+	+	–
	6	S011	Nowe Miasto	–	–	+	+	+	–
	5	S002	Miedzierz	–	–	+	+	+	–
	4*	*S060	Złoty Potok	–	–	+	+	+	–
	2	S005	Tworog	–	–	+	+	+	–
	3	S028	Klucze	–	–	+	+	+	–
	1*	*S126	Racibórz	–	–	+	+	+	–

Nr 1–9 kolejność usytuowania na TK od zachodu do wschodu, nr 1–7 kolejność usytuowania na TS od Śląska do Białowieży, \* – bory mieszane.

No. 1–9 locality sequence in TK from west to east, No. 1–7 locality sequence in TS from Śląsk to Białowieża, \* – mixed forest.

Do ekstrakcji zwierząt stosowano zmodyfikowaną metodę Tullgrena. Próby gleby umieszczone w lejках były od góry oświetlane i podgrzewane żarówkami grzejnymi (temp. 25°C w pierwszych dniach ekstrakcji, następnie 40°C), a od dołu były chłodzone strumieniem zimnej wody. Wypłaszanie zwierząt trwało około 10 dni – do całkowitego wysuszenia gleby. Do konserwacji zwierząt podczas ekstrakcji stosowano kwas pikrynowy.



Wartość biomasy uzyskano na podstawie iloczynu zagęszczenia i średniego ciężaru osobnika w danej klasie wielkości z poszczególnych taksonów. Zwierzęta przed ważeniem były suszone w temperaturze 85°C.

Do statystycznej weryfikacji wyników stosowano:

- nieparametryczną analizę wariancji – test Kruskala-Wallisa,
- test Wilcozona do oceny istotności różnic w liczebności zwierząt między parami analizowanych stanowisk (Siegel 1956),
- korelacje i regresje proste.

Obiektem badań były bezkręgowce zwierzęta glebowo-ściółkowe, które według klasyfikacji van der Drifta (1951) można zaliczyć do makrofauny (wielkość od 2 do 20 mm). Wśród tych zwierząt wyróżniono dwie grupy (tab. 2):

Tabela 2

Liczba osobników ( $N$ ) poszczególnych taksonów odłowionych w trakcie badań oraz ich udział procentowy w danej grupie ( $D1$ ) i całości makrofauny ( $D2$ )

Individuals number ( $N$ ) of particular taxons caught during researches and their percentage contribution to groups ( $D1$ ) and to total macrofauna ( $D2$ )

	Takson	Transekt klimatyczny (K)			Transekt „śląski” (S)		
		$N$	$D1$	$D2$	$N$	$D1$	$D2$
Grupa I	Larwy owadów:						
	<i>Diptera</i>	988	21,2	13,9	258	15,9	11,2
	<i>Coleoptera</i>	1949	41,8	27,4	1001	61,8	43,4
	<i>Heteroptera</i>	623	13,4	8,8	124	7,6	5,4
	Inne	91	1,9	1,3	18	1,1	0,8
	<i>Lumbricidae</i>	13	0,3	0,2	7	0,4	0,3
	<i>Enchytraeidae</i>	150	3,2	2,1	118	7,3	5,1
	<i>Diplopoda</i>	25	0,5	0,3	10	0,6	0,4
	<i>Symphyla</i>	356	7,6	5	44	2,7	1,9
	<i>Chilopoda</i>	462	9,9	6,5	39	2,4	1,7
	Razem	4657	100	65,5	1619	100	70,2
Grupa II	Imago owadów:						
	<i>Diptera</i>	222	9,1	3,1	64	9,3	2,7
	<i>Coleoptera</i>	42	1,7	0,6	18	2,6	0,8
	<i>Staphylinidae</i>	164	6,7	2,3	67	9,7	2,9
	<i>Heteroptera</i>	64	2,6	0,9	14	2	0,6
	<i>Hymenoptera</i>	83	3,4	1,2	20	2,9	0,9
	<i>Formicidae</i>	1235	50,5	17,4	193	28	8,4
	<i>Thysanoptera</i>	317	13	4,5	124	18	5,4
	<i>Aphidoidea</i>	3	0,1	0,04	56	8,1	2,4
	Inne	13	0,5	0,2	4	0,6	0,2
	<i>Aranea</i>	262	10,7	3,7	96	13,9	4,1
	<i>Pseudoscorpionidae</i>	36	1,5	0,5	31	4,5	1,3
	<i>Gastropoda</i>	2	0,1	0,03	2	0,3	0,1
Razem	2443	100	34,5	689	100	29,8	
Suma (GI i GII)	7100		100	2308		100	

- Grupa I – zwierzęta glebowe, ściśle związane z glebą i ściółką, w której żyją, przechodzą rozwój i żerują.
- Grupa II – zwierzęta ściółkowe lub epigeiczne, występujące głównie na powierzchni ściółki, a także w innych piętrach ekosystemu.

### 3. WYNIKI

#### 3.1. SKŁAD MAKROFAUNY

W okresie badań odłowiono na obu transektach łącznie 9408 zwierząt należących do różnych grup systematycznych (tab. 2). Do grupy I liczącej 9 taksonów zaliczono larwy owadów, pierścienice i wije. Najliczniejsze w tej grupie były larwy *Coleoptera*: 41,8% na transekcie klimatycznym i aż 61% na transekcie „śląskim”; odpowiednio 27,7 i 43,4% całości makrofauny. Drugie miejsce pod względem liczebności zajmują w tej grupie larwy *Diptera* z udziałem 21,2% (TK) i 15,9% (TS) oraz z 13,9% i 11,2% udziałem w liczebności całej makrofauny.

W grupie II znalazło się pozostałe 12 taksonów, na które składają się głównie owady dorosłe (imago) oraz pajęczaki i ślimaki. W grupie tej zdecydowanymi dominantami są mrówki (*Formicidae*), które stanowią 50% (TK) i 28% (TS) liczebności zwierząt; prawidłowa ocena zagęszczenia mrówek wymaga dodatkowych metod, których w niniejszej pracy nie zastosowano. Podobnie ocena liczby owadów dorosłych wymaga innej metodyki. Biorąc te zastrzeżenia pod uwagę, grupa II traktowana była jako materiał uzupełniający, poddawany analizom tylko w niektórych przypadkach wyraźnie zaznaczonych w tekście. Całość analizy odnosi się do grupy I.

Największe różnice między transektami zaznaczają się w występowaniu i liczebności *Chilopoda*, *Diplopoda*, *Symphyla* i *Aphidoidea* (tab. 3). Na TS zagęszczenie *Chilopoda* jest statystycznie istotnie niższe ( $p = 0,032$ ), a mszyc wyższe ( $p = 0,049$ ) niż na TK.

W lasach transektu klimatycznego, z 21 wykazanych taksonów występowało od 15 do 21. Największą liczbę taksonów zarejestrowano na najdalej wysuniętym na wschód stanowisku KS011. Zróżnicowanie borów TK pod względem liczby taksonów zwierząt glebowych jest statystycznie istotne ( $p < 0,01$ ).

Na transekcie „śląskim” liczba taksonów zmieniała się od 12 do 18 i w większości lasów była niższa niż na TK. Tutaj również stanowisko najbardziej wysunięte na wschód S023 odznaczało się największą różnorodnością zwierząt.

#### 3.2. LICZEBNOŚĆ

Lasy transektu klimatycznego charakteryzują się dużą zmiennością liczebności zwierząt zarówno w czasie (w kolejnych terminach pobierania prób), jak i w przestrzeni. Na stanowiskach TK zmiany zagęszczenia zwierząt w czasie są

Tabela 3

Liczba taksonów makrofauny glebowej oraz zagęszczenie zwierząt (osob./m<sup>2</sup>)  
wybranych taksonów

Number of soil macrofauna taxons and animals density (indiv./m<sup>2</sup>) of chosen taxons

Stanowiska	Transekt klimatyczny									
	K092	K100	*K098	K061	K023	*K055	*K117	*K126	KS011	$\bar{x}$
Liczba taksonów	18	18	19	15	15	19	16	17	21	
<i>Chilopoda</i>	235	113,3	115	5	16	130	145	66,7	3,3	92,1
<i>Diplopoda</i>	3,3	10	20		12	1,7			1,7	5,4
<i>Symphyla</i>	6,7	156,7	10			305	53,3	105	35	74,6
<i>Aphidoidea</i>						1,7			3,3	0,6

Stanowiska	Transekt „śląski”							
	S023	S011	S002	*S060	S005	S028	*S126	$\bar{x}$
Liczba taksonów	18	16	12	15	17	15	17	
<i>Chilopoda</i>	16,7	3,3		36,7			76,7	19,1
<i>Diplopoda</i>	33,3							4,7
<i>Symphyla</i>	3,3	3,3		96,7	13,3		30	20,9
<i>Aphidoidea</i>	26,7		13,3	10	26,7	106,7	3,3	26,7

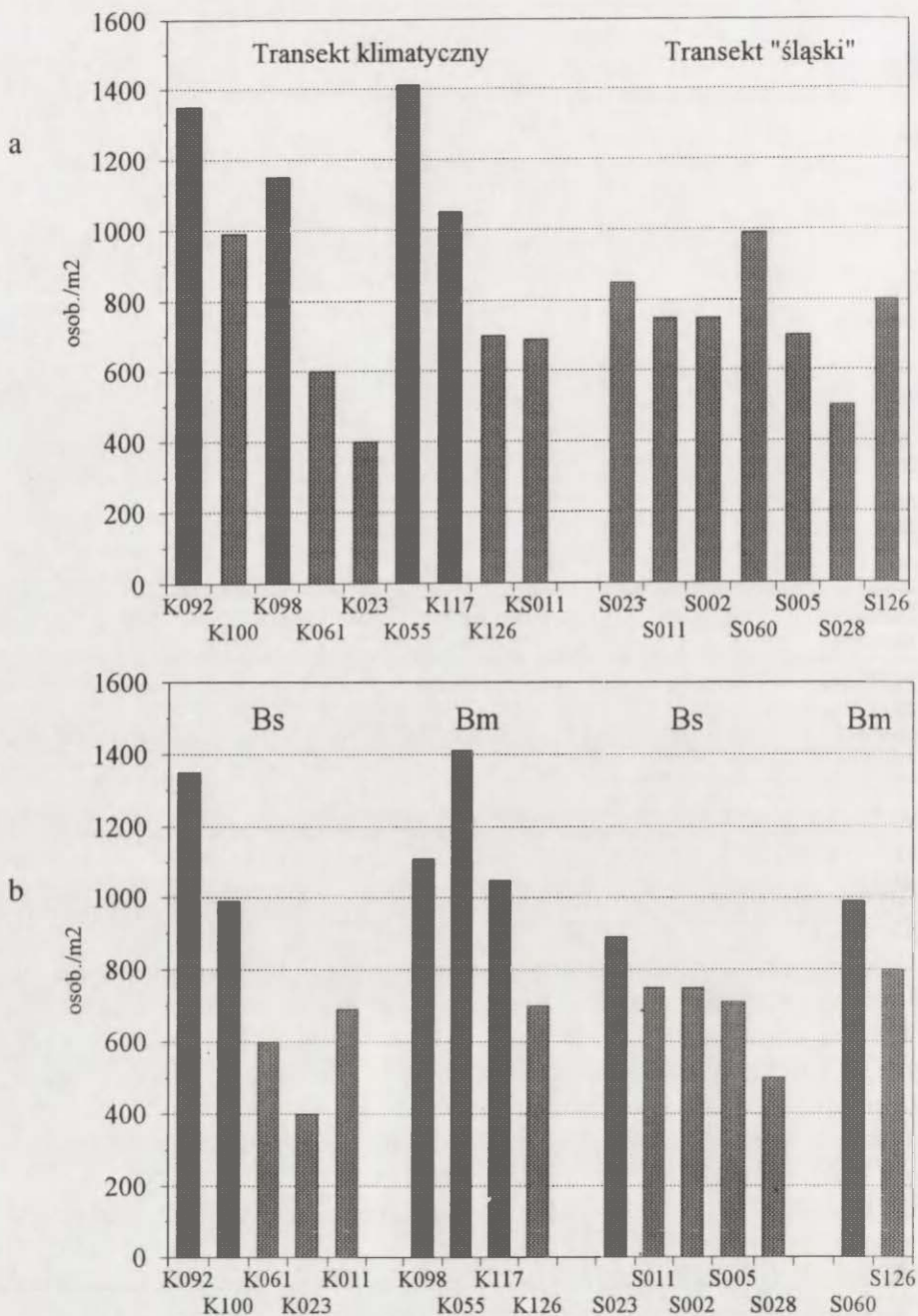
\* – bory mieszane,  $\bar{x}$  – średnie zagęszczenie zwierząt dla transektu.

\* – mixed forest,  $\bar{x}$  – mean animals density of transect.

statystycznie istotne: dla całości makrofauny ( $p < 0,001$ ) oraz grupy I i II ( $p < 0,01$ ).

Średnie zagęszczenie makrofauny na stanowiskach tego transektu waha się w bardzo szerokich granicach od 722 do 2325 osob./m<sup>2</sup>; w grupie I od 420 do 1418, w grupie II od 290 do 906 osob./m<sup>2</sup>. Najniższymi zagęszczeniami zwierząt grupy I charakteryzowały się stanowiska K061 i K023 ubogie bory sosnowe (Degórski – s. 31–40, Roo-Zielińska, Solon – s. 79–97 w tym tomie), a najwyższym stanowisko K055 bór mieszany (ryc. 1). Różnice te są statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ). Odrębnie analizowano bory sosnowe i bory mieszane (ryc. 1b). Zaznacza się dość wyraźna tendencja spadku liczebności makrofauny grupy I, od zachodu do wschodu Polski, czyli zgodnie ze spadkiem średnich temperatur powietrza i wzrostem ich amplitudy. Zróżnicowanie liczebności zwierząt grupy I w borach sosnowych jest statystycznie istotne ( $p = 0,05$ ). Liczebność jednego taksonu tej grupy – *Chilopoda* jest dodatnio skorelowana z temperaturą powietrza ( $r = 0,503$ ;  $p = 0,046$ ) oraz ujemnie z długością geograficzną ( $r = -0,556$ ;  $p = 0,025$ ).

Stanowiska transektu „śląskiego” charakteryzują się zbliżonym poziomem liczebności zwierząt i podobnym przebiegiem ich zmian w czasie. Średnie zagęszczenie wszystkich zwierząt na poszczególnych stanowiskach tego transektu



Ryc. 1. Średnie zagęszczenie makrofauny glebowej (grupa I) w lasach obu transektów

a – stanowiska w kolejności W–E na transektie klimatycznym i E–SW na „śląskim”;

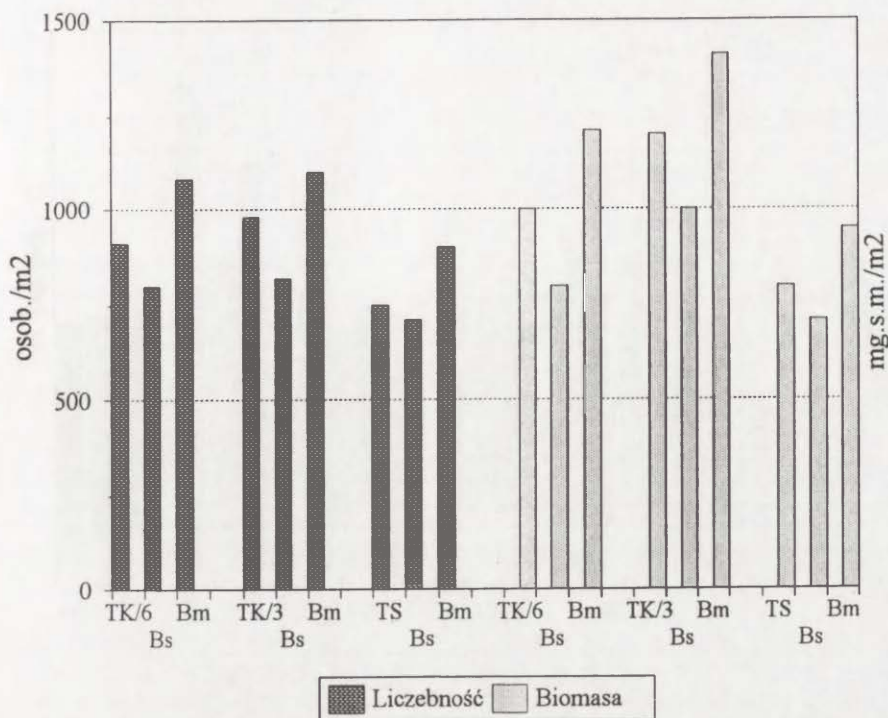
b – z podziałem na bory sosnowe (Bs) i bory mieszane (Bm), kolejność stanowisk jak na ryc. 1a

Mean density of soil macrofauna (Group I) in the forests of both transects

a – sites in of the W–E sequence along the climatic transect and E–SW sequence along the “Silesian” transect;

b – with division into pine forests (Bs) and mixed forests (Bm); site sequence as in fig. 1a





Ryc. 2. Średnie zagęszczenie i biomasa makrofauny (grupa I) dla transektów oraz typów lasu

TK/6 – na podstawie całości materiału (6 serii prób), TK/3 – na podstawie 3 serii prób pobieranych równocześnie na obu transektach, Bs – bory sosnowe, Bm – bory mieszane

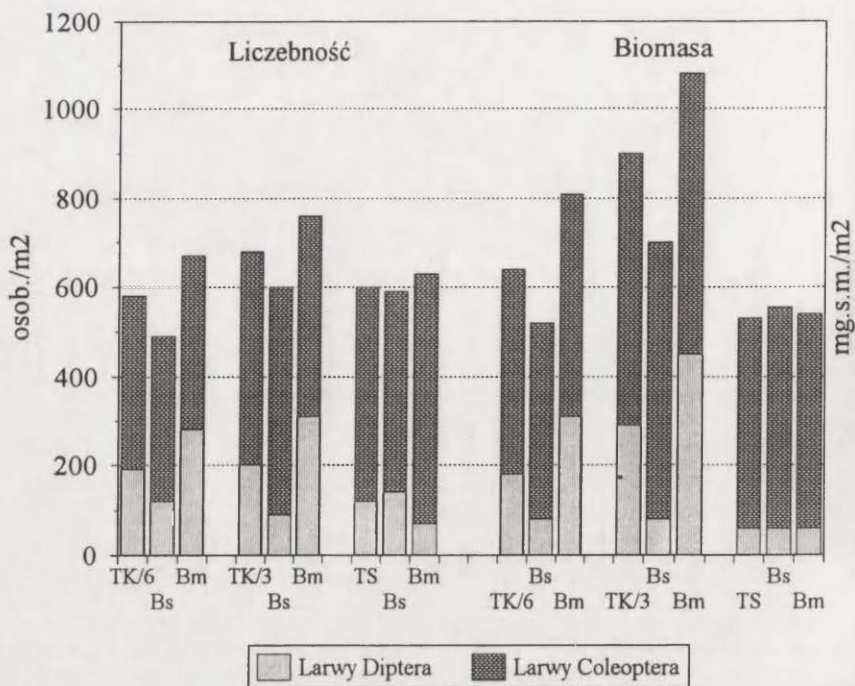
Mean density and biomass of soil macrofauna (group I) on the transects and in different types of forest

TK/6 – based on total material (6 series of samples), TK/3 – based on 3 series of samples taken at the same time on both transects, Bs – pine forests, Bm – mixed forests

zmienia się od 900 do 1406 osob./m<sup>2</sup>, w tym zwierząt grupy I od 506 do 973 osob./m<sup>2</sup> (ryc. 1).

Zaznaczyły się różnice w liczebności zwierząt między transektami. Zagęszczenie makrofauny w większości lasów TS jest niższe niż w lasach transektu klimatycznego, stąd średnie dla transektów zagęszczenie zwierząt, zwłaszcza grupy I, a w niej larw *Diptera* jest wyższe na TK (ryc. 2, 3), zarówno gdy bierzemy pod uwagę całość materiału (TK/6), jak i trzy serie prób (TK/3) brane równocześnie na obu transektach. Wykazane różnice nie są jednak statystycznie istotne. Jedynie w liczebności *Chilopoda* i *Aphidoidea*, o czym wspomniano już wcześniej, wystąpiły statystycznie istotne różnice między transektami.

Bory mieszane obu transektów charakteryzowały się istotnie wyższym zagęszczeniem zwierząt grupy I ( $p = 0,03$ ) niż bory sosnowe, a na transekcje klimatycznej



Ryc. 3. Średnie zagęszczenie i biomasa larw *Diptera* i *Coleoptera* dla transektów oraz typów lasu. Oznaczenia jak na ryc. 2

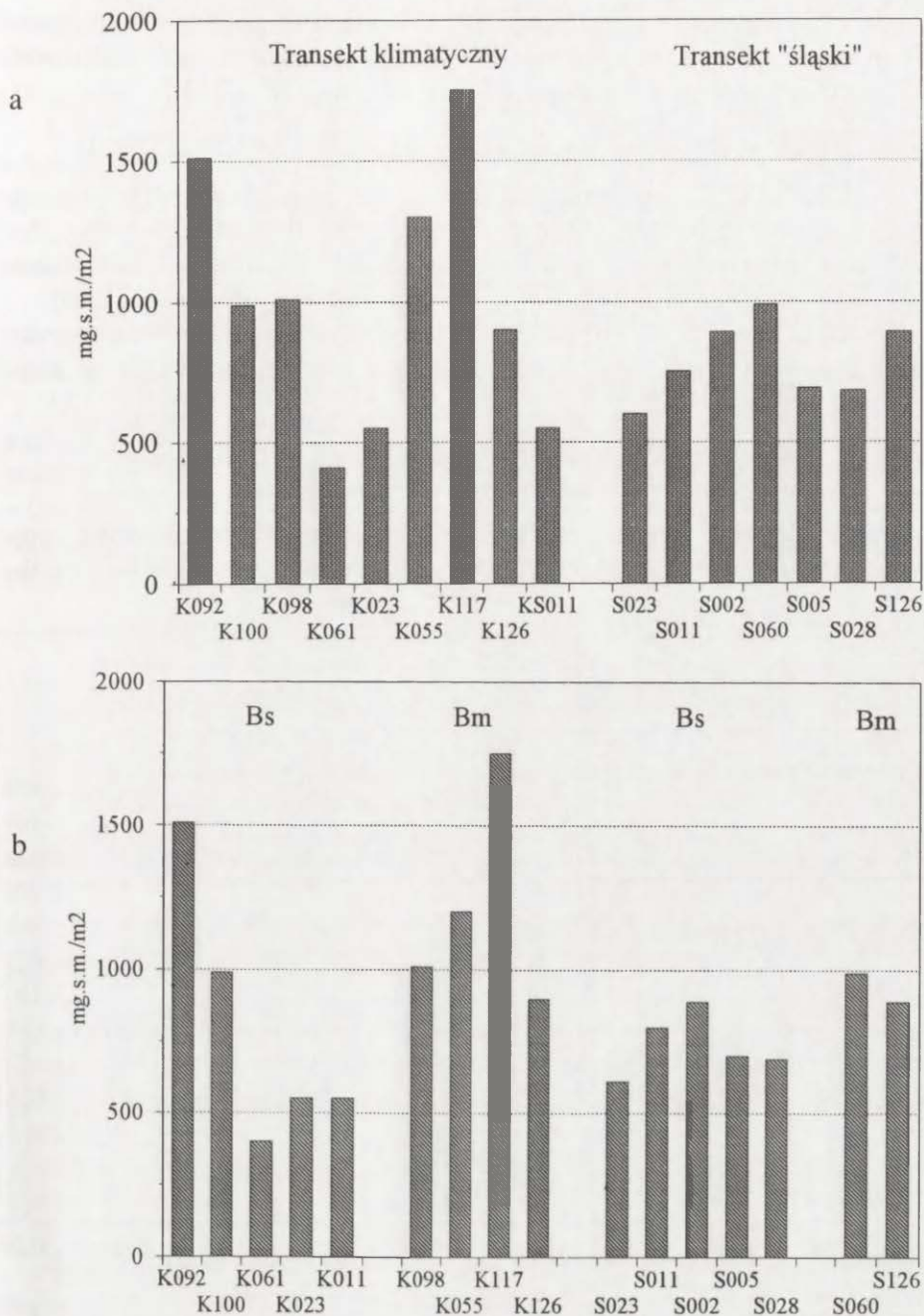
Mean density and biomass of *Diptera* and *Coleoptera* larvae on the transects and in different types of forests. Explanations as in fig. 2

cznym różnice te dotyczyły również całości makrofauny ( $p = 0,05$ ) oraz larw *Diptera* ( $p = 0,04$ ).

### 3.3. BIOMASA

W borach transektu klimatycznego średni stan biomasy całej makrofauny, podobnie jak jej liczebność, waha się w bardzo szerokich granicach od 635 do 2263 mg.s.m./m<sup>2</sup> w tym biomasa zwierząt grupy I od 406 do 1739 (ryc. 4a). Tylko dla zwierząt grupy I zróżnicowanie to jest statystycznie istotne ( $p = 0,018$ ). Na tym transekcje bory mieszane charakteryzują się wyższą biomasa zwierząt grupy I ( $p = 0,018$ ) oraz całości makrofauny ( $p = 0,05$ ) niż bory sosnowe (ryc. 4b). Biomasa zwierząt glebowych w borach sosnowych jest ujemnie skorelowana z długością geograficzną ( $r = -0,395$ ;  $p = 0,045$ ), czyli zmniejsza się od zachodniej do wschodniej granicy Polski.

Na stanowiskach transektu „śląskiego” średni stan biomasy badanych zwierząt wykazuje mniejszą zmienność niż na TK i biomasa zwierząt grupy I zmienia się w granicach 686–973 mg.s.m./m<sup>2</sup> (ryc. 4). Z porównania obu transektów wynika, że średni stan biomasy makrofauny na transekcje klimatycznym jest znacznie wyższy niż na transekcje „śląskim” (ryc. 2) i różnice te są statystycznie



Ryc. 4. Średnia biomasa makrofauny glebowej (grupa I) w lasach obu transektów.  
Oznaczenia jak na ryc. 1

Mean biomass of soil macrofauna (group I) in the forests of both transects.  
Explanations as in fig. 1

istotne dla całości makrofauny ( $p < 0,001$ ). Bory mieszane obu transektów utrzymują wyższe niż bory sosnowe biomasy makrofauny, zarówno gdy analizować wszystkie odłowione zwierzęta ( $p = 0,05$ ), jak i grupę I ( $p = 0,03$ ).

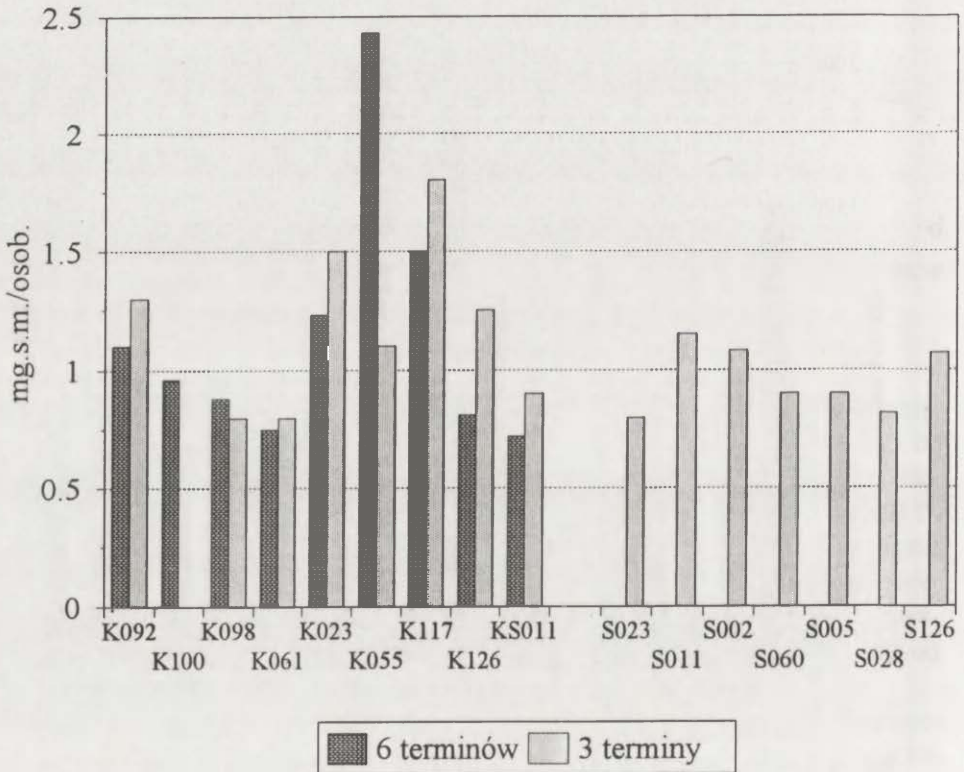
#### 3.4. ŚREDNIA BIOMASA OSOBNICZA W BADANYCH ZGRUPOWANIACH MAKROFAUNY

Na transekcie klimatycznym ciężar przeciętnego osobnika całego zgrupowania makrofauny wahał się dość znacznie w poszczególnych ekosystemach (ryc. 5). Zróznicowanie to jest statystycznie istotne ( $p = 0,041$ ). Również średnia biomasa osobnicza larw *Diptera* w badanych lasach TK różniła się istotnie ( $p < 0,01$ ).

W lasach transektu „śląskiego” ciężary przeciętnych osobników w zgrupowaniach makrofauny były zbliżone i na większości stanowisk niższe niż na transekcie klimatycznym.

#### 3.5. WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH NA LICZEBNOŚĆ I BIOMASĘ MAKROFAUNY

Przeanalizowano wpływ kilku składników emitowanych przez przemysł i powodujących skażenie środowiska na zgrupowania bezkręgowców glebowo-ściół-



Ryc. 5. Średnia biomasa osobnicza w zgrupowaniach makrofauny w lasach obu transektów  
Mean individual biomass in soil macrofauna communities in the forests of both transects



kowych. Zbadano, jakie są zależności między stężeniem  $\text{SO}_2$  i w atmosferze (Wawrzoniak, Małachowska 1993) oraz zawartością ołowiu i cynku w glebie (Degórski w tym tomie – s. 31–39), a liczebnością i biomasa makrofauny.

Stwierdzono, że liczebność i biomasa większości zwierząt jest ujemnie skorelowana z zawartością dwutlenku siarki w atmosferze i zależność ta jest statystycznie istotna dla liczebności i biomasy mrówek ( $r = -0,525$ ;  $p = 0,036$ ) we wszystkich badanych ekosystemach oraz w borach mieszanych dla biomasy całej makrofauny ( $r = -0,869$ ;  $p = 0,024$ ).

Dodatkowo natomiast ze stężeniem  $\text{SO}_2$  skorelowana jest liczebność i biomasa mszyc *Aphidoidea* ( $r = -0,499$ ;  $p = 0,048$ ) na wszystkich stanowiskach, oraz liczebność larw *Coleoptera* w borach mieszanych ( $r = -0,838$ ;  $p = 0,036$ ).

Również wzrost zawartości w glebie metali ciężkich – ołowiu i cynku – powoduje zmniejszenie liczebności i biomasy większości zwierząt. Dla larw chrząszczy zależność ta była statystycznie istotna: dla ich liczebności ( $r = -0,723$ ;  $p = 0,002$ ) i biomasy ( $r = -0,493$ ;  $p = 0,05$ ) a zawartością Pb w glebie (poziom A). Natomiast liczebność i biomasa mszyc była dodatkowo skorelowana z zawartością Pb w wierzchnich warstwach gleby  $A_0$  ( $r = -0,685$ ;  $p = 0,004$ ).

#### 4. DYSKUSJA

Wśród ekosystemów leśnych naszego kraju bory sosnowe należą pod względem żyzności siedliska do najuboższych (Zimka, Stachurski 1976), stąd niska różnorodność i obfitość zwierząt glebowych należących do makrofauny. Liczebności zwierząt w lasach obu transektów wahały się w dość szerokich granicach, jednak uzyskane zagęszczenia należy uznać za wysokie w porównaniu z innymi danymi. I tak, w badaniach własnych autorki, w borze sosnowym Puszczy Kampinoskiej zagęszczenie makrofauny grupy I zmieniało się od 390 do 509 osob./m<sup>2</sup>, a w borze mieszanym od 523 do 1067 osob./m<sup>2</sup>. Zagęszczenie larw *Diptera* wahało się odpowiednio 103–127 i 170–284, zaś larw *Coleoptera* 287–346 w borze sosnowym i 317–364 osob./m<sup>2</sup> w borze mieszanym (Olechowicz 1986). Dla lasów Śląska (grądy i bory mieszane) Paplińska (1980) podaje zagęszczenie larw owadów 441–781 osob./m<sup>2</sup>, w tym larw *Diptera* 276–455 osob./m<sup>2</sup>. Borowski (1995) dla borów sosnowych różnych rejonów Polski podaje bardzo niskie zagęszczenia larw *Diptera* – od kilku do kilkudziesięciu osobników na 1 m<sup>2</sup> (w tym wypadku stosowano metodę ręcznego przebierania próbek gleby).

Ocena wpływu zróżnicowania klimatycznego i zanieczyszczeń przemysłowych na makrofaunę glebowo-ściółkową była utrudniona stwierdzonym zróżnicowaniem siedlisk (Degórski w tym tomie – s. 41–53) i fitocenozy (Roo-Zielińska, Solon w tym tomie – s. 79–97). Mimo tych utrudnień wyraźnie zarysowały się pewne tendencje.

Na transekcie klimatycznym w miarę przesuwania się od zachodu na wschód Polski następuje spadek liczebności i biomasy makrofauny w borach sosnowych.

Również porównanie skrajnych stanowisk na transekcje, tj. K092 i KS011, potwierdza tę prawidłowość. Są to zmiany istotne statystycznie. Tendencję spadku liczebności i biomasy zwierząt glebowo-ściółkowych wraz ze wzrostem kontynentalizmu klimatu potwierdzają korelacje, wprawdzie słabe, ale wskazujące na kierunek zależności negatywny do długości geograficznej oraz zgodny z roczną temperaturą powietrza.

Przeciwna tendencja zaznacza się w bogactwie taksonomicznym omawianych zwierząt. Na obu transektach stanowiska najdalej wysunięte na wschód (najniższe temperatury i najmniej zanieczyszczeń) odznaczały się największą różnorodnością zgrupowania makrofauny. Zarejestrowano tu największą liczbę taksonów bezkręgowców glebowo-ściółkowych. O tym, że czynnikiem znaczącym mogą być tutaj zmiany klimatyczne świadczą dodatnie korelacje liczby taksonów z długością geograficzną i ujemne ze średnią roczną temperaturą powietrza badanych stanowisk.

Na transekcje „śląskim” cztery ostatnie stanowiska, usytuowane na Śląsku, narażone były na intensywne emisje przemysłowe. Tutaj stężenie  $SO_2$ ,  $NO_x$  w atmosferze i zawartość metali ciężkich w igłach sosny (Wawrzoniak, Małachowska 1993) oraz skażenie gleby ołowiem i innymi metalami ciężkimi (Degórski w tym tomie – s. 41–53) było najwyższe.

Wyraźnie zaznacza się wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na zwierzęta glebowe. Liczebność i biomasa całości makrofauny, poszczególnych jej grup oraz niektórych taksonów na transekcje „śląskim” jest znacznie niższa niż na transekcje klimatycznym (tylko w przypadku larw *Coleoptera*, *Enchytraeidae* i *Aphidoidea* następuje wzrost ich liczebności bezwzględnej lub względnej).

W borach transektu „śląskiego” w porównaniu z borami TK następuje spadek ciężaru średniego osobnika makrofauny (SBO wg Szujeckiego 1995), a zwłaszcza larw *Diptera*. Zachodzi tzw. „drobnienie form”, które informuje o zwiększonych stratach energetycznych na metabolizm w danym ekosystemie. SBO wydaje się być dobrym wskaźnikiem żyzności siedliska (Wallwork 1970; Górny 1975; Olechowicz 1995) oraz jego degradacji antropogennej (Pętał 1983, 1991; Szujecki 1995; Perliński 1995).

Wielu autorów wykazuje, że wraz z ubożeniem środowisk (Olechowicz 1986, 1995; David i in. 1993) lub ich chemizacją (Perliński 1995) wzrasta liczebność larw chrząszczy (głównie *Elateridae*), a zmniejsza się liczebność larw muchówek (Volz 1962; Paplińska 1980; Olechowicz 1986). Z podobną sytuacją mamy do czynienia na transekcje „śląskim”, gdzie w porównaniu z TK wzrasta liczebność larw chrząszczy, a spada liczebność larw muchówek.

Grupami, którymi najbardziej różniły się oba transekty były wije *Chilopoda* i *Diplopoda* oraz mszyce. Jeśli chodzi o wije, to zwierzęta te uchodzą za dobry wskaźnik warunków higrotermicznych i żyzności (Rubcova 1967; Kaczmarek 1979), co potwierdzają przedstawiane wyniki – zwierzęta te były liczne w borach mieszanych obu transektów. Wyniki wskazują, że *Chilopoda* mogą być także dobrym wskaźnikiem zanieczyszczeń przemysłowych, gdyż liczebność ich na TS, mimo zbliżonych warunków

ków klimatycznych, jest około 5-krotnie (statystycznie istotnie) niższa aniżeli na TK. Podobnie zareagowały *Diplopoda*, które na TS wystąpiły tylko w jednym środowisku, najdalej wysuniętym na wschód i najmniej zanieczyszczonym.

Do zwierząt, których zagęszczenie wzrosło na transekcje „śląskim” w porównaniu z TK, należały przede wszystkim mszyce. Liczebność ich wzrosła 45-krotnie. Różnice w liczebności mszyc między transektami są statystycznie istotne. Podobną reakcję wzrostu liczebności zaobserwowano u mszyc przy podaniu dużych dawek nawozów mineralnych na łąkach (Olechowicz 1976). Prawdopodobnie chemizacja środowiska powoduje osłabienie roślin, które przez to są bardziej narażone na ataki roślinożerców. Dodatkowo korelacje liczebności mszyc z zawartością dwutlenku siarki w atmosferze ( $p = 0,048$ ) i zawartością ołowiu w wierzchniej warstwie gleby ( $p = 0,004$ ) badanych ekosystemów wydają się potwierdzać to przypuszczenie.

## 5. WNIOSKI

### 5.1. WPLYW ZRÓŻNICOWANIA KLIMATYCZNEGO

Z rosnącym od zachodu do wschodu Polski kontynentalizmem klimatu zarejestrowano pewne tendencje w występowaniu makrofauny glebowo-ściółkowej. Wraz z przesuwaniem się na wschód stwierdzono:

- spadek liczebności i biomasy całego zgrupowania makrofauny, a zwłaszcza grupy I, czyli zwierząt glebowych; spadek ten wyraźnie zaznaczył się w borach sosnowych transektu klimatycznego,
- wzrost bogactwa taksonomicznego makrofauny,
- spadek ciężaru przeciętnego osobnika w zgrupowaniach makrofauny borów sosnowych.

### 5.2. WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH

Z porównania obu transektów wynika, że na transekcje „śląskim” następuje:

- spadek liczebności i biomasy całości makrofauny oraz niektórych taksonów jak larwy *Diptera*,
- wzrost liczebności i biomasy mszyc *Aphidoidea* i larw chrząszczy *Coleoptera*,
- zmniejszenie bogactwa taksonomicznego,
- zmniejszenie średniej biomasy osobniczej.

Szczegółowe analizy wykazały, że większość zwierząt ujemnie reaguje (spadkiem liczebności i biomasy) na wybrane składniki zanieczyszczeń przemysłowych niektóre jednak owady, jak mszyce i larwy *Coleoptera* reagują dodatnio.

Najlepszymi bioindykatorami kompleksowych zanieczyszczeń przemysłowych okazały się *Chilopoda* i *Aphidoidea*, które wyraźnie zareagowały liczebnością – jedno ujemnie, a drugie dodatnio.



## LITERATURA

- Andrzejewska L., Chmielewski K., 1995, *Reakcje zespołów mikroflory i fauny bezkręgowej, gleby i warstwy zielnej na degradację środowisk leśnych Karkonoszy*, [w:] Z. Fischer (red.), *Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy*, Oficyna Wydawnicza IE PAN, 269–302.
- Borowski J., 1995, *Antropogeniczne przeobrażenia zgrupowań larw muchówek (Diptera) borów sosnowych Polski*, [w:] *Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych*, Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”, 335–355.
- Breymer A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, *Environmental Pollution*, 98, 335–345.
- David J. F., Pong J. F., Delecour F., 1993, *The saprophagous macrofauna of different types of humus in beech forest of the Ardenne (Belgium)*, *Pedobiologia*, 37, 49–56.
- Dąbrowska-Prot E., 1985, *The effect of industry on biocoenoses*, *Pol. Ecol. Stud.*, 10, 1–2, 187–206.
- Górny M., 1972, *Badania kierunków i tempa zmian w zoocenozach gleb pod wpływem narastania lub ograniczenia wpływu emisji przemysłowych na las*, I Ogólnop. Symp. Ekol. Aspektu Chemizacji, Łódź.
- 1975, *Zoekologia gleb leśnych*, PWRiL, Warszawa.
- Kaczmarek J., 1979, *Pareczniki (Chilopoda) Polski*, UAM Ser. zool., Poznań, 9, 99.
- Kholova H., 1968, *Vliv exhalaci na pudni faunu smrkovych porostuw krusnych horach*, [w:] *Imise a lesni cenosa*, Československa Akademie Ved, Praha, 63–68.
- Olechowicz E., 1976, *The effect of mineral fertilization on insect community of the herbage in a meadow*, *Pol. Ecol. Stud.*, 2, 4, 129–136.
- 1986, *Density and biomass of soil macrofauna from different forest ecosystems of the Kampinos Forest*, *Ekol. Pol.*, 34, 4, 689–710.
- 1995, *Structure and function of invertebrate communities in three different forest ecosystems: pine forest, pine-oak forest and alder swamp*, [w:] *Functioning and dynamic of natural and perturbed ecosystems*, D. Bellan, G. Bonin, Ch. Emig. (red.), Londres, Paris, New York, 423–438.
- Paplińska E., 1980, *Preliminary analysis of communities of soil Diptera larvae in forest ecosystems from variously utilized areas*, *Pol. Ecol. Stud.*, 6, 4, 625–643.
- 1984, *Density, biomass and qualitative structure of soil Diptera larvae communities in industrial areas*, *Pol. Ecol. Stud.*, 10, 1–2, 93–110.
- 1987, *Preliminary quantitative and qualitative estimation of soil associations of Diptera larvae occurring in forest ecosystems and in woodlots in the vicinity of Knurów (Silesia)*, *Pol. Ecol. Stud.*, 13, 1, 95–111.
- Paquin P., Coderre D., 1997, *Changes in soil macroarthropod communities in relation to forest maturation through three successional stages in the Canadian boreal forest*, *Oecologia* 112, 104–111.
- Perliński S., 1995, *Antropogeniczne przeobrażenia zgrupowań larw sprężyków (Elateridae) w ekosystemach borów sosnowych*, [w:] *Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych*, Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”, 269–333.
- Petal J., 1983, *The effect of mineral fertilization on biocoenotic structure and matter economy on meadows*, *Ecol. Pol.*, 31, 4, 913–929.
- 1991, *Biocoenotic changes resulting from management of peatbogs of various origin*, *Pol. Ecol. Stud.*, 17, 333–345.
- Pfeffer A., 1968, *Vlivy imisi na lesni cenosa*, [w:] *Imise a lesni cenosa*, Československa Akademie Ved, Praha, 5–19.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species*



- composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360.
- Rubcowa Z. I., 1967, *Über Myriapoden in verschiedenen Typen von Kiefernwalder im westlichen Teil der Belorussischen Sowjetrepublik*, Pedobiol., 7, 1, 42–54.
- Satchell J. E., 1955, *Some aspects of earthworm ecology*, [w:] *Soil Zoology*, D. K. Mc. Keran, Butterworths Scientific Publications, London, 180–201.
- Schaefer M., Schauer mann J., 1990, *The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil*, Pedobiol., 34, 299–314.
- Siegel S., 1956, *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*, McGraw-Hill, Auckland, 312.
- Szujcki A., 1995, *Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych, Wstęp*, Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”, 7–15.
- Vander Drift J., 1951, *Analysis of the animal community in a beech forest floor*, Tijdschr. Ent., 94, 1–168.
- 1967, *Dynamics of soil communities*, [w:] *Progress in Soil Biology*, O. Graff, J. E. Satchel (red.), Publ. Company, Amsterdam, T. Vieweg and Sohn GmbH Braunschweig, North-Holland, 613–629.
- Vaneck J., 1959, *Použitelnost pudni zoologie pro lesnickou typologii*, Sbornik Ved Pr. Fak Les. v Praze, 2, 25–40.
- 1967, *Industrieexhalate und Moosmilbengemeinschaften in Nordbohmen*, [w:] *Progress in Soil Biology*, O. Graff, J. E. Satchel (red.), Publ. Company, Amsterdam, T. Vieweg and Sohn GmbH Braunschweig, North-Holland, 331–339.
- Volz P., 1962, *Beitrage zu einer pedozoologischer Standortslehre*, Pedobiol., 1, 4, 242–290.
- Wallwork J. A., 1970, *Ecology of soil animals*, McGraw-Hill, London, New York, Sydney, Toronto, Johannesburg, Panama, 283.
- Wawrzoniak J., Małachowska J., 1993, *Characterization of observation plots distributed on climatic and anthropogenic gradients*, [w:] *Effects of atmospheric deposition and climate change on forest ecosystems in Eastern Europe and the United States*. Report on Polish American co-operation.
- Zimka J. R., Stachurski A., 1976, *Vegetation as modifier of carbon and nitrogen transfer to soil in various types of forest ecosystems*, Ekol., Pol., 24, 493–514.

## THE SOIL AND LITTER MACROFAUNA OF PINE FOREST ALONG GRADIENTS OF CLIMATE AND INDUSTRIAL POLLUTION IN POLAND

### S u m m a r y

The research involved 16 pine-forest sites along two transects in Poland:

- 1 a climatic (W–E) transect between 52 and 53°N spanning a 1.6°C difference in mean annual air temperatures and amplitudes in mean annual temperature between 18.8 and 22.5°C.
- 2 a “Silesian” transect of similar climatic differentiation running from Upper Silesia to Białowieża along a gradient of diminishing industrial pollution.

Soil and litter animals included within the macrofauna were studied, with a view to determining:

- whether or in what way climatic and pollution-related differentiation within Poland influenced the soil and litter invertebrates of pine forests,
- the range of variability to the composition, abundance and biomass of these animals in ecosystems of the above type.

Increased continentality of climate within Poland (i.e. from west to east) was shown to be linked to a more limited abundance and biomass of soil macrofauna. The diversity of communities is however greater at the more easterly sites, which have the greatest number of taxa of the studied macrofauna.

The influence of industrial pollution along the "Silesian" transect was seen in the rather lower abundance of animals at the most polluted sites. The influence of climatic differences is here presumed to be levelled out by that of pollution, as the warmest sites are also the most contaminated. A still clearer influence of the chemical pollution of the environment is revealed in comparisons of the two transects. Compared to the climatic transect, the "Silesian" transect (with a majority of sites subject to intensive industrial emissions) was characterized by:

- lower abundance and biomass of the whole macrofauna community and of certain taxa like larval *Diptera* and *Chilopoda*,
- greater abundance of *Aphidoidea* and larval *Coleoptera*,
- lower taxonomic richness,
- lower weights of average individuals in the macrofauna community.

A relationship was also found between forest type (habitat fertility) and the composition, abundance and biomass of soil and litter macrofauna, with the latter being greater in mixed pine forest, as opposed to pine forest. The weight of an average individual was also higher in the mixed forest type.

A wide review of environments in Poland allowed the range of variability of the composition, abundance and biomass of communities of macrofauna in pine and mixed pine forest ecosystems to be established.

Author's adress:

Elżbieta Olechowicz,  
Instytut Ekologii PAN  
Dziekanów Leśny, 05-092 Łomianki

ANDRZEJ ZIELSKI I WOJCIECH SYGIT

WPLYW KLIMATU NA PRZYROST RADIALNY SOSNY  
W BORACH I BORACH MIESZANYCH  
NA TRANSEKTACH BADAWCZYCH:  
KLIMATYCZNYM (wzdłuż 52°N, od 12°–32°E) I „ŚLĄSKIM”

1. WSTĘP

Celem niniejszej pracy jest próba oceny wpływu termiki powietrza i opadów atmosferycznych na szerokość słoja przyrostu rocznego drewna oraz zbadanie dynamiki przyrastania sosny wzdłuż gradientu kontynentalizmu i zanieczyszczenia powietrza.

2. METODY

Materiał badawczy stanowi 300 wywierców sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pobranych świdrami przyrostowymi Presslera z 20 drzew na każdym stanowisku (opis stanowisk wg Breymeyer 1997). Ostatni na próbce, pełny słoje przyrostu rocznego ksylemu, wydatowano na 1994 r., jedynie próbki pochodzące ze stanowiska S023 posiadają przyrost niepełny na 1994 r. (data ich pobrania – 27.06.1994).

Szerokość słoików przyrostu rocznego drewna zmierzono z dokładnością do 0,01 mm na mechaniczno-elektronicznym zestawie pomiarowym EPD 2.2 firmy BIOTRONIK. Do opracowania sekwencji danych wykorzystano pakiety programów komputerowych CATRAS (Anioł 1983), ARBOR (Zielski, Wejer 1993), ARSTAN (Holmes 1994) oraz programy wchodzące w skład Biblioteki Programów Dendrochronologicznych (Dendrochronology Program Library – DPL, Holmes 1994) i COFECHA (Holmes 1986). Pierwsze dwa wykorzystywane są do rejestracji, uśredniania i korelacji pomierzonych sekwencji, ARSTAN i pakiet DPL również do identyfikacji czynników środowiskowych mających największy wpływ na przyrost oraz zestawiania chronologii lokalnych, a COFECHA do sprawdzenia poprawności ich złożenia. Wymienione programy charakteryzują każdą sekwencję pomiarową za pomocą następujących parametrów: średnia sze-



rokość słoja przyrostu rocznego, odchylenie standardowe, mediana, średnia wzajemność – „s”, autokorelacja, korelacja, „współbieżność” itp. Wskaźnik „s” jest miarą szerokości amplitudy krzywej przyrostowej i podaje w procentach stopień zmienności istniejący pomiędzy następującymi po sobie wartościami w danym ciągu czasowym (Fritts 1976). Autokorelacja to wartość korelacji standaryzowanej próbki z próbką identyczną, ale przesuniętą o jedno miejsce (jeden rok – autokorelacja pierwszego rzędu) lub więcej lat (autokorelacja drugiego rzędu, trzeciego rzędu itp.). Testem *t*-Studenta (Baillie i Pilcher 1973) badano istotność korelacji między ciągami pomiarów przyrostów na danych standaryzowanych. Współczynnik współbieżności – GL (Eckstein i Bauch 1969) wykorzystano jako dobrą miarę statystyczną nie tylko do synchronizacji sekwencji pomiarów, ale również do wnioskowania o jednorodności siedlisk, na których rosną drzewa badanego gatunku (Schweingruber 1983).

Dla poszczególnych stanowisk zgromadzono możliwie najdłuższe ciągi danych klimatycznych z najbliższych stacji meteorologicznych. Zależności zachodzące pomiędzy klimatem i odpowiadającymi im w czasie szerokościami pierścieni przyrostu rocznego drewna określono za pomocą analizy regresji wielokrotnej. Obliczeń dokonano dzięki programowi RESPO z pakietu DPL (Fritts 1976; Holmes 1994). Wynik wyrażony został jako miara regresji. Opisuje ona wielkość wpływu średnich miesięcznych temperatur powietrza i sum miesięcznych opadów atmosferycznych na radialne przyrosty drzew. Dodatkowym kryterium jest prosta korelacja (*r*) pomiędzy zmiennymi klimatycznymi i zmiennymi z szerokości słoików rocznych. Program RESPO oblicza również współczynnik determinacji z regresji wielokrotnej ( $r^2$ ) i autokorelację. Dane analizowano w okresie 12 miesięcy począwszy od zaniku aktywności kambialnej do końca następnego sezonu, tzn. od października roku poprzedniego do września aktualnego sezonu łącznie.

Przy pomocy programu komputerowego ARSTAN obliczono indeksy szerokości słoików rocznych dla każdej badanej populacji. Program wykonuje parę wersji standaryzacji, co umożliwi wyeksponowanie wspólnego zakresu zmienności w analizowanych chronologiach lokalnych – sygnału, a minimalizację zmienności akcydentalnej – szumu. Chronologię residualną, zawierającą wyłącznie silny wspólny sygnał, zastosowano w badaniu zasięgu geograficznego sygnału oraz w poszukiwaniu związków dendroskali z klimatem.

Dla oceny przestrzennego zróżnicowania zmienności szerokości słoików badanych chronologii lokalnych przeprowadzono analizę składowych głównych przy pomocy programu PCA z pakietu DPL. Graficzne przedstawienie wyników tej analizy wykonane w układzie współrzędnych uzyskano dzięki programowi SCA (DPL).

Dynamikę wzrastania badanych populacji sosny w zmieniających się warunkach środowiska badano metodą „skeleton plot” (Schweingruber 1992). Polega ona na wizualnej ocenie nagłych skokowych zmian szerokości słoików przyrostu rocznego, a u iglastych gatunków drzew również szerokości warstw drewna letniego, ich datowaniu i wykonaniu obrazującego je dendrogramu.



### 3. WYNIKI

Charakterystykę chronologii przyrostowych reprezentujących badane populacje *Pinus sylvestris* przedstawiono w tabeli 1, a położenie stacji meteorologicznych i uzyskane z nich dane dla każdego stanowiska zawarto w tabeli 2. Analizy statystyczne 15 badanych chronologii lokalnych (tab. 3) pozwalają oszacować zmienność przyrostów słoju sosny na obszarze Polski zgodnie z gradientem na linii zachód–wschód. Porównując sekwencje przyrostowe sosny pod względem wartości wskaźnika *GL*, wydzielono dwa odrębne obszary wykazujące wysokie wartości korelacji na poziomie ufności 99,9%. Jeden to stanowiska w centrum transektu zachód–wschód: K061, K023 i K055 oraz drugi na Śląsku: S005 i S028 (tab. 3). Porównując sekwencje szerokości słoju w wersji residualnej, stwierdzono podobną odrębność wzoru przyrostowego drzewostanów sosny na stanowiskach: K023 i K055 oraz S005 i S028.

Statystyczna analiza składowych głównych potwierdza generalny przebieg zróżnicowania populacyjnego wzoru przyrostów kambialnych z zachodu na wschód, zgodnie z bardzo typowym dla Europy Środkowej gradientem kontynentalizmu.

Uwarunkowania termiczne, podobne w poszczególnych latach na większości obszaru kraju, decydują o dużym podobieństwie wzorów corocznej zmienności szerokości słoju rocznych drewna w badanych populacjach sosny. Na tej podstawie zilustrowano przebieg granicy wpływów klimatu suboceanicznego i kontynentalnego oraz zasięg możliwych wpływów środowiska lokalnego na przyrost radialny drzewostanów sosnowych w badanym okresie 42 lat (ryc. 1).

Przedstawiono i zilustrowano wyniki badań nad zależnościami: przyrosty drewna – temperatura powietrza oraz przyrosty drewna – opady atmosferyczne (tab. 4, 5; ryc. 2, 3). Okres aktywności podziałowej kambium u sosny zwyczajnej rozpoczyna się w Polsce w maju i trwa do września włącznie (Ermich 1959; Hejnowicz 1993). Jednakże wpływ temperatury i opadów na przyrosty radialne nie ogranicza się wyłącznie do aktualnego sezonu funkcjonowania miazgi. Odpowiednie warunki termiczne i zaopatrzenie w wodę siedliska (również w okresie spoczynkowym drzewostanu) mają wpływ na szerokość słoja rocznego ksylemu w nadchodzącym sezonie wegetacyjnym, dlatego relacje te sprawdzano dla wszystkich miesięcy w ciągu roku. Zależności: przyrosty drewna – klimat mogą się radykalnie zmieniać z miesiąca na miesiąc (ryc. 2, 3; tab. 4, 5). Wartość pozytywna (na rycinach zaznaczono jako\*) wskazuje na proste zależności (im wyższa wartość wskaźnika zmiennej klimatycznej, tym większy przyrost); znak minus wskazuje na ich inwersję (im mniejsza wartość zmiennej, tym większy przyrost). Na większości stanowisk bieżące przyrosty drewna sosny są ściśle zależne od warunków termicznych końca zimy i wiosny, zwłaszcza miesięcy lutego i marca. Jedynie w południowej części transektu Śląsk–Białowieża (stanowiska S028, S005 i S126) istotny wpływ ma zimny listopad. Opady atmosferyczne mają niewątpliwie znaczny wpływ na przyrosty drzew, trudno jednak wska-

Tabela 1

Charakterystyka stanowisk badawczych i chronologii średnich  
 Characteristic of pine sites and year chronologies along parallel the 52°N (K) and the Silesia–Białowieża transect (S)

Stanowiska	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
λE – stopnie	14,5	15,7	16,4	19,0	19,3	20,3	21,7	23,6	22,3	20,6	20,4	19,5	18,7	19,7	18,3
φ N – stopnie	52,7	52,7	52,8	52,8	52,8	52,8	52,7	52,9	52,6	51,6	51,1	50,7	50,6	50,4	50,2
Maks. wys. drzew w metrach	16	25	15	18	20	20	25	25	25	20	20	18	26	15	20
Zbiorowisko rzeczywiste	LP	LP	LPm	LP	QP	QP	QP	PP	PPm	LP	LP	QP	LP	LP	QPm
Sygnatura chronologii średniej	K092 000S	K098 000S	K061 000S	K023 000S	K055 000S	K117 000S	K126 000S	KS011 000S	S023 000S	S011 000S	S002 000S	S060 000S	S005 000S	S028 000S	S126 000S
Przedział czasowy	1929– –1994	1913– –1994	1940– –1994	1914– –1994	1942– –1994	1907– –1994	1929– –1994	1912– –1994	1933– –1993	1898– –1994	1913– –1994	1944– –1994	1919– –1994	1935– –1994	1950– –1994
Liczba lat	66	82	55	81	53	88	66	83	61	97	82	51	76	60	45
Szer. słoja średnio w mm	1,73	1,65	1,85	1,93	2,17	2,25	2,27	1,89	2,26	1,62	1,51	2,25	1,70	1,98	3,45
Mediana	1,55	1,48	1,45	1,65	2,05	2,05	1,75	1,67	1,79	1,30	1,31	2,01	1,41	1,74	3,10
Odchylenie standardowe	79,9	65,9	102,5	84,5	71,2	80,6	135,0	68,3	136,5	93,5	62,7	92,1	87,5	80,6	149,7
Średnia wrażliwość	0,207	0,196	0,168	0,148	0,197	0,180	0,185	0,163	0,199	0,170	0,180	0,206	0,150	0,194	0,187
Autokorelacja	0,875	0,703	0,822	0,865	0,728	0,761	0,892	0,820	0,861	0,928	0,812	0,790	0,936	0,841	0,682

LP – *Leucobryo-Pinetum typicum*, LPm – *Leucobryo-Pinetum* postać z *Molinia*, QP – *Quercu roboris-Pinetum*, PP – *Peucedano-Pinetum*, QPm – *Quercu roboris-Pinetum* postać z *Molinia*, PPM – *Peucedano-Pinetum* postać z *Molinia*. Według Roo-Zielińska E., Solon J. 1997.

LP – *Leucobryo-Pinetum typicum*, LPm – *Leucobryo-Pinetum* postać z *Molinia*, QP – *Quercu roboris-Pinetum*, PP – *Peucedano-Pinetum*, QPm – *Quercu roboris-Pinetum* variant with *Molinia*, PPM – *Peucedano-Pinetum* postać z *Molinia*. According to Roo-Zielińska E., Solon J. 1997.

Tabela 2

Charakterystyka stacji meteorologicznych dla poszczególnych stanowisk i procent wyjaśnienia szerokości słoju rocznych  $r^2$

Characteristic of meteorological stations and total variance explained ( $r^2$ )

Stano- wiska	Stacja	Pomiar	Szer. geogr. N	Dług. geogr. E	Wys. n.p.m. (m)	$r^2$
	Gorzów Wlk.	temp.	52°45'	15°17'	72	42,6
K092	Mieszkowice	opady temp.	52°47'	14°30'	45	65,9
K098	Gorzów Wlk.	opady temp.	j.w.	j.w.	j.w.	62
K061	Gorzów Wlk.	opady temp.	j.w.	j.w.	j.w.	58,1
K023	Bydgoszcz	opady temp.	53°08'	18°01'	46	60,1
K055	Toruń	opady	53°03'	18°35'	69	
	Mława	temp.	53°07'	20°22'	147	37,5
K117	Raciąż	opady	52°47'	20°08'	104	
	Ostrołęka	temp.	53°05'	21°34'	95	73,9
K126	Słepioty	opady	52°41'	21°35'	105	
	Białystok	temp.	53°06'	23°10'	148	71,5
KS011	Narew	temp.	53°06'	23°10'	148	
	Siedlce	temp.	52°11'	22°16'	146	70,1
S023	Łazów	opady	52°34'	22°22'	117	
	Łódź Lubl.	temp.	51°44'	19°24'	187	40,8
S011	N. Miasto Pil.	opady	51°37'	20°35'	155	
	Częstochowa	temp.	50°49'	19°06'	293	87,7
S002	Radoszyce	opady	51°04'	20°16'	244	
	Częstochowa	temp.	j.w.	j.w.	j.w.	46,8
S060	Złoty Potok	opady	50°42'	19°26'	290	
	Częstochowa	temp.	j.w.	j.w.	j.w.	64,4
S005	Tworóg	opady	50°32'	18°44'	348	
	Częstochowa	temp.	j.w.	j.w.	j.w.	44,9
S028	Chechło	opady	50°22'	19°31'	245	
		temp.				86,9
S126	Racibórz	opady	50°05'	18°13'	190	

zać miesiące, w których relacje te rysują się tak ściśle, jak w przypadku temperatury powietrza. Zaznacza się silniejsza zależność szerokości słoju rocznych sosny od opadów w okresie wiosenno-letnim, tzn. od kwietnia do czerwca. Na uwagę zasługuje wyraźny wpływ opadów wrzesniowych na przyrosty drzew wielu powierzchni, a wartość ujemna dla sekwencji przyrostowej na stanowisku S060 wymaga wnikliwszego rozpatrzenia sytuacji ekologicznej drzewostanu sosny na tej powierzchni.

Relacje: klimat – przyrosty drewna badano w dość krótkich i różnych odcinkach czasu (39, 29 i 26 lat). Nasuwa się pytanie o stabilność wykazanych zależności. Dla wyjaśnienia tych wątpliwości zbadano wpływ temperatury na szerokość

Wartość współczynnika „t” oraz współbieżność pomiędzy chronologiami miejscowymi

T – value and Gleichlaufigkeit value between the site chronologies

t		LP	LP	LPm	LP	QP	QP	QP	PP	PPm	LP	LP	QP	LP	LP	QPm
GL		K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
K092	LP		6,75	3,63	x	1,96	x	2,23	2,96	x	x	x	2,66	x	x	x
K098	LP			x	2,1	x	1,21	3,38	1,1	3,39	1,5	2,35	2,18	x	1,29	x
K061	LPm		x		0	x	x	x	1,21	x		x	x	x	x	1,88
K023	LP	x				x	x		1,35		x	x	x	x	x	x
K055	QP		x	x	x		3,66	3,33	x	2,41	x	x	4,47	x		x
K117	QP	x		x	x			5,81	4,02	5,64	4,23	4,82	4,99	x	3,89	x
K126	QP			x					6,62	7,38	x	3,23	4,77	x	3,85	3
KS011	PP					x				6,25	5,72	6,15	3,45		3,33	2,49
S023	PPm	x		x	x						4,57	4,36	3,34	x	3,28	3,35
S011	LP	x			x	x		x				4,71	3,98	x	x	3,35
S002	LP	x			x	x							x	3,34	x	2,49
S060	QP		x	x	x							x		3,62	4,7	2,68
S005	LP	x		x	x			x	x	x	x			x		3,02
S028	LP	x		x	x	x					x				x	x
S126	QPm		x		x	x	x							x		




„GL” – współbieżność

Wysokie wartości na poziomie ufności:

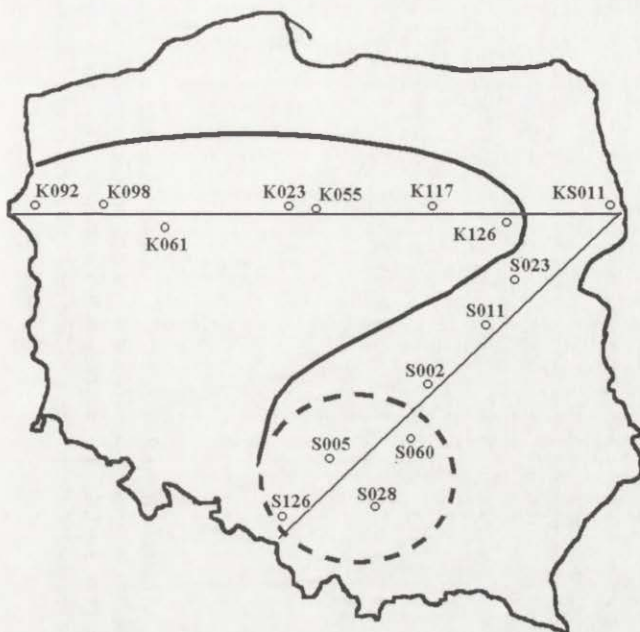
Podano oznaczenia fitocenoz leśnych tak jak w tabeli 1.

„GL” – Gleichlaufigkeit value t-value

Names of forest communities as in table 1.

- a)  – 95,0%
- b)  – 99,0%
- c)  – 99,9%





Ryc. 1. Przebieg zróżnicowania wzoru przyrostów kambialnych  
Course of increment pattern differential

kość przyrostu słoju sosny, na najlepiej skorelowanym z innymi stanowiskami KSO11, w okresie 39 i 26 lat. Okazało się, że zależności te były podobne. Porównano również badane stanowiska z regionem toruńskim, gdzie prowadzono podobne analizy na sośnie (dla dłuższego okresu 1861–1991 r.). Stwierdzono najsilniejsze pozytywne powiązania pomiędzy średnimi temperaturami miesięcy lutego, marca ( $r$  odpowiednio 0,47 i 0,55) a przyrostem drewna (Zielski 1996). Natomiast zależności od opadów okazały się statystycznie istotne w czerwcu i lipcu.

Na rycinach 4a i 4b w wyniku analizy skeleton plot oznaczono nagłe zmiany przyrostu – nad kreską pozytywne, a pod kreską negatywne, z zaznaczeniem czasu ich trwania oraz intensywności; białe pola – zmiana mniejsza od 50%, zakreskowane – między 50–75%, czarne pola – powyżej 75%. Obrazują one dynamikę przyrastania sosny w poszczególnych populacjach z zaznaczeniem początku nagłej zmiany, okresu jej trwania (w latach kalendarzowych) oraz natężenia. Nagłą depresję przyrostu lub jego regenerację można najczęściej wiązać z wpływem klimatu. W tabelach 6 i 7 zestawiono lata wskaźnikowe oraz w paru przypadkach podano prawdopodobną przyczynę ich wystąpienia. Niektóre lata, dzięki anomalii pogodowym, znane są w literaturze przedmiotu jako wskaźnikowe

Tabela 4

Zależność przyrosty drewna – klimat na stanowiskach sosny wzdłuż równoleżnika 52°N  
 Increment growth – climate relationship on pine sites along parallel 52°N

Region	Temperatura (1952–1990)						Opady (1952–1990), (1952–1980")									F	PCs	r <sup>2</sup>								
	.-X	.-XI	.-XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	.-X	.-XI	.-XII				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
K092		-		(*)*		(*)*			(-)	-			*	**	-	**	**			*		(*)		4,9	5	42,6
K098			*			(*)	(*)*		-	-	(*)			*	(-)	(-)*			*	(*)*	(*)			5,4	10	65,9
K061	*			*		**			-				(*)	(-)		(*)*				(*)*				6,1	8	62,0
K023					**				(-)						(*)*	(*)*		(*)*	*					3,9	10	58,1
K055				-	**	**		-								-		(*)*	*	(*)*	(*)*			4,8	9	60,1
K117"				**	*	**	*	-					(*)	(-)	(-)*	(-)*			*			*		3,9	5	37,1
K126"		-	*		**	**			-				*	*				**		(*)		-	*	6,9	11	73,9
KS011					**	**			-							-	*	(*)	(*)	(*)	(*)*			5,4	12	71,5

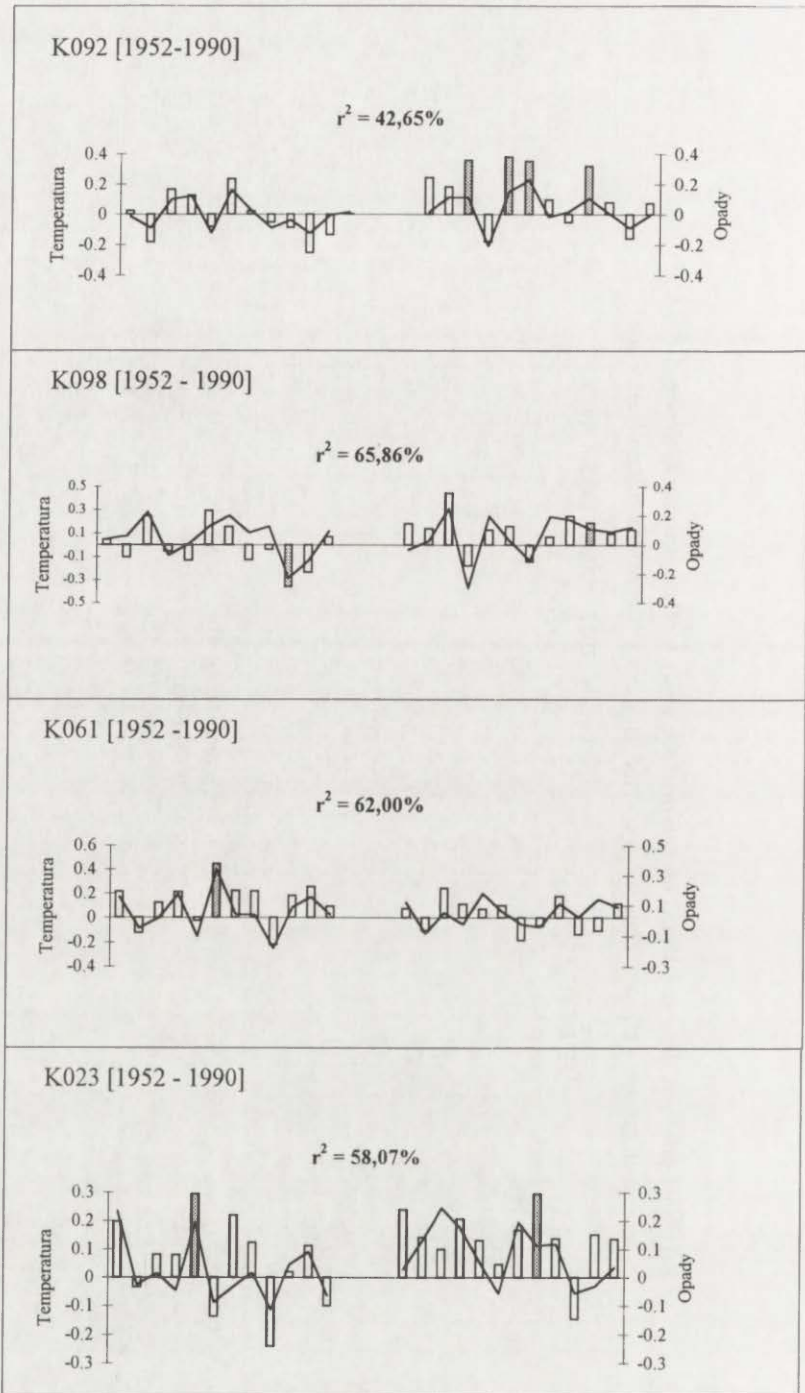
\*, - = współczynniki korelacji istotne na poziomie ufności 95%, \*, - = Correlation coefficients at the 95% level; (\*), (-) = wysokie wartości korelacji, (\*), (-) = High values of correlation; istotne współczynniki regresji zaznaczono drobnym drukiem w potędze, significant regression coefficients high thin marked; F = wartość F regresji, F = F-value of regression; PCs = liczba wektorów własnych, przy wartości t – większych lub równych 1,00, PCs = Number of eigenvalues with t-value greater than or equal to 1,00; r<sup>2</sup> = współczynnik determinacji z regresji wielokrotnej, r<sup>2</sup> = The multiple coefficient of determination; .-X = miesiąc roku poprzedniego, .-X = month of previous year.

Tabela 5

Zależność przyrostu drewna – klimat na stanowiskach sosny wzdłuż transektu Białowieża–Śląsk  
Increment growth – climate relationship on pine sites along Białowieża–Silesia transection

Region							Temperatura (1952–1990)						Opady (1952–1990), (1952–1980"), (1955–1980"")														
	–X	–XI	–XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	–X	–XI	–XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	F	PCs	r <sup>2</sup>
S023"	(–)			–	**	*			–	(–)			*		(*)				**		*	**			4,2	10	70,1
S011""		–		*	*	*	(*)	(*)					(–)	(*)					(–)		*			–	3,7	6	40,8
S002""	*	–	(–)	–	*	*	(*)	(*)			–	–	(*)	*	–		*		(*)	(*)	(–)		*	–	11,4	10	87,7
S060		–			*		**		(*)	(*)									–		**		–	–	4,8	4	46,8
S005""	*	–			*	(*)	(*)	*		*	–	–	*		*				(*)	(*)	(–)		*	–	4,5	4	44,9
S028""		–	–		(*)	(*)	–	(*)			*			(–)	*		–				–	–	–	*	6,0	6	64,4
S126""		–							(*)	–						(–)		*		–	(*)	*		(*)	12,5	9	86,9

\*, – = współczynniki korelacji istotne na poziomie ufności 95%, \*, – = Correlation coefficients at the 95% level; (\*), (–) = wysokie wartości korelacji, (\*), (–) = High values of correlation; istotne współczynniki regresji zaznaczono drobnym drukiem w potędze, significant regression coefficients high thin marked; F = wartość F regresji, F = F-value of regression; PCs = liczba wektorów własnych, przy wartości t – większych lub równych 1,00, PCs = Number of eigenvectors with t-value greater than or equal to 1,00; r<sup>2</sup> = współczynnik determinacji z regresji wielokrotnej, r<sup>2</sup> = The multiple coefficient of determination; –X = miesiąc roku poprzedniego, –X = month of previous year.



Ryc. 2. Relacje przyrost drewna – klimat na stanowiskach – transekt W–E

W nawiasach podano przedział czasu. Wykreślono wartości regresji wielokrotnej – 3 (linie) i wartości prostej korelacji – 1 (słupki) dla miesięcy od października poprzedniego roku do września bieżącego sezonu dla temperatury powietrza i opadów. Wartości istotne na poziomie 95% zaznaczono jako punkty lub ciemniejsze słupki (2 i 3),  $r^2$  – współczynnik regresji wielokrotnej



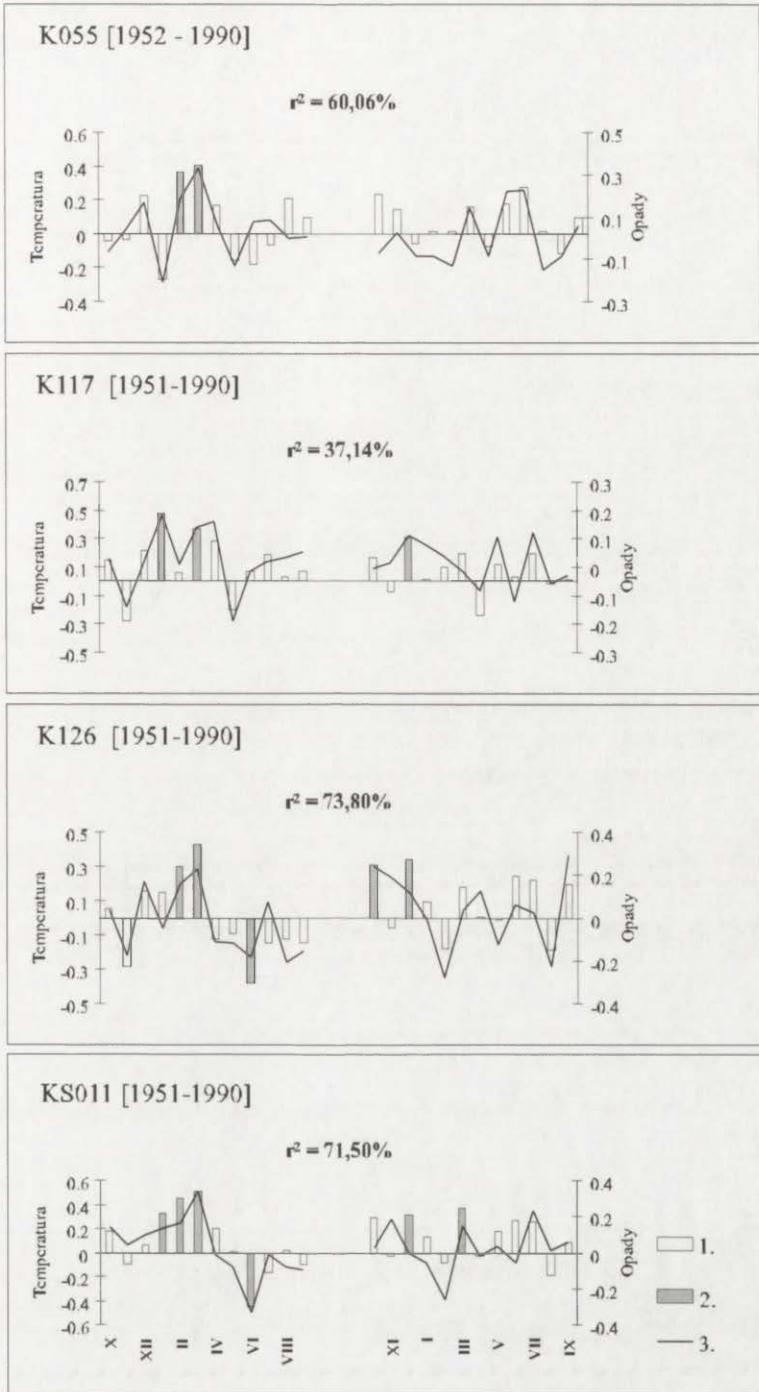
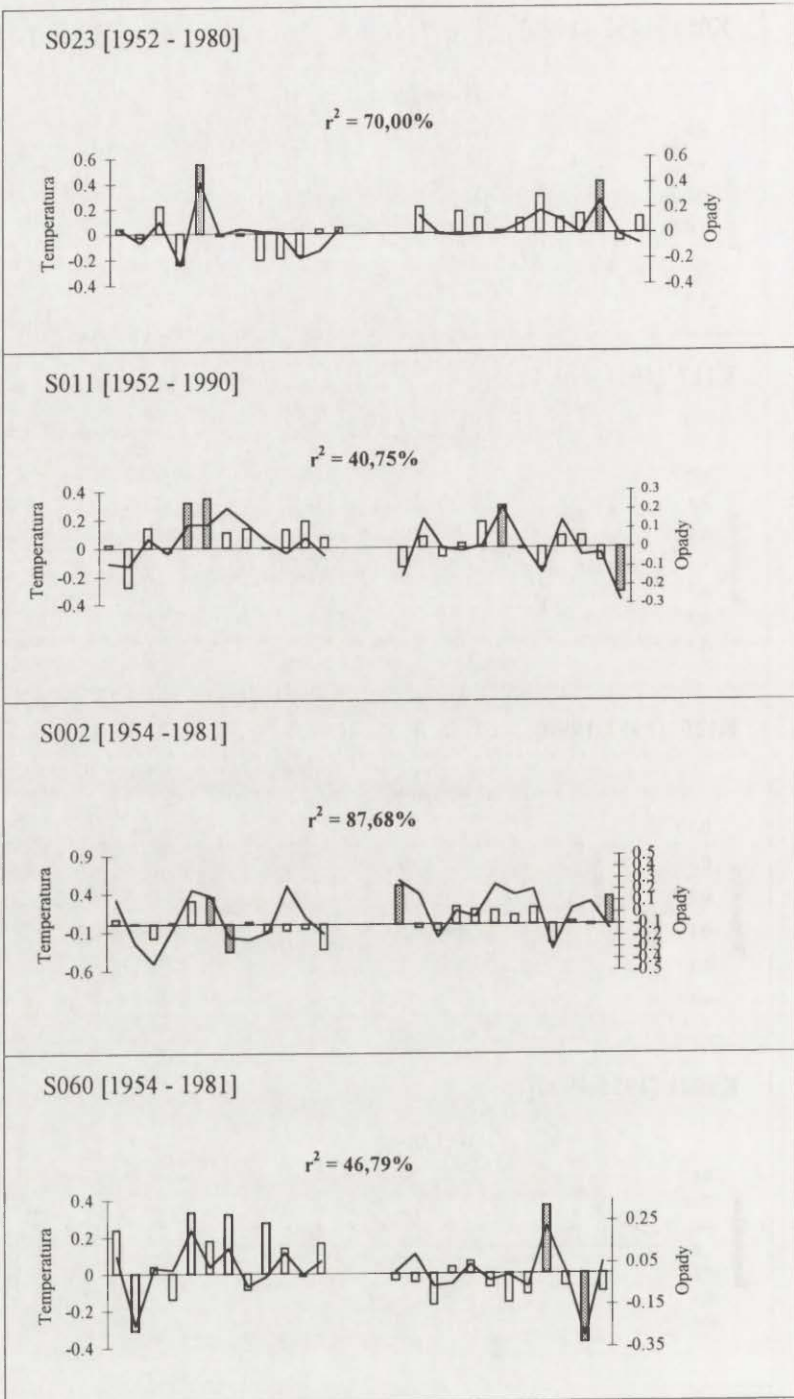


Fig. 2. Increment growth – climate relationship on pine stands along the W–E transect  
 Calculate periods in brackets. Value of multivariate regression – 3 (the lines) and value of simple correlation (bars) calculated from previous October for booth temperature and precipitation, bars show simple correlation, points and striped bars indicate significance at the 95% level,  $r^2$  – is the multiple coefficient of determination



Ryc. 3. Relacje przyrost drewna – klimat na transekcje „śląskim”. Objasnienia jak na ryc. 2

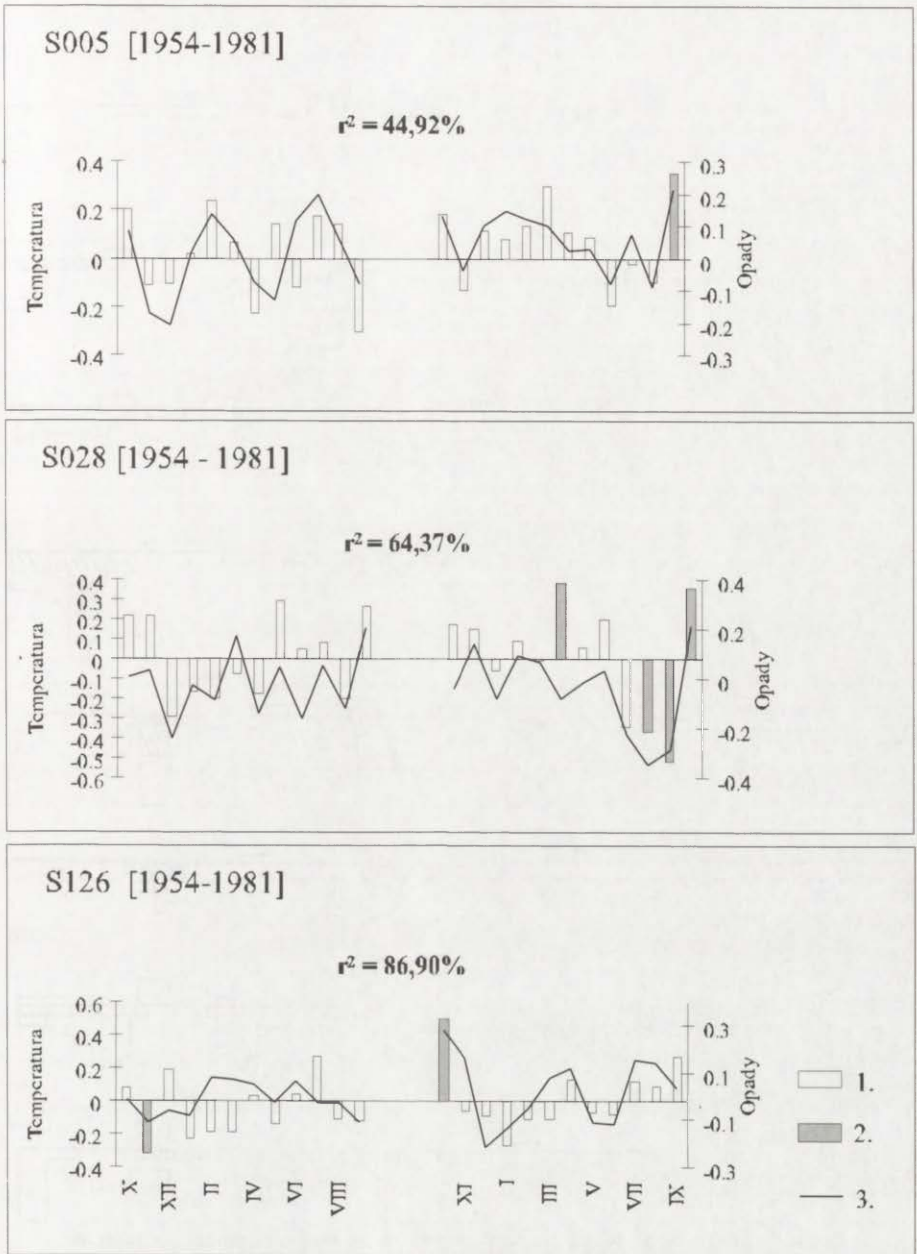
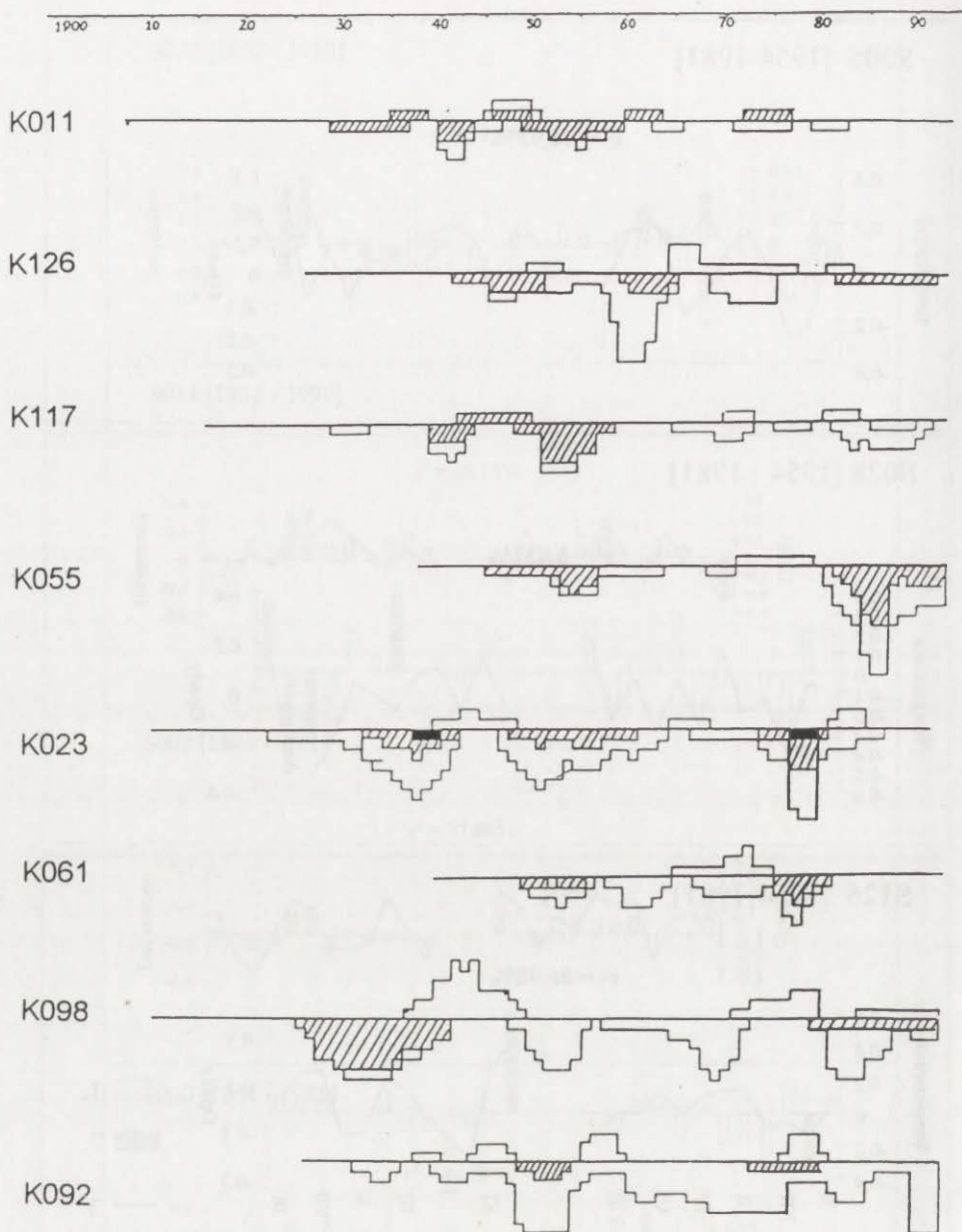


Fig. 3. Increment growth – climate relationship on pine stands along the “Silesian” transect. For the explanations see Fig. 2

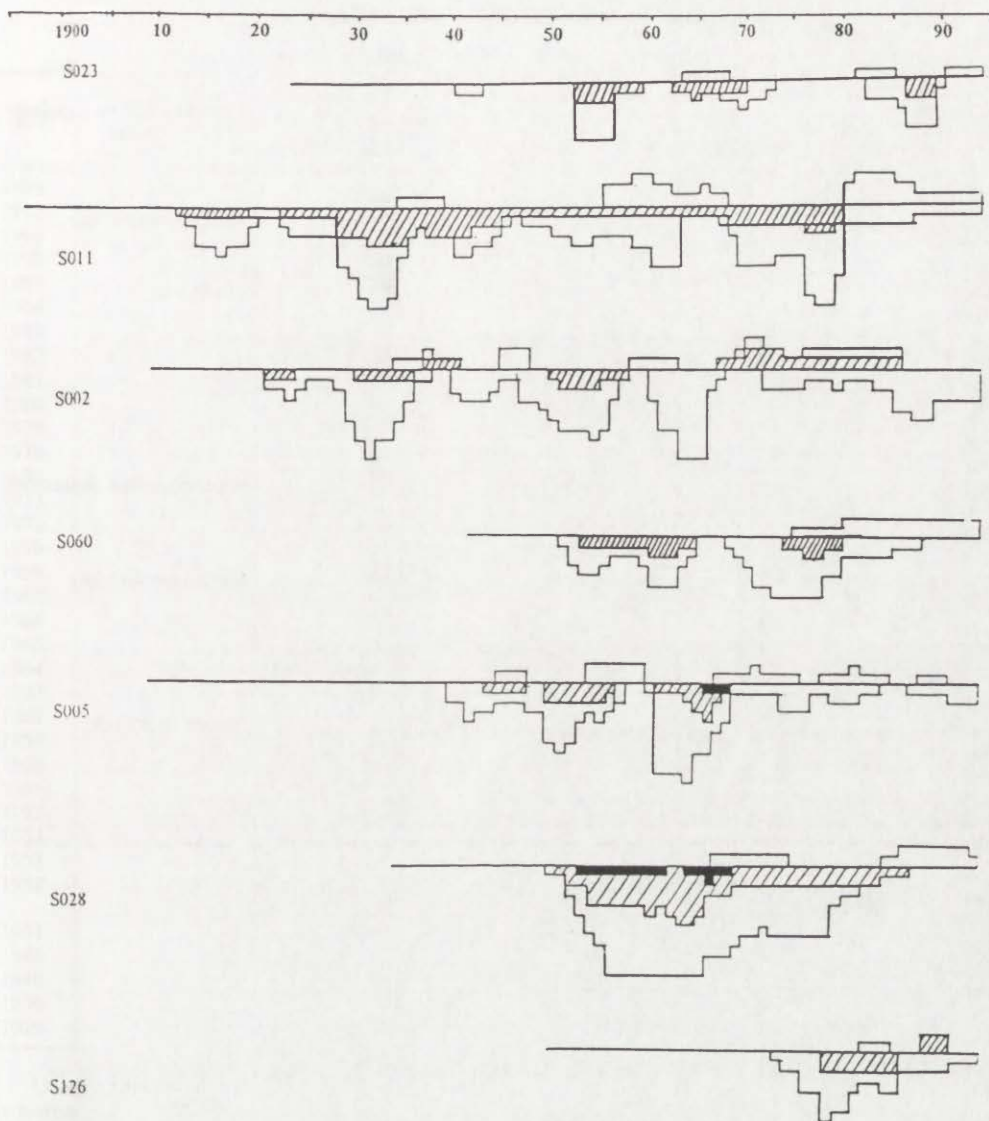


Ryc. 4a. Transekt W-E. Nagłe zmiany przyrostu drewna. Objaśnienia w tekście  
 The W-E transect. Abrupt growth changes. Comments in text

i odnotowywane są na rozległym obszarze, np. rok 1940 – wyjątkowo surowa zima w Europie środkowej i wschodniej, czy rok 1952, który po suchej jesieni i zimie 1951/1952, charakteryzował się depresją.

Na uwagę zasługuje pozytywny rok 1981, w którym stwierdzono wyjątkowo szerokie przyrosty na powierzchniach położonych na południu i na wschodzie





Ryc. 4b. Transekt „śląski”. Nagłe zmiany przyrostu drewna. Objąśnienia w tekście  
 The “Silesian” transect. Abrupte growth changes. Comments in text

kraju. Nagłe pojawienie się szerokich słoików przyrostu rocznego w tym roku należy prawdopodobnie powiązać z dwoma poprzednimi deszczowymi latami. Jednak w tym samym czasie rozpoczyna się na powierzchni K023 gwałtowna depresja przyrostu radialnego i zamieranie drzew spowodowane prawdopodobnie gradacją brudnicy mniszki (*Lymantria monacha*).

Transekt „śląski”. Wykaz lat wskaźnikowych  
The Silesian transect. List of the pointer years

Rok	Stanowiska								Prawdopodobne wyjaśnienie
	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126	KS011	
1994	o		o						
1993	o		o				o		sucha wiosna i lato
1992			o				o		
1991	O		O						ciepły rok
1990	X	X							ciepłe lato
1988			o						
1987			o						
1986					O				
1985					X				
1984	O								
1983							o		
1982									
1981	O	O	O	O	O				poprzednie lata deszczowe
1980						o			
1979						o			
1977			O		o				
1976		o			o		o		bardzo mroźny luty
1975			o	O					
1974			x						
1973				o					
1971				o		o			
1970					O	O			
1969	o	o		o			o		bardzo suchy rok
1967			O	o					
1966				O					
1965		O		O	o				
1964									
1963			o						
1962						o			
1961					o				
1960			o	o	O	o			
1959			O		O				
1958			O						
1956		o		o		o			
1955									
1954				o					
1953									
1952	o	o				o			susza jesienią i zimą 1951/52
1951					o				
1950					o				
1946		X							
1944					o				
1943					o				
1942					o				
1940	o		o						bardzo mroźna zima
1931			o						
1930			o						

O – wyjątkowo szeroki przyrost, O – extremely broad year ring; o – wyjątkowo wąski przyrost, o – extremely narrow year ring; X – wyjątkowo szerokie drewno późne, X – extremely broad latewood zone; x – wyjątkowo wąskie drewno późne, x – extremely narrow latewood zone.

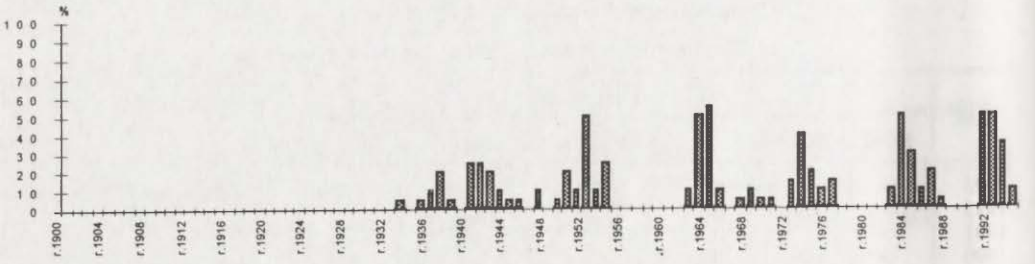
Transekt zachód-wschód. Wykaz lat wskaźnikowych  
The East-West transect. List of the pointer years

Rok	Stanowiska								Prawdopodobne wyjaśnienie
	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	
1993	o	o	o						sucha wiosna i lato
1992	o	o	o						
1991	o			o					ciepła zima
1990	O	O	O	o					
1987				o					
1984		o							
1983	o	o							
1982			O		o				poprzednie lata deszczowe
1981	O		O				O		
1980			x				O		
1979			x					o	
1978			x				O	O	
1975		O							
1973	o								
1971		o					o		
1970		o	o						ostra zima
1969			o				o		bardzo suchy rok
1967					O				
1966				o			O		
1965				o					
1964	o							o	
1963	o								
1961		O		o					
1959	O								
1958	O								
1956					o				
1955			o	o					
1954			o						
1953			o				O		
1952	o	o	o			o	o	o	susza jesienią i lato 1951/52
1951		o							
1946				o					
1940		o		o			o		bardzo mroźna zima
1939	O			o					
1929									

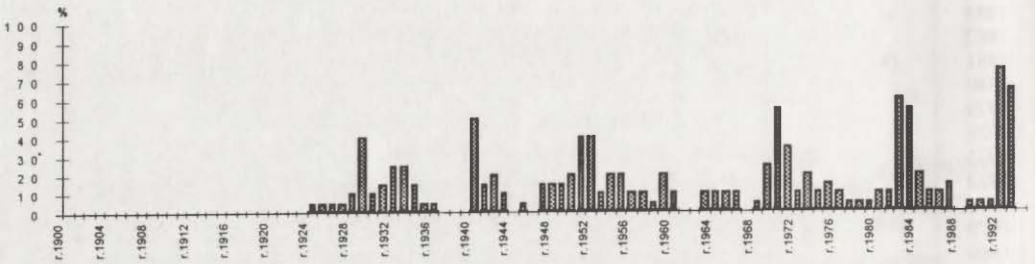
O – wyjątkowo szeroki przyrost, O – extremely broad year ring; o – wyjątkowo wąski przyrost, o – extremely narrow year ring; X – wyjątkowo szerokie drewno późne, X – extremely broad latewood zone; x – wyjątkowo wąskie drewno późne, x – extremely narrow latewood zone.

Na rycinach 5 i 6 przedstawiono dynamikę przyrostu sosny. Zaznaczono na nich procent drzew wykazujących redukcję szerokości słoików w poszczególnych latach na każdej badanej powierzchni. Obserwuje się wyraźną fluktuację tej cechy dymensyjnej u *Pinus sylvestris*. Na powierzchniach rozlokowanych w części zachodniej kraju (K092, K098, K061, K023) dynamika ta jest dość podobna. Na uwagę zasługuje tu radykalna depresja począwszy od roku 1990. Na powierzchniach wschodnich (K117, K126, KS011, S011) przeciwnie, sosna w latach

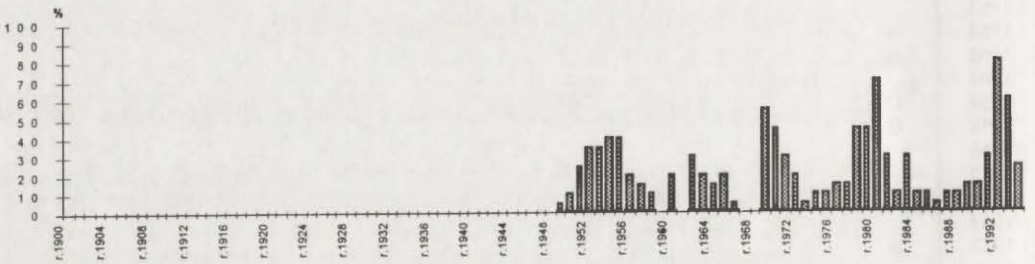
K 0 9 2



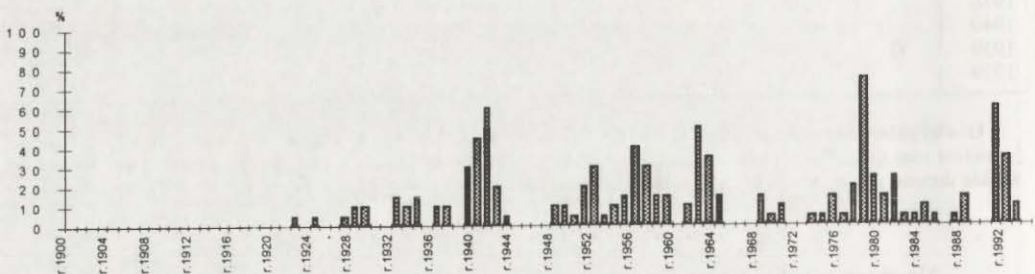
K 0 9 8



K 0 6 1



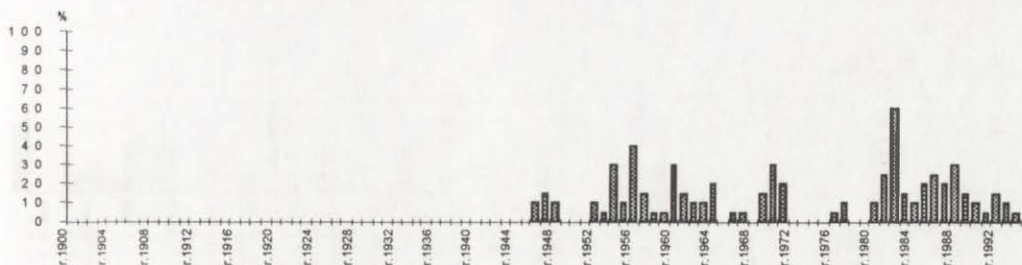
K 0 2 3



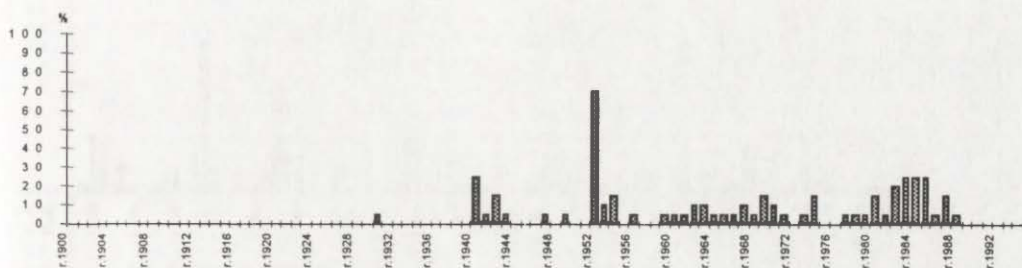
Ryc. 5. Transekt W-E. Procentowy udział drzew z redukcją przyrostów  
The E-W transect – the contribution of trees with growth reduction



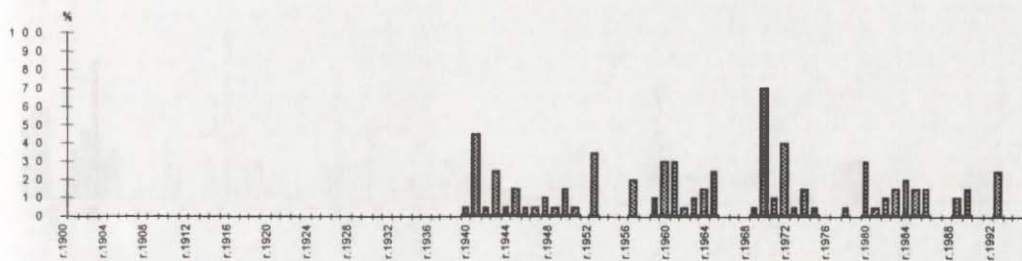
K 0 5 5



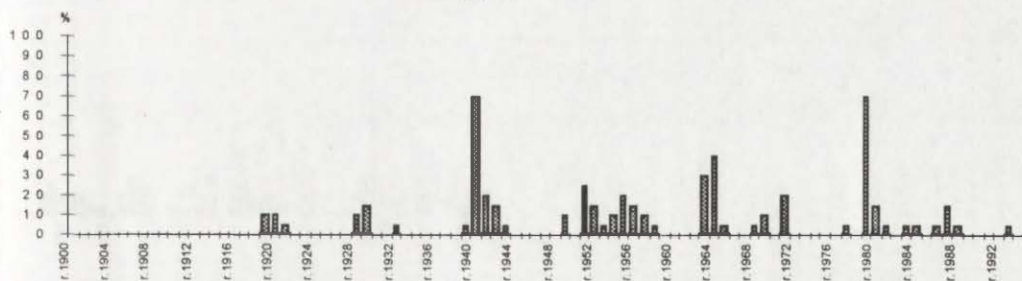
K 1 1 7



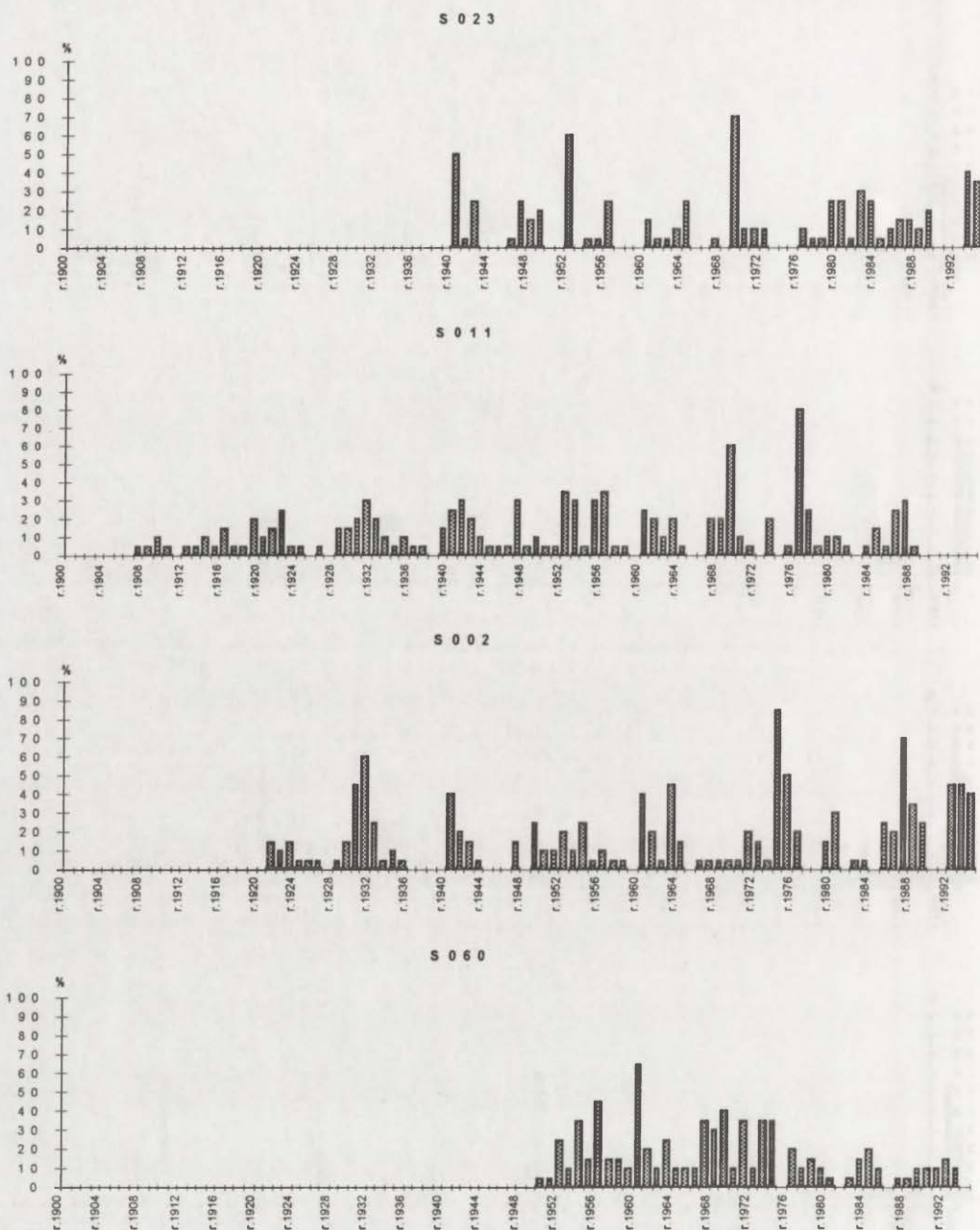
K 1 2 6



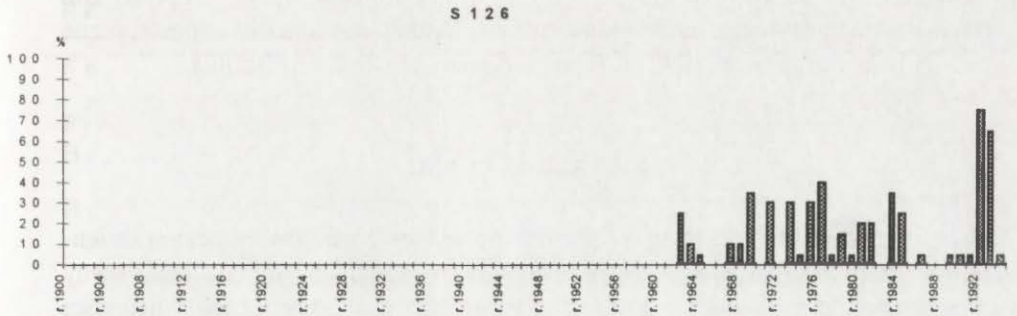
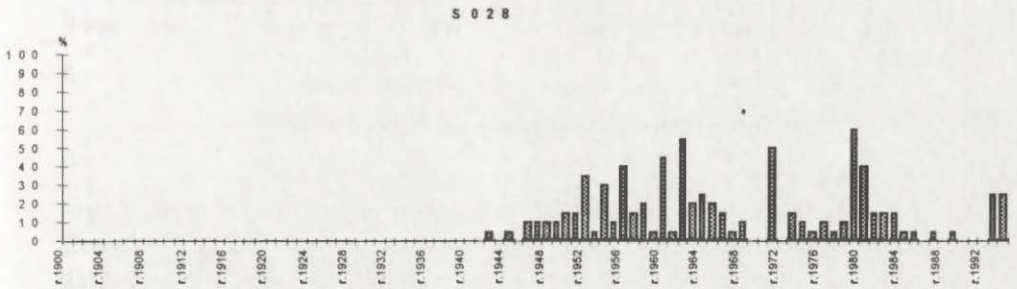
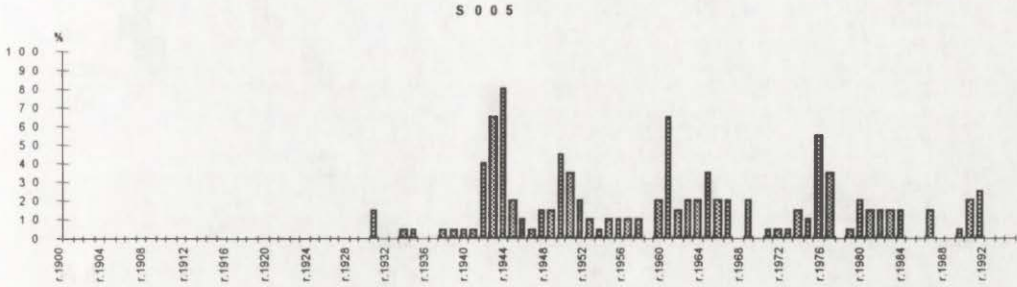
K 5 0 1 1



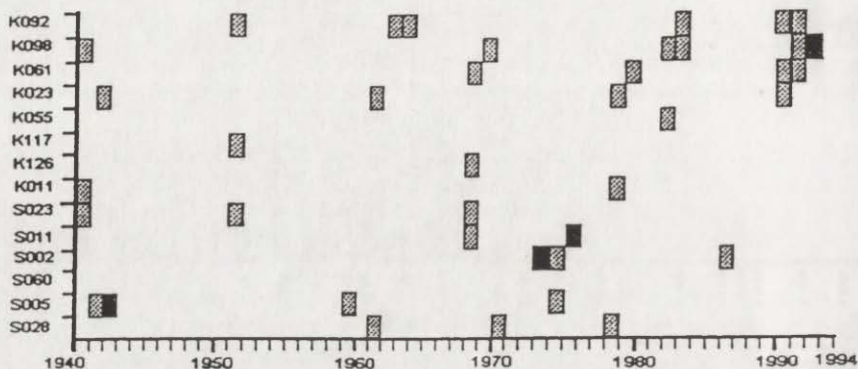
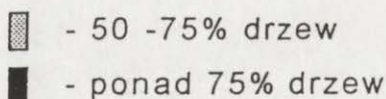
90-tych odkłada regularnie słoje roczne o szerokościach zbliżonych do wartości średniej dla tego gatunku. Zjawisko to potwierdza rycina 7, na której zilustrowano tylko te lata, w których drzewa reagują depresją przyrostu w skali wyższej niż 50%. Strata na produkcji drewna na zachodzie kraju jest najpewniej spowodowana niedostatkim wody w siedlisku.



Ryc. 6. Transekt „śląski”. Procentowy udział drzew z redukcją przyrostów  
 The “Silesian” transect. List of the pointer years



Podobne relacje: klimat – przyrosty drewna sosny zaobserwował na południu kraju, w Nadleśnictwie Dąbrowa Tarnowska Feliksik (1988). Bieżący przyrost drewna był tam silnie uzależniony od warunków termicznych zimy (styczeń–marzec) i wysokości opadów w okresie wiosenno-letnim (kwiecień–sierpień). Oleksyn i in. (1993) stwierdzili na powierzchniach próbnych z sosną zwyczajną, że



Ryc. 7. Lata silnej depresji przyrostu drzew  
Years of strong radial growth reductions for trees

wielkość przyrostów jest w większości przypadków istotnie skorelowana z temperaturami zimowymi. Gatunek ten w południowej Szwecji wykazuje pozytywną reakcję na wysokie temperatury zimy i wiosny (styczeń–kwiecień) oraz brak korelacji z opadami (Linderson 1992). Również dodatni wpływ ciepłych zim (styczeń–marzec) oraz brak jednoznacznej reakcji na opady atmosferyczne stwierdziła von Lührte (1992) u *Pinus sylvestris* w okolicach Berlina.

#### 4. PODSUMOWANIE

Czynnikiem decydującym o dużym podobieństwie wzorów corocznej zmienności szerokości słoików rocznych drewna w badanych populacjach sosny jest temperatura powietrza. Przestrzenne zróżnicowanie corocznej zmienności przyrostów rocznych drewna u sosny biegnie zgodnie z gradientem kontynentalizmu.

Bieżący przyrost ksylemu sosny jest ściśle zależny od warunków termicznych końca zimy i wiosny, zwłaszcza miesięcy lutego i marca. Jedynie na Śląsku (stanowiska S028, S005 i S126) dodatkowym elementem jest istotny, pozytywny wpływ zimnego listopada.

Zależności przyrostów rocznych drewna od miesięcznych sum opadów atmosferycznych nie są tak jednoznaczne, jak w przypadku temperatury powietrza. Istotna zależność szerokości słoików rocznych od opadów występuje w okresie wiosenno-letnim, zwłaszcza od kwietnia do czerwca oraz we wrześniu.



Szerokość słoju drewna u sosny na zachodzie kraju limitowana jest raczej warunkami wilgotnościowymi siedliska niż temperaturą powietrza.

W centralnej części transektu zachód-wschód (stanowiska K061, K023 i K055) oraz na Śląsku (S005 i S028) na szerokość przyrostów kambialnych mogą wywierać wpływ inne niż analizowane w tej pracy czynniki.

Określono lata wskaźnikowe dla sosny – pozytywne i negatywne – powiązane najczęściej z warunkami makroklimatycznymi. Lokalnie występujące nagłe zmiany szerokości słoju wymagają każdorazowo indywidualnej analizy warunków geobotaniczno-siedliskowych badanych powierzchni.

## LITERATURA

- Aniol R. W., 1983, *Tree-ring analysis using CATRAS*, Dendrochronologia, 1, 45–53.  
 – 1991, *CATRAS user's Manual*. by R. W. Aniol. Schleswig, F. R. G.
- Baillie M. G. L., Pilcher J. R., 1973, *A simple crossdating program for tree-ring research*, Tree-Ring Bulletin, 33, 7–14.
- Breymeyer A., 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.
- Briffa K. R., Cook E., 1990, *Methods of response function analysis*, [w:] E. Cook, L. Kairiukstis, *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*, Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., 240–247.
- Eckstein D., Bauch J., 1969, *Ein Beitrag Zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit*, Forstwiss, Zentralbl., 88, 230–250.
- Ermich K., 1959, *Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u Pinus sylvestris L. i Quercus robur L.*, Acta Soc. Bot. Poloniae, 28, 15–63.
- Feliksik E., 1988, *Badania wpływu klimatu na szerokość przyrostów drewna sosny pospolitej*, Zesz. Nauk ATR im. Śniadeckich w Bydgoszczy, 158, Rolnictwo, 27, 11–17.
- Fritts H. C., 1976, *Tree rings and climate*, London, New York, Academic Press, 567.
- Hejnowicz A., 1993, *Anatomia i embriologia*, [w:] S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała (red.), *Biologia sosny zwyczajnej*, Sorus, Poznań–Kórnik, 71–87.
- Holmes R. L., 1986, *Quality control of crossdating and measuring, A users manual for program COFECHA*, [w:] R. L. Holmes, R. K. Adams, H. C. Fritts (red.), *Tree-ring chronologies of western North America: California, Eastern Oregon and northern Great Basin*, Chronology Series Vi. Tucson Univ. of Arizona, 41–49.
- 1994, *Dendrochronology Program Library users manual*, Univ. of Arizona Tucson, Arizona USA, 31.
- Huber B., 1941, *Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrring-Chronologie*, Mitt. der Akademie der Deutschen Forstwissenschaft, 1, 110–125.
- Krąpiec M., 1992, *Skale dendrochronologiczne późnego holocenu południowej i centralnej części Polski*, Kwartalnik AGH – Geologia, 18, 3, 37–119.
- Krąpiec M., Wążny T., 1994, *Dendrochronologia. Podstawy metodyczne i stan zaawansowania badań w Polsce*, Światowid, 34, 193–214.
- Linderson H., 1992, *Dendroclimatological investigation in Southern Sweden*, Lundqua Report, 34, 198–201.
- Lührte von A., 1992, *Dendroclimatological studies on pine and oak in the forest of Berlin (West)*, Lundqua Report, 34, 212–216.
- Oleksyn J., Fritts H. C., Hughes M. K., 1993, *Tree-ring analysis of different*

- Pinus sylvestris provenans, Quercus robur, Larix decidua and L. decidua x L. kaempferi affected by air pollution*, Arboretum Kórnickie, 38, 87–111.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360.
- Schweingruber F. H., 1983, *Der Jahrring, Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*, Vrlg P. Haupt, Bern, Stuttgart.
- 1992, *Event years and pointer years*, Tree-Ring and Environment Ystad Conference Materials – Lundqua Report, 34, 228–292.
- Zielski A., 1992, *Long-term chronology of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the northern part of Poland*, Dendrochronologia, 10, 77–90.
- 1996, *Wpływ temperatury i opadów na szerokość stojów rocznych drewna u sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w rejonie Torunia*, Sylwan, 2, 71–79.
- Zielski A., Wejer K., 1993, *Datowanie drewna sosnowego*, [w:] A. Strzelczyk i St. Skibiński (red.), *Naukowe podstawy ochrony i konserwacji dzieł sztuki oraz zabytków kultury materialnej*, Wyd. UMK Toruń, 76–104.

## THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. IN PINE AND MIXED PINE FORESTS ALONG CLIMATIC AND “SILESIAN” RESEARCH TRANSECTS

### S u m m a r y

The aim was to try and assess the influence of the thermal conditions in the air and precipitation in different months on the width of annual growth rings in Scots pine, as well as to study the dynamics of pine growth, along gradients of continentality and air pollution in Poland. The overall aims of the long-term team research associated with the transects, of which the present study is part, are as set out in Breymeyer (1997, this volume). Here, the particular research task involved dendrochronological methods set out in numerous publications like Eckstein and Bauch (1969), Fritts (1976), Huber (1941) and Schweingruber (1983). Sequences of data from tree ring measurements were processed using the packages CATRAS (Aniol 1983), ARBOR (Zielski and Wejer 1993) and ARSTAN (Holmes 1994), as well as programs within DPL – the DENDROCHRONOLOGY PROGRAM LIBRARY (Holmes 1994). The first two of the above are used in the registering, averaging and correlation of measured sequences, while ARSTAN and DPL also identify environmental factors of greatest influence on growth and establish local chronologies. COFECHA was used to test the correctness of sequences established. Relationships between climate and the widths of corresponding tree rings were described with the aid of multiple regression analysis. Calculations were made by the RESPO program from DPL (Fritts 1976; Holmes 1994). Data analyzed concerned the 12-month period beginning with the cessation of cambial activity and continuing through to the end of the next season, i. e. from October of a previous year to September of the given year inclusive. DPL's PCA program was used to assess the spatial differentiation to variability in the tree-ring widths of local chronologies, while graphic presentations of the results employed coordinates obtained by the SCA program (again from DPL). Study of the dynamics of radial growth involved the “skeleton plot” method (Schweingruber 1992). Sudden saltatory changes in tree-ring widths were considered to reflect environmental conditions and the decisive influence found was that of air thermal conditions. Spatial differentiation thus followed the gradient in continentality, with the width of annual rings of xylem in Scots pines being closely linked to temperature at the end of winter and spring, especially in February and March. Only in the part of Silesia studied sites (S028, S005 and S126) was there

an additional positive influence of a cold November. The correlation between annual growth and monthly precipitation totals is not as close as that for air temperature. In general, significant linkage with precipitation characterizes spring-summer, especially the April-June period and September. The width of growth rings in pines growing in western Poland is limited by hygric conditions in the habitat rather than air temperature. Factors other than the ones studied may exert a greater influence on the width of cambial rings in the central part of the W-E transect and in Silesia (sites S005 and S028). Positive and negative pointer years were defined for the species (Tables 6 and 7), and could most often be linked to macroclimatic conditions.

Author's adress:

Andrzej Zielski i Wojciech Sygit  
Instytut Biologii i Ochrony Środowiska  
Zakład Taksonomii i Geografii Roślin UMK  
ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń





ALICJA BREYMEYER, GLENN MROZ, DAVID REED, MAREK DEGORSKI

## WARUNKOWANIE TEMPA DEKOMPOZYCJI ŚCIOŁKI SOSNOWEJ PRZEZ ZMIENIAJĄCY SIĘ KLIMAT I SKŁAD CHEMICZNY SUBSTRATU. BADANIA NA TRANSEKTACH

### 1. WSTĘP

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) jest głównym składnikiem większości lasów w Polsce i dużej części Europy. Lasy pokrywają 8,7 mln ha (28% powierzchni Polski), z czego 70% to bory sosnowe (Rykowski 1991).

Dekompozycja ściółki to proces uwalniający pierwiastki biogenne z materii organicznej i zapoczątkowujący ich krążenie w ekosystemach. Ponieważ lasy sosnowe w Polsce występują na ubogich glebach, dekompozycja ściółki leśnej jest ważnym źródłem składników odżywczych dla tych ekosystemów.

W literaturze tematu wskazywano, że szybkość dekompozycji reaguje na zmiany środowiska i może być czułym wskaźnikiem stanu ekosystemów (Mikola 1960; Edmonds 1980; Binkley 1984; Grodziński i in. 1984; Berg 1986; Berg i in. 1991; Laskowski i in. 1993, 1995; Day 1995). Meentemeyer (1978) wyprowadził izolinie tempa dekompozycji ściółki dla kontynentów oparte na kalkulowanej ewapotranspiracji w rozważanych regionach i założonym stałym procencie ligniny w ściółce. Breymeyer (1991) stwierdziła wyraźną tendencję wzrostu tempa produkcji i dekompozycji ściółki sosnowej wraz z przesuwaniami się na południe w lasach położonych na transekcje N-S, od północnej Szwecji do środkowej Polski (50°30'N – 68°14'N).

Lasy Polski znajdują się pod wpływem zmiennego, często wysokiego stężenia zanieczyszczeń przemysłowych, zarówno metali ciężkich, jak i dwutlenku siarki oraz siarczanów. Opad siarki jest największy w zachodniej i południowo-zachodniej Polsce, a najmniejszy we wschodniej i północno-wschodniej.

Dmuchański i Wawrzoniak (1994) oceniali zanieczyszczenie lasów polskich na stałych powierzchniach badawczych objętych systemem monitoringu lasów Instytutu Badawczego Leśnictwa. Według tego opracowania średnia zawartość SO<sub>2</sub> w powietrzu waha się od około 3 mg · m<sup>-2</sup> · dzień<sup>-1</sup> na północnym wscho-

dzie do ponad  $30 \cdot \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$  na południowym zachodzie. Roczny opad kadmu w pyłach przemysłowych wynosi mniej niż  $0,001 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  na północy, do ponad  $0,006 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  w północno-zachodniej części kraju; zawartość ołowiu w opadzie pyłu wynosi od  $0,001 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  do ponad  $0,025 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Efekt działania tak zróżnicowanych zanieczyszczeń na funkcjonowanie ekosystemów leśnych jest – oprócz drastycznych przykładów zamierania lasów np. w Sudetach – nieznan.

W naszych badaniach próbowano ocenić zależność między szybkością dekompozycji ściółki leśnej a zmiennymi klimatycznymi i poziomem zanieczyszczeń na dwóch transektach. Pierwszy wiódł od Niemiec przez Polskę do granicy z Białorusią wzdłuż  $52^{\circ}\text{N}$  szerokości geograficznej (transekt „klimatyczny” W–E), a drugi od centrum przemysłowego na Górnym Śląsku na północny-wschód do Białowięży (SW–NE, tzw. transekt „śląski”). Dokładny opis stanowisk i transektów przedstawiono w tym tomie, w rozdziale A. Breymeyer *Badania borów...* s. 11–29.

Badania nasze mają na celu:

1. porównanie szybkości dekompozycji ściółki w szerokiej skali zróżnicowania borów sosnowych Polski,
2. ocenę sezonowych i rocznych zmian w szybkości dekompozycji ściółki sosnowej,
3. wskazanie czynników klimatycznych i chemicznych determinujących zmiany tempa dekompozycji.

## 2. METODY

Szybkość dekompozycji mierzono na 15 stanowiskach położonych na dwóch transektach. Stanowiska borowe wyselekcjonowane zostały z sieci powierzchni monitoringowych Instytutu Badawczego Leśnictwa. Charakteryzowały się one podobnym typem gleby, wiekiem i strukturą drzewostanu oraz składem florystycznym (tab. 1).

### 2.1. OCENA TEMPA DEKOMPOZYCJI

Badania rozkładu ściółki na transekcje klimatycznym (W–E) rozpoczęto w październiku 1993 r. i kontynuowano do marca 1995 r. Pomiary na transekcje „śląskim” rozpoczęto rok później, w październiku 1994 r. i kontynuowano do marca 1995 r. Do oceny szybkości dekompozycji zastosowano dwie metody: woreczków ściółkowych i pasków bawełnianych.

W o r e c z k i ś c i ó ł k o w e. Tempo dekompozycji mierzone było metodą woreczków ściółkowych. Zważone porcje wysuszonej do stałej wagi ściółki zamknięto w woreczkach z siatki nylonowej (oczka siatki  $1 \text{ mm}^2$ , powierzchnia woreczka  $10 \times 10 \text{ cm}$ ) i wykładano na stanowiskach do dekompozycji. Powierzchnie, na których wykładano woreczki do inkubacji, oczyszczano z mchu i krze-

Charakterystyka 15 stanowisk badawczych transektów klimatycznego i „śląskiego”  
Descriptive information for 15 study sites on the W-E transect and on the Upper Silesian transect

Zmienne	Stanowiska														
	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011	S023	S011	S002	S060	S005	S028	S126
Położenie: Szerokość (N) Długość (E)	52°40' 14°30'	52°40' 15°50'	52°50' 16°20'	53°00' 18°40'	52°50' 19°20'	52°50' 20°20'	52°40' 21°40'	52°50' 23°20'	52°38' 22°16'	51°35' 20°37'	51°06' 20°25'	50°43' 19°32'	50°34' 18°44'	50°20' 19°39'	50°10' 18°20'
Roślinność: Zbiorowisko roślinne <sup>a</sup> Wiek sosny (1993)	LP 70	QP 70	LPm 58	LP 91	QP 58	PP 87	QP 66	PP 84	PPm	LP	LP	QP	LP	LP	QPm
Bogactwo florystyczne (liczba gatunków): rośliny naczyniowe rośliny zielne	9 5	22 15	10 7	20 15	32 20	29 21	36 27	33 25	21 13	11 6	11 9	25 17	14 11	31 23	14 10
Gleba, poziom A: (C:N) Wysycenie zasadami (%) pH H <sub>2</sub> O Skład mechaniczny <sup>b</sup> Typ gleby <sup>c</sup>	10,8 13,3 3,9 S RP	21,8 6,3 3,8 S P	31,6 7 3,3 S P	25,3 8,8 3,9 CS P	21,3 7,1 3,9 S RP	15,4 8,7 4 S RP	18,2 8,5 3,7 S RP	33,5 7,5 4 S P	45,7 3,4 3,0 CS P	29,4 9,9 3,8 S RP	54,2 6,1 3,2 CS P	28,0 7,1 3,6 CS P	18,7 6,0 3,6 S P	26,8 21,7 4,2 CS RP	25,7 9,3 3,5 S P
Klimat <sup>d</sup> : Średnia roczna temperatura (°C) Suma opadu rocznego (mm)	8,3 538	8,1 562	8,1 557	7,9 533	7,9 533	7,3 505	7,4 557	6,7 548	7,4 536	7,6 570	7,2 704	7,6 694	7,8 731	7,2 827	8,1 697

<sup>a</sup>LP – *Leucobryo-Pinetum*, PP – *Peucedano-Pinetum typicum*, PPm – *Peucedano-Pinetum* variant z *Molinia coerulea*, QP – *Quercu roboris-Pinetum*, QPm – *Quercu roboris-Pinetum molinietosum* (za E. Roo-Zielińską i J. Solonem 1996), <sup>b</sup>CS – piasek gruby; S – piasek, <sup>c</sup>P – biellicowa; RP – rdzawa (za M. Degórskim 1996, 1996a); <sup>d</sup>Dane wieloletnie dla okresu 1951–1965 dla temperatury i dla opadów 1951–1970 (za J. Śmiałkowskim 1994).

<sup>a</sup>LP – *Leucobryo-Pinetum*, PP – *Peucedano-Pinetum typicum*, PPm – *Peucedano-Pinetum* variant with *Molinia coerulea*, QP – *Quercu roboris-Pinetum*. QPm – *Quercu roboris-Pinetum molinietosum* (E. Roo-Zielińska and J. Solon 1996); <sup>b</sup>CS – coars sand; S – sand; <sup>c</sup>P – Podzolic; RP – Rusty Podzolic (M. Degórski, 1996, 1996a); <sup>d</sup>Long term values for the period 1951–1965, for temperature, for precipitation 1951–1970 (J. Śmiałkowski 1994).



winek tak, by eksponowana ściółka miała kontakt z górną warstwą gleby. Ekspozycja woreczków ze ściółką rozpoczynała się zawsze jesienią (październiki, próby zbierano w dwu terminach, połowę po zimie (marzec lub kwiecień), drugą połowę następnej jesieni (październik), kiedy też wykładano próby na następny rok. Używano zawsze ściółki, która opadła na dno lasu w czasie ubiegłego roku, zbierano ją ze specjalnie założonych tzw. powierzchni opadowych. Była to zatem zawsze ściółka „w tym samym wieku”. Ponad połowę masy opadającej ściółki stanowiły igły sosnowe. Woreczki ściółkowe po zebraniu ich z lasu przewożono do pracowni, oczyszczano z gleby i przerastających siatki roślin, ściółkę suszono do stałej wagi i ważono. Ubytek wagi w okresie inkubacji jest miarą tempa dekompozycji.

W październiku 1993 r. wyłożono na każdym z badanych ośmiu stanowisk transektu klimatycznego po 60 woreczków ściółkowych; 20 z nich zawierało igły, 20 ściółkę mieszaną, 10 szyszki i 10 drobne gałązki. Połowę prób zebrano po pół roku, tj. na początku kwietnia 1994 r. a pozostałą część po roku, tj. na początku października 1994 r. Nową serię woreczków ściółkowych wyłożono na każdym z 15 stanowisk obydwu transektów w październiku 1994 r., po czym na początku kwietnia 1995 r. zebrano z nich po 30 prób. W sumie, prezentowane tu wyniki uzyskano z pomiarów tempa dekompozycji 930 prób ściółki.

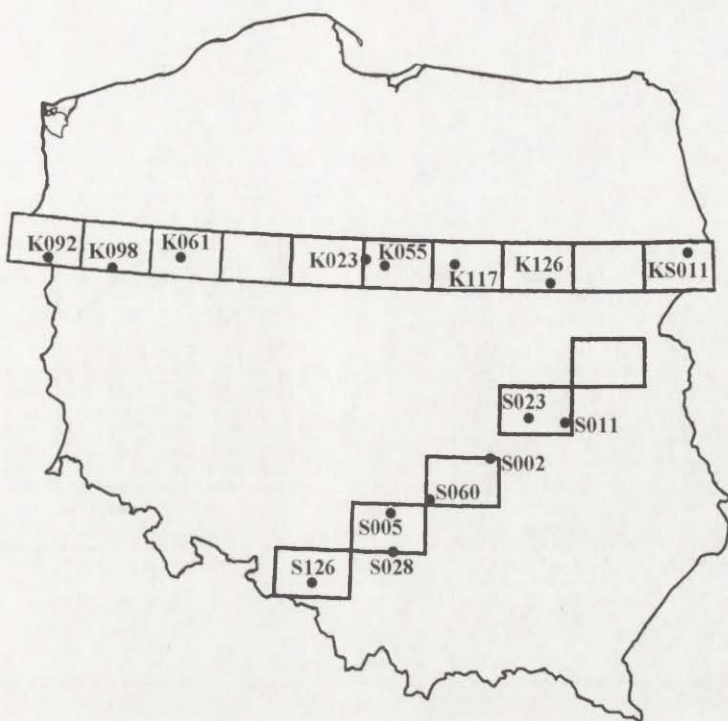
**P a s k i b a w e ł n i a n e.** Jako drugą miarę aktywności biologicznej gleb zastosowano zunifikowany materiał – bawełnę, którą eksponowano na stanowiskach zimą i latem; były to oryginalne, testowane fabrycznie (Sagar 1988) paski bawełniane (Shirley soil burial test fabric), które zakopywano w glebie każdego stanowiska. Ich okres ekspozycji w terenie trwał około dwa miesiące. Prezentowane tu wyniki są średnimi z 3–5 pasków bawełny umieszczonych w powierzchniowej 5-centymetrowej warstwie gleby mineralnej. Paski bawełny były eksponowane w terenie od 15 września do 11 października 1993 r. i od 10 maja do 30 czerwca 1994 r. Po okresie ich inkubacji mierzono przy użyciu maszyny testującej Alwerthon TH1 siłę rozrywania ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ) jednocentymetrowych, pozostałych po rozkładzie pasków bawełnianych. Im mniejsza siła potrzebna jest do rozrywania pasków, tym dekompozycja jest bardziej zaawansowana.

## 2.2. OCENA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH NA TRANSEKTACH

Różnice klimatyczne między stanowiskami na transekcje W–E są wynikiem wpływów oceanicznych od strony Atlantyku i kontynentalnych od strony Azji; określają one stopień kontynentalizmu klimatu. Generalnie, jest zimniej i są większe amplitudy temperatur miesięcznych na wschodnich krańcach transektów (ryc. 1, 2). Roczna suma opadów na transekcje klimatycznym wynosi około 500–600 mm/rok. Dla transektu „śląskiego” obserwowano zwiększenie ilości opadów na Wyżynie Śląskiej.

Średnie miesięczne temperatury powietrza i ilości opadów na stanowiskach uzyskano z pobliskich stacji meteorologicznych. Starano się wyśrednić wartości pomiarów z kilku otaczających stanowisko stacji klimatycznych. Kuuseoks i inni (1996) dowodzą, że temperatury powietrza w lasach są wyraźnie skorelowane





Ryc. 1. Mapa Polski z zaznaczonymi stanowiskami badawczymi wzdłuż transektu klimatycznego W-E i „śląskiego” SW-NE. Stanowiska oznaczone literą „K” należą do transektu klimatycznego, a oznaczone literą „S” do transektu „śląskiego”. Prostokąty to sektory ( $70 \times 1$  km), dla których uzyskano oceny zanieczyszczenia z badań IBL (Wawrzoniak, Małachowska 1994)

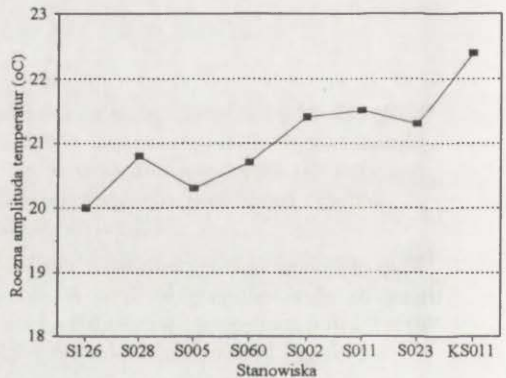
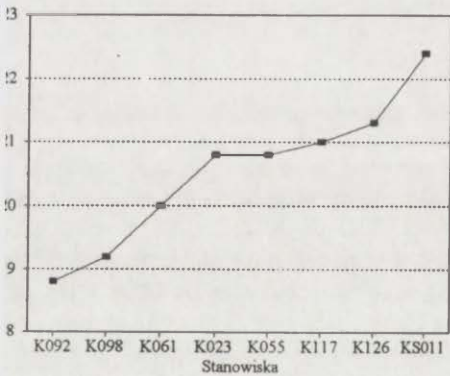
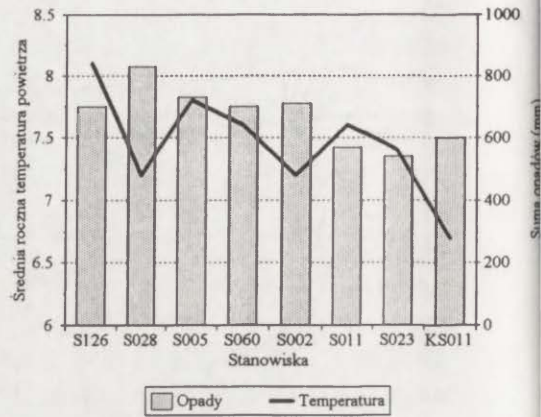
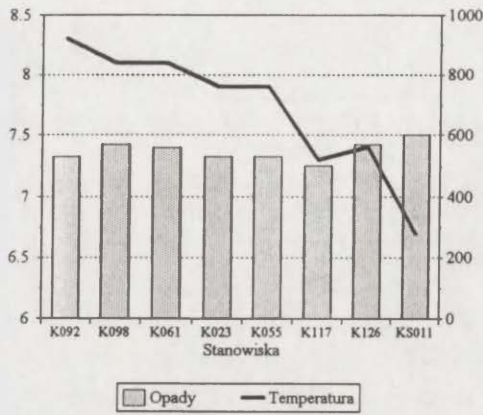
Map of Poland marked with study sites along climatic (W-E) and “Silesian” (SW-NE) transects. Sites designated by letter K are on the former and those with S on the latter. The  $70 \times 1$  km rectangles are sectors for which pollution assessments were obtained from the Forestry Research Institute (Wawrzoniak and Małachowska 1994 manusc.)

z uzyskanymi w pobliskich stacjach meteorologicznych. Sieć pomiarowa opadów atmosferycznych jest bardziej gęsta niż pomiarów temperatur i może ona być także wykorzystana jako dobre źródło danych dla stanowisk leśnych.

### 2.3. SZACOWANIE ZANIECZYSZCZENIA LASÓW

#### 2.3.1. IGLY

Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie prowadzi badania monitoringowe stanu lasów Polski (Dmuchowski, Wawrzoniak 1992; Wawrzoniak, Małachowska 1994). W programie tym jest mierzona zawartość 15 pierwiastków (N, P, S, Cl, Mg, K, Ca, Na, Al, Mn, Fe, Zn, Cu, Pb i Cd) w igłach sosnowych. Używamy tych wyników w niniejszej pracy jako wskaźników zanieczyszczenia



Ryc. 2. Charakterystyki klimatyczne transektów: średnie roczne temperatury powietrza (linie), sumy opadów (słupki) i roczne amplitudy temperatur. Dane wieloletnie uzyskano ze stacji meteorologicznych najbliższych 15 stanowiskom badawczym (za Smałkowskim 1996)

Climatic characteristics of the transects: mean annual air temperatures (lines), precipitation totals (bars) and annual amplitudes in temperature. Long-term data were obtained from meteorological stations closest to the 15 study sites (after Smałkowski 1996)

(metale) i statusu odżywczego liści (makroelementy) na powierzchni objętej przez transekty. Próby do analiz stanowiły jednoroczne i dwuletnie igły sosny, zebrane jesienią 1990 r. na 114 stałych powierzchniach badawczych IBL w borach sosnowych. Charakterystyki naszych stanowisk pochodzą z uśrednienia wyników analiz z trzech sąsiadujących najbliższych powierzchni z sieci monitoringu IBL (por. Breymeyer w niniejszym tomie, *Wstęp* – s. 7–9), na podstawie których oszacowano zanieczyszczenia dla sektorów o rozmiarach  $1^{\circ} \times 27'$  pokrywających oba nasze transekty (ryc. 1). Próby igieł do analiz chemicznych pobierano z 3–5 szczytowego okółka z południowej strony koron trzech drzew dominujących na powierzchni. Analizy chemiczne wykonano w laboratorium Instytutu Badawczego Leśnictwa w Warszawie.

### 2.3.2. GLEBY

Na transektach przeprowadzono badania chemizmu gleb. Zbadano zawartość metali ciężkich (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, i Cr) w poziomach glebowych O i A każdego badanego stanowiska. Analizy te wykonano w laboratorium chemicznym Akademii Rolniczej SGGW w Warszawie.

### 2.4. ANALIZA STATYSTYCZNA

Do porównania szybkości dekompozycji między badanymi stanowiskami i okresami użyto analizy wariancji. Wielokrotne próby służyły jako replikacje dla każdej kombinacji: stanowisko  $\times$  czas trwania próby. Do oceny istotności różnic między stanowiskami lub terminami pobierania prób ( $p = 0,05$ ) użyto testu Studenta-Newmana-Kuelsa (5% poziom istotności). W sytuacjach, w których stwierdzano różnice w tempie dekompozycji ( $p = 0,05$ ), użyto także analizy regresji liniowej wielokrotnej do zidentyfikowania zmiennych klimatycznych i wskaźników zanieczyszczenia związanych z szybkością dekompozycji.

## 3. WYNIKI

### 3.1. SEZONOWE ZMIANY DEKOMPOZYCJI

Analiza niniejsza oparta jest na wynikach uzyskanych z woreczków ściółkowych eksponowanych na transekcje klimatycznym W–E w ciągu dwóch zim (zima 1994: październik 1993 – marzec 1994; zima 1995: październik 1994 – kwiecień 1995) i dla roku hydrologicznego 1994 (październik 1993 – wrzesień 1994). Stwierdzono istotne różnice ( $p < 0,05$ ) w szybkości dekompozycji pomiędzy stanowiskami dla każdego rodzaju ściółki zarówno w zimie, jak i w całym roku (tab. 2). Różnice w szybkości dekompozycji igieł sosnowych między stanowiskami ilustruje rycina 3a; natomiast na rycinie 3b przedstawiono szybkość dekompozycji różnych frakcji ściółki. Stwierdzono istotne różnice w szybkości dekompozycji różnych frakcji ściółki. Najszybciej rozkładają się igły, a najwolniej części zdrewniałe (ryc. 3A, B).

Dekompozycja ściółki w woreczkach (proporcje ubytku wagi ściółki<sup>a</sup>) w zależności od stanowiska i rodzaju ściółki, dla zimy 1994 (październik 1993 – marzec 1994) oraz zimy 1995 (październik 1994 – kwiecień 1995)

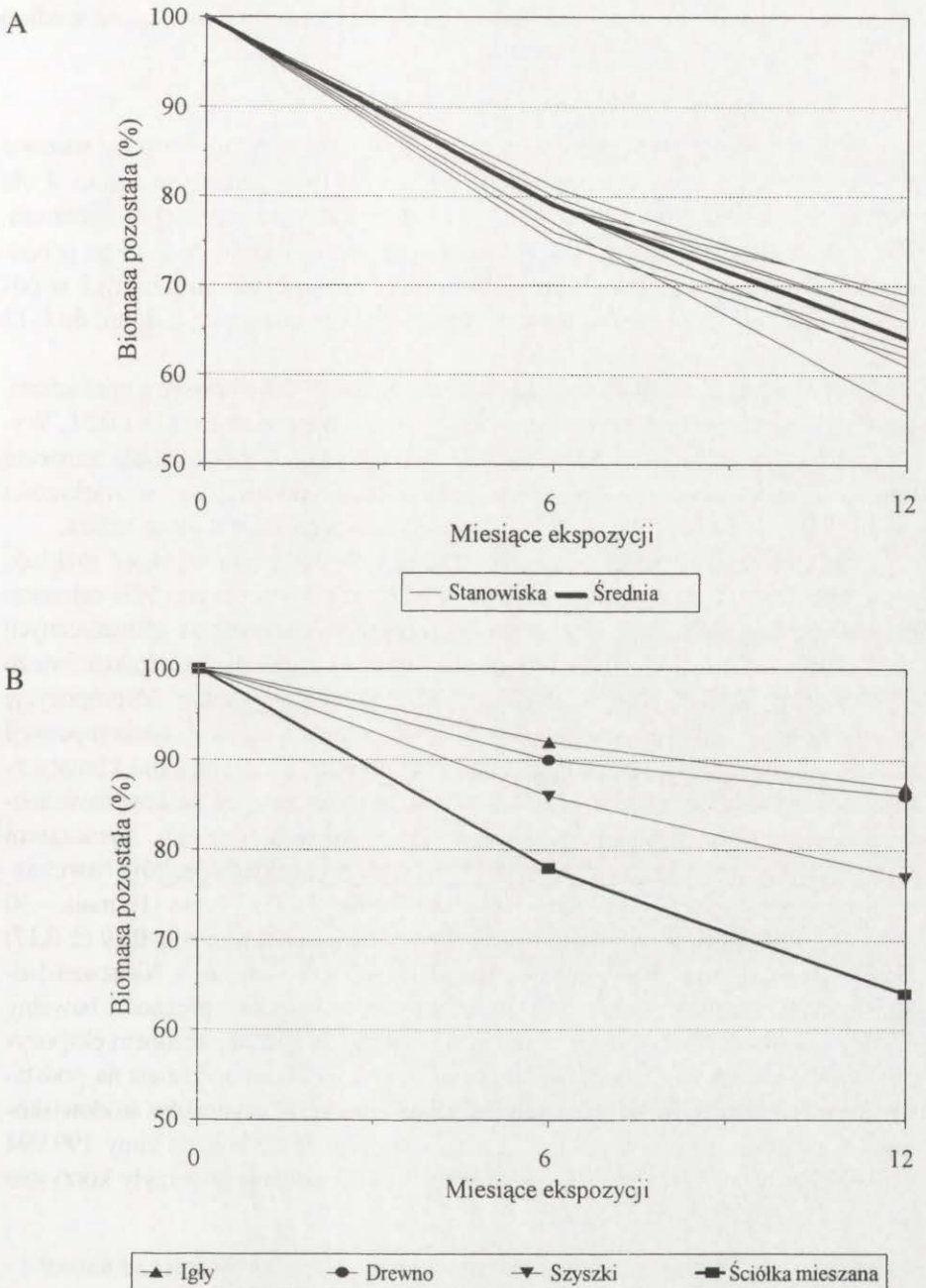
Litterbag decomposition (proportion of dry weight reduction<sup>a</sup>) by site and litter fraction for Winter 1994 (October, 1993 – March, 1994) and Winter 1995 (October, 1994 – April, 1995) exposure periods

	Stanowiska							
	K092	K098	K061	K023	K055	K117	K126	KS011
Igły – Needles								
X. 93 – III. 94 <sup>y</sup>	0,212 <sup>abc</sup>	0,191 <sup>c</sup>	0,214 <sup>abc</sup>	0,239 <sup>a</sup>	0,232 <sup>ab</sup>	0,215 <sup>abc</sup>	0,223 <sup>abc</sup>	0,201 <sup>bc</sup>
X. 94 – III. 95 <sup>x</sup>	0,224	0,158	0,233	0,247	0,262	0,240	0,288	0,263
Średnio – mean	0,218 <sup>c</sup>	0,175 <sup>d</sup>	0,224 <sup>bc</sup>	0,243 <sup>ab</sup>	0,247 <sup>ab</sup>	0,228 <sup>bc</sup>	0,256 <sup>a</sup>	0,232 <sup>bc</sup>
Drewno (drobne gałęzie) – Wood (Small branches)								
X. 93 – III. 94 <sup>y</sup>	0,157 <sup>a</sup>	0,131 <sup>ab</sup>	0,122 <sup>ab</sup>	0,086 <sup>bc</sup>	0,047 <sup>c</sup>	0,119 <sup>ab</sup>	0,085 <sup>bc</sup>	0,083 <sup>bc</sup>
X. 94 – III. 95 <sup>x</sup>	0,080	0,144	0,124	0,067	0,105	0,082	0,088	0,096
Średnio – mean	0,119 <sup>bc</sup>	0,138 <sup>a</sup>	0,123 <sup>ab</sup>	0,077 <sup>d</sup>	0,076 <sup>d</sup>	0,101 <sup>cd</sup>	0,087 <sup>cd</sup>	0,090 <sup>cd</sup>
Szyszki – Cones								
X. 93 – III. 94 <sup>y</sup>	0,099 <sup>a</sup>	0,102 <sup>a</sup>	0,119 <sup>a</sup>	0,068 <sup>ab</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,081 <sup>ab</sup>	0,102 <sup>a</sup>	0,042 <sup>b</sup>
X. 94 – III. 95 <sup>x</sup>	0,091	0,061	0,115	0,096	0,122	0,093	0,105	0,116
Średnio – mean	0,095 <sup>ab</sup>	0,082 <sup>ab</sup>	0,117 <sup>a</sup>	0,082 <sup>ab</sup>	0,096 <sup>ab</sup>	0,087 <sup>ab</sup>	0,104 <sup>ab</sup>	0,079 <sup>b</sup>
Ściółka mieszana – Mixed litter								
X. 93 – III. 94 <sup>y</sup>	0,149 <sup>a</sup>	0,137 <sup>a</sup>	0,143 <sup>a</sup>	0,141 <sup>a</sup>	0,136 <sup>a</sup>	0,103 <sup>b</sup>	0,140 <sup>a</sup>	0,119 <sup>ab</sup>
X. 94 – III. 95 <sup>x</sup>	0,131	0,124	0,166	0,199	0,227	0,174	0,224	0,166
Średnio – mean	0,140 <sup>cd</sup>	0,131 <sup>d</sup>	0,155 <sup>bc</sup>	0,170 <sup>ab</sup>	0,182 <sup>a</sup>	0,139 <sup>cd</sup>	0,182 <sup>a</sup>	0,143 <sup>cd</sup>

<sup>a</sup> Przed analizami wariancji dokonano transformacji  $\sin^{-1}(X^{1/2})$  na danych o ubytku wagi. Średnie z tymi samymi oznaczeniami w rzędzie nie różnią się istotnie statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ). Różne oznaczenia umieszczone przy datach wskazują na różnicę dekompozycji pomiędzy latami ( $\alpha = 0,05$ ) dla danej frakcji ściółki.

<sup>a</sup> A  $\sin^{-1}(X^{1/2})$  transformation was performed on the proportional weight loss data prior to analyses of variance. Means with the same superscripts in a row are not different ( $\alpha = 0,05$ ). Different superscripts next to the dates indicate a difference between years ( $\alpha = 0,05$ ) for that litter fraction.





Ryc. 3. A – różnice pomiędzy stanowiskami w tempie dekompozycji igieł na transekcje klimatycznym; B – różnice w tempie dekompozycji różnych frakcji ściółki; średnie dla frakcji ze wszystkich stanowisk badawczych transektu klimatycznego

A – differences in rates of needle decomposition between sites along the climatic transect;  
 B – differences in rates of decomposition of different litter fractions; means for fractions from all study sites along climatic transect

Stała  $k$  szybkości rocznej dekompozycji ściółki może być wyliczona według modelu eksponencjalnego (Olson 1963):

$$\ln(\text{waga końcowa/waga początkowa}) = -k,$$

gdzie  $k$  jest stałą szybkości dekompozycji w ciągu roku; wyższa wartość  $k$  świadczy o szybszej dekompozycji. Edmonds (1980) podaje wartości  $k$  dla różnych gatunków *Pinus* od 0,31 do 0,58. Dla sosny zwyczajnej w Finlandii, Mikola (1960) wymienia wartości  $k$  od 0,31 na północy kraju do 0,43 na południu. Według Prescottta i Parkinsona (1985) stała szybkości dekompozycji  $k$  w pobliżu źródła emisji dwutlenku siarki wynosi od 0,11 w odległości 2,8 km, do 0,13 w odległości 9,6 km od źródła emisji.

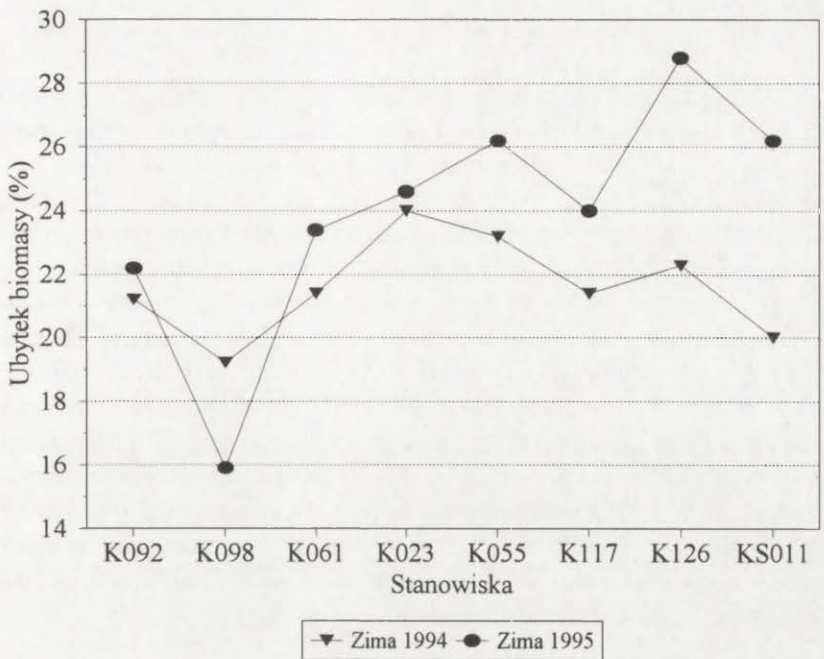
Średnia wartość  $k$  obliczona na podstawie zimowej dekompozycji igieł sosnowych w naszych próbach wynosi dla 1994 i 1995 r. odpowiednio 0,38 i 0,51. Wynika z tego, że roczna eksponencjalna stała dekompozycji  $k$  obliczona dla transektu klimatycznego waha się w granicach podobnych do podawanych w większości źródeł. Wartość  $k$  obliczana na podstawie prób całorocznych jest nieco niższa.

Obliczona dla wszystkich stanowisk transektu W-E średnia szybkość rozkładu igieł zimą 1994 r. była wyższa niż dekompozycja letnia. Wynosiła ona 59% całorocznej dekompozycji. Może to być wpływ sprzyjających warunków klimatycznych zimą 1994 r. lub jest to wynik szybkiego znikania łatwo rozkładalnych frakcji świeżo eksponowanej ściółki. Próby całoroczne obejmują natomiast także dekompozycję frakcji trudniej rozkładalnych. Jeśli te różnice w sezonowej szybkości dekompozycji są spowodowane raczej składem chemicznym substratu niż czynnikami klimatycznymi, to nie powinno być tych różnic w szybkości dekompozycji pasków bawełnianych – jednolitego materiału eksponowanego w różnych sezonach. Tymczasem stwierdzono istotne różnice ( $p = 0,0001$ ) w szybkości rozkładu pasków bawełnianych między jesienią (15 września – 11 października, 1993) i latem (10 maja – 30 czerwca, 1994). Średnia szybkość rozkładu bawełny jesienią wynosiła  $0,29 (\pm 0,17) \text{ Knm}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$ , podczas gdy latem  $0,10 (\pm 0,05) \text{ KN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$ . Nie stwierdzono istotnych różnic ( $p > 0,05$ ) w wartościach średnich spadku prężności bawełny między stanowiskami, ani też ( $p > 0,05$ ) między stanowiskami i sezonem ekspozycji. Wynika z tego, że szybsza dekompozycja zimą niż latem wykazana na podstawie metody woreczków ściółkowych jest wynikiem raczej czynników środowiskowych niż zmiany jakości ściółki w czasie ekspozycji. Dwie kolejne zimy 1993/94 i 1994/95 były w Polsce wyjątkowo ciepłe i prawdopodobnie stworzyły korzystne warunki dla dekompozycji ściółki.

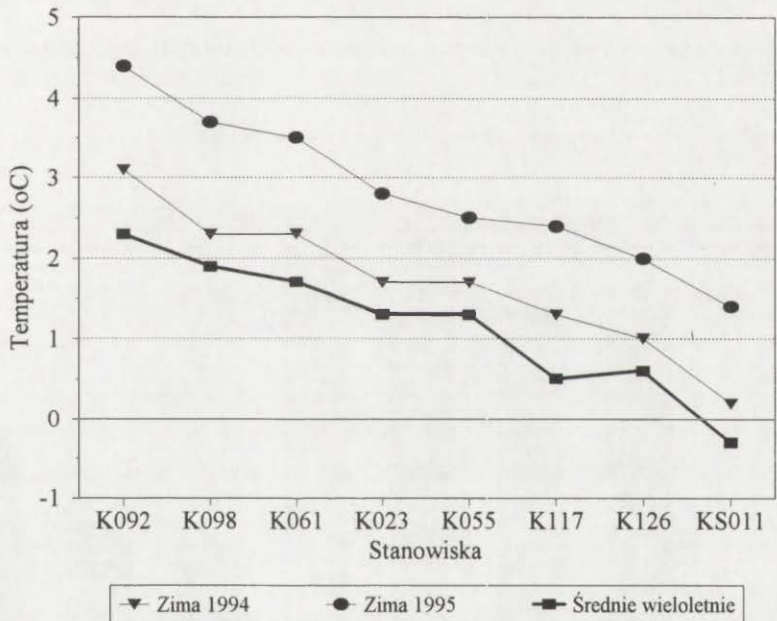
### 3.2. RÓŻNICE W SZYBKOŚCI DEKOMPOZYCJI ZIMOWEJ PODCZAS DWÓCH LAT BADAŃ

Próby ściółki eksponowano w dwóch okresach zimowych 1993–1994 i 1994–1995 na wszystkich stanowiskach transektu zachód–wschód (tab. 2). Stwierdzono istotne różnice ( $p < 0,03$ ) między stanowiskami w szybkości dekompozycji wszystkich frakcji ściółki, przy czym dekompozycja igieł, szyszek i ściółki mieszanej była istotnie szybsza zimą 1995 r. ( $p < 0,02$ ). Na rycinie 4 pokazano relację między

A



B



Ryc. 4. A – różnice w dekompozycji igieł zimą 1993–94 i 1994–95 na stanowiskach wzdłuż transektu klimatycznego W–E; B – średnie miesięczne temperatury powietrza podczas ekspozycji woreczków ściółkowych w sezonach zimowych 1993–94 i 1994–95 dla każdego stanowiska badawczego transektu klimatycznego W–E

A – differences in needle decomposition in winters 1993/4 and 1994/5 at sites along the W–E climatic transect; B – mean monthly air temperatures during period of exposure of litterbags in winters 1993/4 and 1994/5, for each study site along the W–E climatic transect

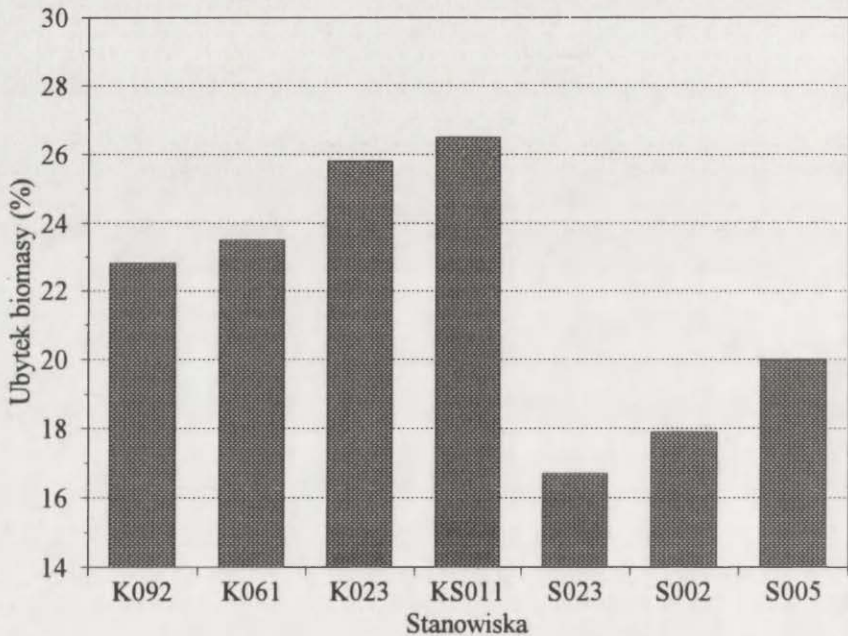


dekompozycją igieł i temperaturami dwóch sezonów zimowych na stanowiskach transektu klimatycznego. Te dwie kolejne zimy (październik 1993 – marzec 1994 oraz październik 1994 – kwiecień 1995) były znacznie cieplejsze niż średnie wieloletnie dla analogicznych sezonów (ryc. 4B), przy czym średnie temperatury zimy 1994–1995 były najwyższe. Także wyraźnie wyższa była tej zimy dekompozycja ściółki, szczególnie na stanowiskach wschodnich (ryc. 4A).

Sprawdzono drugi ważny czynnik klimatyczny – wilgotność. Do oceny deficytu wilgotności na stanowiskach posłużono się procedurą Thornthwaite'a (Thornthwaite, Mather 1957). Wyniki uzyskane dla wszystkich stanowisk transektu W–E nie wykazały zwiększonego deficytu wilgotności w którymś z sezonów zimowych. Oznacza to, że tempo dekompozycji nie było ograniczone spadkiem wilgotności w czasie żadnej z tych dwóch zim. Szybsza dekompozycja w czasie zimy 1995 r. wiąże się zatem prawdopodobnie z sięgającym 2°C ociepleniem na wszystkich stanowiskach. Wyraźnie wolniejsza dekompozycja w cieplejszych borach na stanowiskach zachodnich (ryc. 5) nie może być natomiast wyjaśniona czynnikami klimatycznymi.

### 3.3. RÓŻNICE W SZYBKOŚCI DEKOMPOZYCJI MIĘDZY TRANSEKTAMI I TYPEM BORÓW

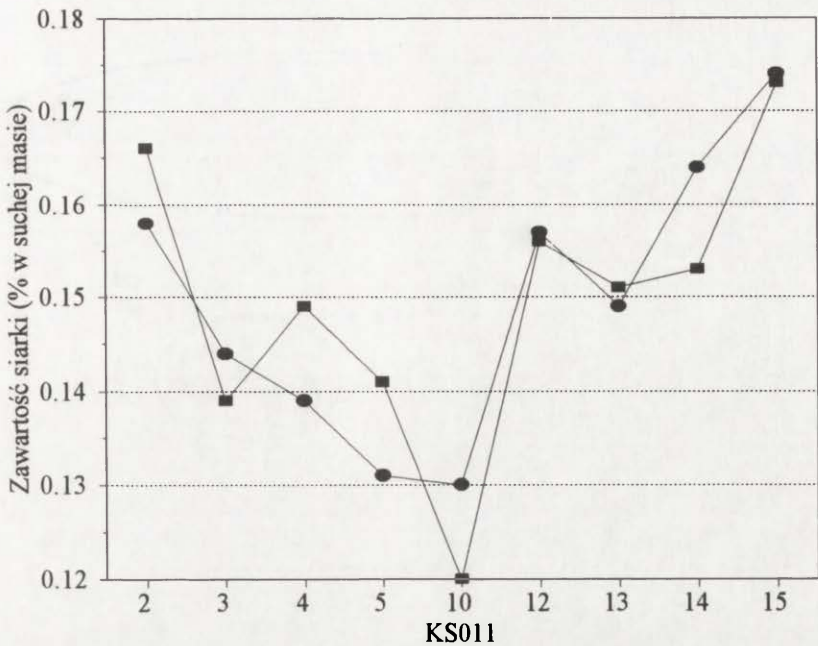
Badane lasy reprezentowały dwa typy zbiorowisk roślinnych (tab. 1): bory sosnowe (*Leucobryo-Pinetum* i *Peucedano-Pinetum*) oraz bory mieszane (*Quer-*



Ryc. 5. Zima 1995 r., tempo dekompozycji igieł sosny na stanowiskach boru sosnowego wzdłuż dwóch transektów, klimatycznego i „śląskiego”

Winter 1995, rate of decomposition of pine needles at pine forest sites along climatic and “Silesian” transects





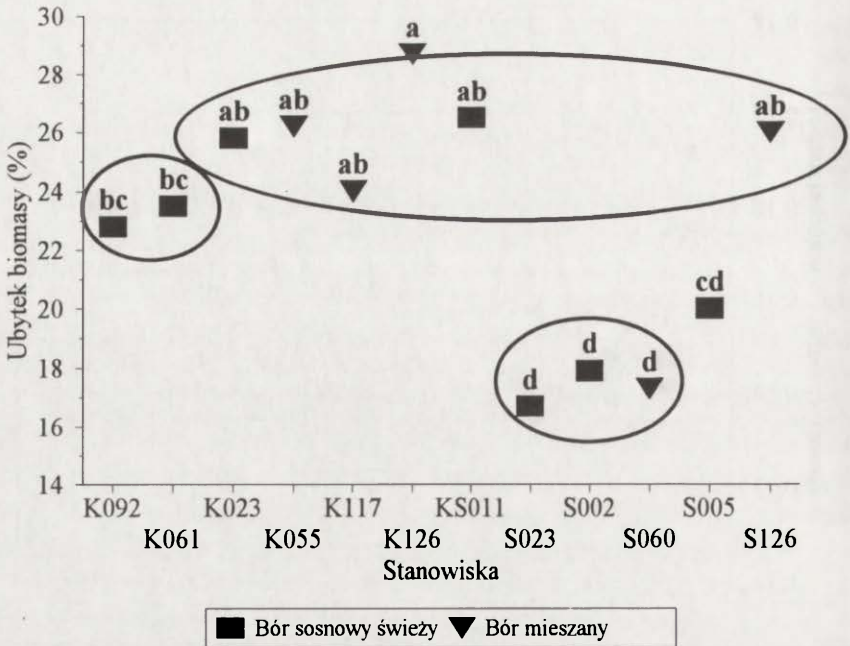
Ryc. 6. Całkowita zawartość siarki w igłach sosny zwyczajnej jednorocznych (prostokąty) i dwuletnich (kółka). Próby zebrano w 1991 r. w Programie Monitoringu Lasów Instytutu Badawczego Leśnictwa (za Wawrzoniakiem i Małachowską 1994). Numery stanowisk są numerami sektorów na mapie Polski (ryc. 1)

Total sulphur content of Scots pine needles one year old (rectangles) or two years old (circles). Samples taken in 1991 within Forest Monitoring Programme of Forestry Research Institute (after Wawrzoniak and Małachowska 1994). Numbers of sites are numbers of sectors on map of Poland (fig. 1)

*co roboris-Pinetum*). Do oceny różnic w dekompozycji między tymi dwoma typami borów zastosowano analizę wariancji; przeprowadzono tę analizę na zbiorach z sezonu zimowego 1994–1995, kiedy można było włączyć do porównania wyniki z transektu „śląskiego”, co prawie podwoiło wielkość próby. Pozwoliło to także na analizę dekompozycji na stanowiskach z dwóch transektów.

Stwierdzono istotne różnice ( $p < 0,05$ ) w szybkości dekompozycji igieł i ściółki mieszanej pomiędzy stanowiskami z dwu typów zbiorowisk leśnych: bory sosnowe charakteryzuje wolniejsze tempo dekompozycji niż bory mieszane.

Na tych samych zbiorach z zimy 1994–1995 stwierdzono, że istnieją różnice ( $p < 0,05$ ) w tempie dekompozycji igieł i ściółki mieszanej między transektami. Dla transektu „śląskiego” średnie tempo dekompozycji ze stanowisk borów sosnowych jest niższe niż dla transektu klimatycznego (ryc. 5). Przedstawione na rycinie 6 zmiany zawartości siarki w igłach sosny, a także podobne zmiany wykazane na transektach w zawartości Mn, Fe i Pb w igłach sosny (Brey Meyer, w tym tomie – s. 11–29), sugerują, że może istnieć negatywna zależność między dekompozycją a stopniem skażenia ściółki sosnowej na obu transektach; to ska-



Ryc. 7. Trzy grupy stanowisk o podobnym tempie dekompozycji zimowej ( $\alpha = 0,05$ ): grupa zachodnia dekompozycji średniej (bc), grupa dekompozycji najwyższej (ab) i grupa „śląska” dekompozycji najniższej (d)

Three groups of sites of similar rates of decomposition in winter ( $\alpha = 0,05$ ): western group of moderately fast decomposition (bc), group of highest-rate decomposition (ab) and “Silesian” group of lowest rates of decomposition (d)

żenie siarką i metalami ciężkimi obniża tempo dekompozycji na zachodnich stanowiskach obu transektów. Generalnie, wyróżniono trzy grupy stanowisk o podobnej dekompozycji (ryc. 7): pięć stanowisk o najwyższej dekompozycji 24–26%, dwa stanowiska zachodnie (poddane wpływom zanieczyszczeń nanszonych z zachodu) o dekompozycji 22–24% i trzy stanowiska „śląskie”, najbardziej zanieczyszczone, o dekompozycji 16–18%.

Natomiast w dekompozycji gałązek i szyszek nie stwierdzono istotnych różnic ( $p < 0,05$ ) między borami sosnowymi i mieszanymi, ani też między transektami i grupami stanowisk.

### 3.4. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA DEKOMPOZYCJĘ ZIMOWĄ

Średnie miesięczne temperatury, opad atmosferyczny i deficyt wilgotności stanowiły tło klimatyczne analizowane w przedstawianych materiałach. Natomiast zawartość pierwiastków biogennych i metali w jednorocznych i w dwuletnich igłach sosny oraz w poziomach glebowych O i A były wskaźnikami stopnia zanieczyszczenia i odżywienia lasu.

Do oceny zależności tempa dekompozycji od elementów klimatu i wskaźników

zanieczyszczenia posłużyła analiza wielokrotnej regresji liniowej (tab. 3). Analiza ta posłużyła do zbadania, czy i które ze wskaźników klimatycznych, zanieczyszczeniowych i odżywczych są związane z tempem dekompozycji.

Połączono pomiary tempa rozkładu ściółki z zimy 1994 i zimy 1995 r. dla transektu klimatycznego oraz z zimy 1995 r. dla „śląskiego”, co dało największy możliwy zbiór danych. Istotne zmienne ( $p \leq 0,05$ ) dla każdej analizy wiążącej wskaźniki klimatyczne i charakterystyki chemiczne liści i gleb z szybkością dekompozycji igieł, szyszek i ściółki mieszanej ukazano w tabeli 3. Szybkość rozkładu gałązek była skorelowana istotnie tylko ze wskaźnikami chemizmu liści i gleb.

Analiza zależności między zawartością metali w liściach i glebach a szybkością dekompozycji wskazuje na pozytywną korelację z niektórymi metalami, a z niektórymi na negatywną (tab. 3). Może się to wiązać z typem opadu zanieczyszczeń w badanych ekosystemach. Metale ciężkie zawarte w tzw. opadzie suchym związane są w kompleksy z innymi pierwiastkami, a skład chemiczny tych kompleksów nie jest rozpoznany. Być może inne, nierozpoznane pierwiastki transportowane wraz z metalami mają wpływ na przebieg analizowanych procesów i w konsekwencji na wyniki analizy regresji.

Breymeyer i inni (1996, 1997) wykazują, że korelacja między dekompozycją a zawartością metali w glebie jest często pozytywna, natomiast między dekompozycją a zawartością metali w ściółce prawie zawsze negatywna. Podobne relacje ilustruje tabela 3. Tempo dekompozycji jest ujemnie skorelowane z zawartością Cu w liściach i dodatkowo z zawartością Cu w glebie. Podobnie stwierdzono pozytywną korelację między szybkością dekompozycji i stężeniem Fe w glebie, a negatywną z zawartością tego pierwiastka w igłach. Prawdopodobnie metale są przenoszone w związkach z innymi pierwiastkami i tak długo, jak są związane i unieruchomione w glebie, ich toksyczność nie powoduje redukcji dekompozycji. Jeżeli natomiast metale te są wbudowane w tkanki roślin i ich fragmentów opadających na dno lasu, dekompozycja takiej ściółki jest spowolniona.

Przy analizie danych uzyskiwanych dla mniej licznych prób, tzn. dla każdego okresu i transektu istotna zależność od zmiennych klimatycznych spadała do punktu, kiedy tempo dekompozycji nie było już od nich zależne ( $p > 0,05$ ). Natomiast chemizm gleb i liści, szczególnie zawartość w nich metali, były zawsze w sposób istotny związane z tempem dekompozycji ( $p < 0,05$ ). Wydaje się zatem, że głównymi czynnikami warunkującymi różnice w tempie dekompozycji między stanowiskami były status odżywczy i dostawa zanieczyszczeń, a nie zmienne klimatyczne. Zawartość pierwiastków biogennych różni się zależnie od zespołu roślinnego, a opad zanieczyszczeń na tak długich transektach jest zróżnicowany przestrzennie; od obu tych grup pierwiastków i związków zależy dekompozycja na poszczególnych stanowiskach. Natomiast zmienność tempa dekompozycji z roku na rok (z zimy na zimę) wydaje się być związana z czasowymi różnicowaniami warunków klimatycznych (temperatury i opadów atmosferycznych).



Zmienne istotne ( $p < 0.05$ ) dla równań regresji uzależniających tempo dekompozycji<sup>a</sup> ściółki od czynników klimatycznych, chemizmu liści i gleb. Do analizy włączono wszystkie próby zimowe (październik 1993 – kwiecień 1994, październik 1994 – kwiecień 1995)

Significant variables ( $p < 0.05$ ) for regression equations relating litter decomposition<sup>a</sup> to climatic, foliar, and soil variables. All winter samples (October, 1993 – April, 1994 and October, 1994 – April, 1995) were included in the analyses

Rodzaj ściółki Litter Component	Znak Sign	Zmienna Variable	R2
Igły Needles	+ + + + - - + +	średnia miesięczna temperatura powietrza w czasie ekspozycji / average Monthly Air Temperature During Exposure Period średnia miesięczna opadów w czasie ekspozycji / average Monthly Precipitation During Exposure Period zawartość Mg (%) w jednorocznych igłach / Mg Percent in 1-Year-Old Needles zawartość Al (ppm) w dwuletnich igłach / Al PPM in 2-Year-Old Needles zawartość Cu (ppm) w dwuletnich igłach / Cu PPM in 2-Year-Old Needles zawartość Fe (ppm) w dwuletnich igłach / Fe PPM in 2-Year-Old Needles zawartość Cu (ppm) w poziomie glebowym 0 / Cu PPM in the Soil Horizon zawartość Cu (ppm) w poziomie glebowym AE / Cu PPM in the Soil AE Horizon	0,49
Drewno Wood	- - - -	zawartość Pb (ppm) w jednorocznych igłach / Pb PPM in 1-Year-Old Needles stosunek Ca:Al w dwuletnich igłach / Ca:Al Ratio in 2-Year-Old Needles zawartość Ni (ppm) w poziomie glebowym 0 / Ni PPM in the Soil O Horizon zawartość Cr (ppm) w poziomie glebowym AE / Cr PPM in the Soil AE Horizon	0,47
Szyszki Cones	+ - - + + - + + - + +	średnia miesięczna temperatura powietrza w czasie ekspozycji / average Monthly Air Temperature During Exposure Period średnia miesięczna opadów w czasie ekspozycji / average Monthly Precipitation During Exposure Period średni miesięczny deficyt wilgotności w czasie ekspozycji / average Monthly moisture deficit During Exposure Period zawartość Mg (%) w jednorocznych igłach / Mg Percent in 1-Year-Old Needles zawartość Na (ppm) w jednorocznych igłach / Na PPM in 1-Year-Old Needles zawartość S (%) w dwuletnich igłach / S Percent in 2-Year-Old Needles zawartość K (%) w dwuletnich igłach / K Percent in 2-Year-Old Needles zawartość Fe (ppm) w poziomie glebowym 0 / Fe PPM in the Soil O Horizon zawartość Mn (ppm) w poziomie glebowym 0 / Mn PPM in the Soil O Horizon zawartość Ni (ppm) w poziomie glebowym 0 / Ni PPM in the Soil O Horizon zawartość Cu (ppm) w poziomie glebowym AE / Cu PPM in the Soil AE Horizon	0,49
Ściółka mieszana Mixed	+ - + - + + + + - - + -	średnia miesięczna temperatura powietrza w czasie ekspozycji / average Monthly Air Temperature During Exposure Period średnia miesięczna opadów w czasie ekspozycji / average Monthly Precipitation During Exposure Period średni miesięczny deficyt wilgotności w czasie ekspozycji / average Monthly Moisture Deficit During Exposure Period zawartość K (%) w jednorocznych igłach / K Percent in 1-Year-Old Needles zawartość Na (ppm) w jednorocznych igłach / Na PPM in 1-Year-Old Needles stosunek N:S w jednorocznych igłach / N:S Ratio in 1-Year-Old Needles stosunek N:P w dwuletnich igłach / N:P Ratio in 2-Year-Old Needles zawartość Fe (ppm) w poziomie glebowym 0 / Fe PPM in the Soil O Horizon zawartość Mn (ppm) w poziomie glebowym 0 / Mn PPM in the Soil O Horizon zawartość Zn (ppm) w poziomie glebowym 0 / Zn PPM in the Soil O Horizon zawartość Pb (ppm) w poziomie glebowym 0 / Pb PPM in the Soil O Horizon	0,43

Transformacja  $\sin^{-1}(X^{1/2})$  dla proporcji straconej wagi była przeprowadzona przed analizą regresji

A  $\sin^{-1}(X^{1/2})$  transformation of the proportion of dry weight lost was performed prior to the regression analyses.



## 4. WNIOSKI

Można sformułować następujące konkluzje wstępnie podsumowujące badania dekompozycji ściółek leśnych na transektach poddanych zróżnicowanemu działaniu czynników klimatycznych i różnej dostawie związków chemicznych:

1. Dekompozycja ściółki przebiega szybciej w borach mieszanych niż w sosnowych. Z czterech rodzajów ściółki najszybciej rozkładają się igły i ściółka mieszana, one też reagują najwyraźniej na zmiany warunków na transektach.

2. Tempo dekompozycji ściółki jest większe zimą niż latem. Te różnice sezonowe były spowodowane warunkami środowiskowymi, a nie tylko zmianami rozkładającego się substratu biologicznego (co wiadomo z literatury).

3. Tempo dekompozycji igieł i ściółki jest istotnie niższe na transekcie „śląskim” tylko dla zimy 1994–1995. Sugeruje to, że zanieczyszczenie obniżało tempo dekompozycji szczególnie w niektórych sytuacjach pogodowych. Najniższe tempo dekompozycji zarejestrowano na 3 stanowiskach „śląskich”.

4. Tempo dekompozycji w kolejnych latach badań (1993–1994 i 1994–1995) różni się istotnie statystycznie. Warunki klimatyczne także wyraźnie różniły się w czasie tych dwóch zim: w roku 1995 wystąpiła najcieplejsza „zima stulecia”, ocieplenie było najwyraźniejsze na stanowiskach wschodnich. Dekompozycja jest także wyższa w 1995 r.

5. Szybkość dekompozycji zimowej jest skorelowana zarówno z elementami klimatu jak i wskaźnikami zanieczyszczenia. Wskaźniki zanieczyszczenia są bardziej znaczące w tłumaczeniu różnic w tempie dekompozycji między stanowiskami; natomiast zmiany procesu dekompozycji w czasie wydają się być wyraźnie związane ze zmianami warunków pogodowych.

## LITERATURA

- Berg B., 1986, *The influence of experimental acidification on nutrient release and decomposition rates of needle and root litter in the forest floor*, Forest Ecol. Manage., 15, 195–213.
- Berg G., Ekbohn G., Soderstrom G., Staaf H., 1991, *Reduction of decomposition rates of Scots pine needle litter due to heavy-metal pollution*, Water, Air, and Soil Poll., 59, 165–177.
- Binkley D., 1984, *Does forest removal increase rates of decomposition and nitrogen release?* Forest Ecol. Manage., 8, 229–233.
- Breymeyer A., 1991, *Comparative analysis of organic matter transformations in coniferous forests in Europe*, [w:] N. Nakagoshi N., Golley F. B. (red.), SPB Academic Publishing b. v., The Hague, 161–177.
- 1992, *Functioning of forest ecosystems in gradients of climate and pollution: project for comparative ecosystem studies on transects*, [w:] J. Solon, E. Roo-Zielińska, A. Bytnerowicz (red.), *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*, Conference Papers 19, IGPZ PAN, 101–107.
- 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in Central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, Environmental Pollution, 98, 335–345.

- Breymeyer A., Degórski M., Reed D., 1996, *Transect studies along 52° parallel, 12–32° East: pine litter decomposition as related to chemical properties of upper soil layer*, [w:] A. Bytnerowicz, A. Breymeyer, R. Noble (red.), *Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems*, USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest Experiment Station (w druku).
- Breymeyer A., Degórski M., Reed D., 1997, *Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers – transect studies*, *Environmental Pollution*, 98, 3, 361–367.
- Day F. P., 1995, *Environmental influences on belowground decomposition on a coastal barrier island determined by cotton strip assay*, *Paleobiologia*, 39, 289–303.
- Dmuchowski W. J., Wawrzoniak 1994, *Spatial distribution of sulphur and nitrogen content in needles of Scots pine (Pinus sylvestris, L.) as related to air pollution and tree stands vitality in Poland*, [w:] J. Solon, E. Roo-Zielińska, A. Bytnerowicz(red.), *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*, Conference Papers 19, IGI PAN, 177–186.
- Edmonds R. L., 1980, *Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington*, *Can. J. For. Res.* 10, 327–337.
- Grodziński W., Weiner J., Maycock P. F. (red.), 1984, *Forest ecosystems in industrial regions*, *Ecological Studies*, Springer-Verlag.
- Kuuseoks E. H. O., Liechty D. D., Reed J., Dong, 1996, *Relating site-specific weather data to regional monitoring networks: examples along a regional climatic gradient in the Lake States*, Submitted to *Forest Science*.
- Laskowski R. M., Maryański R. M., Niklińska M., 1993, *Nutrient and heavy metal dynamics in decomposition beech-pine litter*, *Ekol. Pol.*, 41, 3–4, 393–406.
- Laskowski R., Niklińska M., Maryański M., 1995, *The dynamics of chemical elements in forest litter*, *Ecology*, 76, 5, 1393–1406.
- Meentemeyer V., 1978, *Macroclimate and lignin control of decomposition rates*, *Ecology*, 59, 465–472.
- Mikola P., 1960, *Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland*, *Oikos*, 11, 161–166.
- Olson J. S., 1963, *Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems*, *Ecology*, 44, 322–331.
- Prescott C. E., Parkinson D., 1985, *Effects of sulphur pollution on rates of litter decomposition in a pine forest*, *Can. J. Bot.*, 63, 1463–1443.
- Rykowski K., 1991, *Raport o stanie lasów i leśnictwa w Polsce*, Forest Research Institute, Ministry of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry, Warsaw.
- Sagar B. F., 1988, *The Shirley soil burial test fabric and tensile testing as a measure of biological breakdown of textiles*, [w:] A. F. Harrison, P. M. Latter, D. W. H. Walton, (red.), *Cotton Strip Assay: An index of Decomposition in Soils*, Institute of Terrestrial Ecology, ITE Symposium, 24, 11–16.
- Smiątkowski J., 1996, *Effects of atmospheric deposition and climate change in forest ecosystems in Eastern Europe and the United States, 1994–1995 Report*, IGI PAN, Warsaw.
- Thornthwaite C. W., Mather J. R., 1957, *The water balance*, Drexel Inst. Tech., Lab. Climatol., Publ. Climatol., 8.
- Wawrzoniak J., Małachowska A., 1994, *Spatial distribution of foliar chemistry of Scots pine (Pinus sylvestris, L.) related to air pollution and forest health in Poland*. Instytut Badawczy Leśnictwa (materiały niepublikowane).
- 1995, *Spatial distribution of foliar chemistry of Scots pine (Pinus sylvestris, L.) related to air pollution and forest health in Poland*, [w:] *Air Pollution and Multiple Stresses, Proceedings of the 16th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems*, Fredericton, New Brunswick, Canada.

THE CONDITIONING OF RATES OF PINE-LITTER DECOMPOSITION  
BY CHANGING CLIMATE AND SUBSTRATE CHEMICAL COMPOSITION.  
TRANSECT STUDIES

S u m m a r y

The following conclusions can be drawn from preliminary work on the decomposition of forest litter along transects subject to the differential action of climatic factors and varying inputs of chemical compounds:

1. Litter is decomposed more rapidly in mixed pine forest than in pine forest. Among the four fractions, needles and mixed litter were broken down most quickly, and were affected most clearly by differences in conditions along the transects.

2. The rate of decomposition of litter was greater in winter than in summer, with these seasonal differences reflecting environmental conditions, and not merely changes in the decomposing biological substratum (as is known from the literature).

3. As rates of decomposition of needles and litter were significantly lower on the "Silesian" transect only in winter 1994/5, pollution would seem to have a depressing effect in certain weather situations in particular. The 3 "Silesian" sites recorded the lowest rates of decomposition.

4. Winters in the consecutive years of study (1993/4 and 1994/5) differed significantly in decomposition rates, as in climatic conditions, with early 1995 being the warmest "winter of the century" and showing the most marked elevation of temperatures above the norm at eastern sites. The rate of decomposition was higher in this year.

5. The rate of decomposition in winter was correlated with both, elements of the climate and indicators of pollution. The latter are of greater significance in explaining differences in decomposition rates between sites; while differences over time seem to show clear linkage with varying weather conditions.

Author's adress:

Alicja Breymeyer<sup>1</sup>, Glenn Mroz<sup>2</sup>, David Reed<sup>2</sup>, Marek Degórski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Geoekologii, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

<sup>2</sup> School of Forestry and Wood Products, Michigan Technological University  
1400 Townsend Drive, Houghton, MI 49931 USA





ALICJA BREYMEYER, EWA ROO-ZIELIŃSKA

## PRÓBA PODSUMOWANIA: CZY I JAK ZMIENIAJĄ SIĘ EKOSYSTEMY BOROWE NA ZAŁOŻONYCH TRANSEKTACH?

Zaprezentowaliśmy pierwsze zestawienie wyników kilkuletnich badań terenowych przeprowadzonych na równoleżnikowym transekcie klimatycznym o długości 1800 km i biegnącym prawie prostopadle do niego transekcie zanieczyszczeń („śląskim”) o długości 700 km.

Dysponowano ogromnym i różnorodnym materiałem interpretacyjnym, który posłużył do oceny zmienności przestrzennej komponentów badanych ekosystemów leśnych, takich jak: gleba (Degórski), roślinność (Roo-Zielińska, Solon), fauna (Khotko, Olechowicz) oraz procesów ekosystemalnych: produkcji drewna (Zielski, Sygit), opadu i rozkładu ściółki (Brey Meyer).

Badano 23 stanowiska borów i borów mieszanych, ich postaci typowe i wilgotne. Na wszystkich powierzchniach bezwzględnie dominantem w drzewostanie jest sosna zwyczajna w wieku 60–95 lat. Na 16 powierzchniach, w najwyższej warstwie drzew, występuje wyłącznie sosna (*Pinus sylvestris*), a na pozostałych w niewielkiej domieszce brzoza (*Betula pendula*). W niższych warstwach drzew na części stanowisk występuje jeszcze dąb (*Quercus robur*), świerk (*Picea abies*) i buk (*Fagus sylvatica*). Łącznie na analizowanych powierzchniach stwierdzono występowanie 18 gatunków krzewów, 68 gatunków roślin naczyniowych, 24 gatunków mszaków i 44 gatunki porostów (Roo-Zielińska, Solon).

Wszystkie badane gleby wykształcone zostały w utworach piaszczystych – ubogich, kwarcowych piaskach glacjafluwalnych. Należą do klasy gleb bielicowych trzech podtypów: bielicowych, bielicowo-rdzawych i rdzawych bielicowanych z próchnicą nadkładową odpowiednio: typu mor, moder/mor, mor/moder lub moder. Wszystkie analizowane gleby charakteryzują się odczynem bardzo kwaśnym lub kwaśnym, co – wraz z innymi analizowanymi właściwościami chemicznymi – wskazuje na niską troficzność siedlisk (Degórski).

Wydaje się, że na podstawie pierwszego zestawienia przedstawianych opracowań sformułować można pewne wnioski generalne:

## ZALEŻNOŚCI LAS-KLIMAT

Utwory piaszczyste, z których wykształciły się gleby, różnią się jedynie wiekiem sedymentacji, który w zachodniej części transektu związany jest z późnym plejstoceniem, natomiast jego wschodnia część – ze zlodowaceniem środkowopolskim (Riss) w Polsce oraz fazą dnierzańską zlodowacenia środkoworosyjskiego na Białorusi.

Wyróżniono dwie duże grupy zbiorowisk leśnych: suboceaniczną i subkontynentalną. W obrębie grupy subatlantyckiej skład gatunkowy pozwala wyróżnić podgrupę południową i zachodnią.

Dokonano podziału w obrębie borów sosnowych świeżych na geograficznie wikaryzujące zbiorowiska *Leucobryo-* i *Peucedano-Pinetum*. Główną przyczyną geograficznej zmienności składu florystycznego borów sosnowych jest zróżnicowanie zasięgów gatunków roślin. Stanowiska z Polski środkowej i południowej mają charakter pośredni między dobrze wyodrębnionymi borami o charakterze zachodnim i wschodnim.

Wraz z przesuwaniem się z zachodu na wschód wzdłuż równoleżnika 52°N wzrasta różnorodność roślin dna lasu (Solon), biomasa runa i warstwy mszystej (Roo-Zielińska, Solon). Tendencje te są szczególnie wyraźne w borach sosnowych. Także przyrosty radialne drzew są wyraźnie wyższe na wschodzie w dekadzie lat dziewięćdziesiątych (Zielski, Sygit).

Rośliny dna lasu analizowano na „dużym” transekcie 20°W–E, natomiast dekompozycja i przyrosty drewna zareagowały na zmianę długości geograficznej już przy różnicy 9°W–E (transekt klimatyczny na obszarze Polski).

Czym tłumaczyć przyspieszenie procesów ekosystemalnych i zwiększanie różnorodności i biomasy runa przy przesuwaniu się na wschód? Wpływ mogą tu mieć różne grupy czynników: zanieczyszczenie zachodniej Polski degraduje tamtejsze lasy mimo przychylniejszego klimatu. Stanowiska wschodniej części transektu (białoruskie) wykazują oznaki niedawnego użytkowania rolnego, są zatem nieco żyźniejsze. Ostatnie stanowiska wschodnie (wschód Białorusi) znajdują się w strefie intensywnego opadu radioaktywnego po katastrofie w Czarnobylu – w niektórych raportach z tej strefy podawano przykłady stymulacji wzrostu roślin (nawet gigantyzmu) pod wpływem promieniowania radioaktywnego. Ten czynnik mógł intensyfikować także badane przez nas procesy.

Analiza różnorodności gatunkowej prowadzona na 68 gatunkach roślin naczyniowych dna lasu (Solon) i na 43 gatunkach dużej rodziny chrząszczy *Carabidae* (Khotko) prowadzi do wyodrębnienia dwóch wyraźnych grup biogeograficznych: suboceanicznej (zachodniej) i subkontynentalnej (wschodniej). Wyniki te uzyskano analizując materiały z „dużego” transektu obejmującego ponad 20° długości geograficznej.

Grupowanie stanowisk oparte na analizie przyrostów radialnych drzew (Zielski, Sygit) wydaje się potwierdzać przypuszczenia klimatologów o wydzielaniu się we wschodniej Polsce europejskiej „granicy” między wpływami oceanicznymi

mi i kontynentalnymi na kontynencie (porównaj A. Breymeyer, *Badania borów...* w tym tomie – s. 11–29).

Dekompozycja ściółki i przyrosty radialne drzew reagują wyraźnie na termoklimat okresów zimowych. Na transekcie klimatycznym z wyraźnym gradientem cech kontynentalizmu różnice między zachodem i wschodem najostrej wyrażają się w okresach zimowych. Woodward (1990, 1991, 1996) i Woodward, McKee (1991) przypisują wielką rolę temperaturom minimalnym, które – według autorów – kształtują rozmieszczenie typów lasów w strefie klimatów umiarkowanych chłodnych.

Różnorodność makrofauny glebowej, tak jak innych grup, rośnie wraz z przesuwaniem się na wschód. Inaczej jest natomiast z liczebnością i biomasa tych zwierząt. Oba wskaźniki maleją statystycznie istotnie wraz z ochłodzeniem klimatu i wzrostem amplitudy średnich temperatur (Olechowicz).

### ZALEŻNOŚCI LAS-ZANIECZYSZCZENIA

Tempo dekompozycji ściółki na trzech stanowiskach „śląskich” jest niższe od pozostałych o 6–10%. Także stanowiska przy granicy niemieckiej, gdzie zanieczyszczenia nanoszone są z zachodu, charakteryzują się dekompozycją nieco niższą. Breymeyer i in. (1997) sugerują, że różnice w tempie dekompozycji między stanowiskami warunkowane są głównie przez skład chemiczny ściółki i gleb.

Rozważając zanieczyszczenia dwutlenkiem siarki i ich wpływ na makrofaunę glebową, stwierdzono ujemną korelację we wszystkich badanych ekosystemach dla liczebności i biomasy mrówek oraz w grupie borów mieszanych dla biomasy całej makrofauny. Dodatkowo natomiast skorelowana jest z koncentracją zanieczyszczeń liczebność i biomasa mszyc na wszystkich stanowiskach, a larw chrząszczy w borach mieszanych.

Stwierdzono w analizach igieł sosny zanieczyszczenie rosnące na Śląsku i przy zachodniej granicy kraju (Wawrzoniak, Małachowska 1994); nie znaleziono śladów takiego rozkładu zanieczyszczeń w górnych poziomach profili glebowych (Degórski).

### LITERATURA

- Bolin B., Degens E. T., Duvigneaud P., Kempe S., 1979, *The Global Biogeochemical Carbon Cycle*, [w:] B. Bolin, E. T. Degens, S. Kempe, P. Ketner, (red.), *The Global Carbon Cycle*, SCOPE, 13, 1–53.
- Breymeyer A. I., 1991, *Comparative analysis of organic matter transformations in coniferous forests in Europe*, [w:] N. Nakagoshi, F. B. Golley (red.), *Coniferous forest ecology, from an international perspective*, SPB Academic Publishing, 161–178.
- 1997, *Transect studies of pine forests along parallel 52°N, 12–32°E and along a pollution gradient in central Europe: general assumptions, climatic conditions and pollution deposition*, *Environmental Pollution*, 98, 335–345.



- Breymer A., Degórski M., Reed D., 1997, *Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers: transect studies*, Environmental Pollution, 98, 361–367.
- Breymer A. I., Hall D. O., Melillo J. M., Agren G. I., 1996, *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands*, SCOPE 56, Johan Willey and Sons, Chichester, UK.
- Brubaker L. B., McLachlan J. S., 1996, *Landscape diversity and vegetation response to long-term climate change in the eastern Olympic Peninsula, Pacific Northwest USA*, [w:] Walker B., Steffen W. (red.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, Cambridge University Press, New York, 184–206.
- Cannell M. G. R., Dewar R. C., Thornley J. H. M., 1992, *Carbon flux and storage in European forests*, [w:] A. Teller, P. Mathy, J. N. R. Jeffers (red.), *Responses of forest ecosystems to environmental changes*, Elsevier Applied Science, London and New York, 256–271.
- Davis M. B., Woods D., Webb S. L., Futyma R. P., 1986, *Dispersal versus climate: Expansion of Fagus and Tsuga into the Upper Great Lakes region*, Vegetation, 67, 93–103.
- Emanuel W. R., Killough G. G., Olson J. S., 1981, *Modelling the Circulation of Carbon in the World's Terrestrial Ecosystems*, [w:] B. Bolin (red.), *Carbon Cycle Modelling*, SCOPE 16, 335–354.
- Galiński W., 1993, *The confrontation of the annual carbon balances of Polish forest ecosystems for the years 1989, 1990 and 1991*, [w:] V-th Symposium on the Protection of forest Ecosystems. *Forest ecosystems versus climate change*, Białowieża, 241–248.
- Knight D. H., 1991, *Pine forests: A comparative overview of ecosystem structure and function*, [w:] N. Nakagoshi, F. B. Golley (red.), *Coniferous forest ecology, from an international perspective*, SPB Academic Publishing, 121–136.
- Kowalski M., 1993, *Changes in forest species composition as related to climate change during the last two centuries*, [w:] V-th Symposium on the Protection of forest Ecosystems. *Forest ecosystems versus climate change*, Białowieża, 12–22.
- Kreutzer K., 1992, *Forest response to a changing environment – Central and Northern European aspects*, [w:] A. Teller, P. Mathy, J. N. R. Jeffers (red.), *Responses of forest ecosystems to environmental changes*, Elsevier Applied Science, London and New York, 279–297.
- Linder S., McMurtrie R. E., Landsberg J. J., 1996, *Linked pest-crop models under global change*, [w:] B. Walker, W. Steffen (red.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, Cambridge University Press, New York, 291–316.
- Parry M. L., Hossell J. E., Bunce R., Jones P. J., Rehman T., Tranter R. B., Marsh J. S., Rosenzweig C., Fisher G., 1996, *Global and regional land use responses to climate change*, [w:] B. Walker, W. Steffen (red.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, Cambridge University Press, New York, 466–483.
- Roo-Zielińska E., Solon J., 1997, *Effect of geographical location on species composition, vegetation structure, diversity and phytoindicative characteristics in pine forests*, Environmental Pollution, 98, 3, 347–360.
- Walker B., Steffen W. (red.), 1997, *The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for natural and Managed Ecosystems*, IGBP Sciences, 1, Stockholm, 32.
- 1996, *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, Cambridge University Press, New York, 319.
- Wawrzoniak J., Małachowska A., (1994), *Spatial distribution of foliar chemistry of Scots pine (Pinus sylvestris, L.) related to air pollution and forest health in Poland*. Instytut Badawczy Leśnictwa (materiały niepublikowane).
- Woodward F. I., 1990, *The impact of low temperatures in controlling the geographical distribution of plants*, [w:] Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 326, Great Britain, 585–592.
- 1996, *Developing the potential for describing the terrestrial biosphere's response to*



*a changing climate*, [w:] B. Walker, W. Steffen (red.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, Cambridge University Press, New York, 511–528.

W o o d w a r d F. I., M c K e e I. F., 1991, *Vegetation and climate*, [w:] *Environment International*, 17, USA, 535–546.

## AN ATTEMPT AT A SUMMARY: DO ECOSYSTEMS ALONG THE TRANSECT VARY, AND IF SO, HOW?

We present here the first compilation of results from several years of field research done along a 1800 km latitudinal (continental) transect, and a 700 km “Silesian” transect of pollution running at right angles to it.

We now have at our disposal an enormous and diverse supply of material which has served in the assessment of such spatial components of the studied ecosystems as: soil (Degorski), vegetation (Roo-Zielińska, Solon) and fauna (Khotko and Olechowicz); as well as of ecosystem processes like radial growth of pine (Zielski and Sygit), and litter fall and decomposition (Breymer).

The work concerns 23 sites in pine and mixed pine forest of the typical and moist variants. The absolute dominant in the stands on all plots was Scots pine aged 60–95 years. The uppermost tree layers of 16 of the plots had *Pinus sylvestris* only, while the remainder had an admixture of the birch *Betula pendula*. Lower layers at some of the sites also featured the oak *Quercus robur*, as well as Norway spruce *Picea abies* and beech *Fagus sylvatica*. Altogether, there were 18 species of shrub on the plots studied, as well as 68 species of herb layer vascular plant, 24 species of bryophyte and 44 of lichen (Roo-Zielińska, Solon).

All the soils studied were shaped in sandy formations of poor glaciofluvial quartzite sands. They were included within the podsol class and in the podsol, podsollic-rusty and rusty podsol subtypes, with mor, moder/mor and mor/moder or moder humus respectively. All of the soils had a very acid or acid reaction, pointing, along with other analyzed chemical properties, to the low trophic status of the habitats (Degorski).

The following general conclusions may be drawn from the first compilation of studies presented:

### THE FOREST-CLIMATE RELATIONSHIP

The sandy formations on which the soils developed differ only in the age of sedimentation, which is associated with the late Pleistocene in the western part of the transect, and with the Central Poland (Riss) Glaciation in the eastern part still within Poland, or else with the Dniepr Phase of the Central Russian Glaciation in the Belarussian section.

Two large groups of forest communities were distinguished: the sub-oceanic or sub-Atlantic and the sub-continental. The species composition within the sub-Atlantic group allowed a southern and western sub-group to be identified.

Within pine forest, a distinction was drawn between the geographically-variable *Leucobryo-* and *Peucedano-Pinetum* types. The main cause of geographical differences in the floristic composition of pine forests is the differentiation of the ranges of plant species. Sites in central and southern Poland are intermediate in character between the well-defined pine forests of the western and eastern types.

A move in the west-east direction along the transect at 52°N is associated with increases in: diversity among the plants of the forest floor (Solon); the biomass of the herb and bryophyte layers (Roo-Zielińska and Solon) and the rate of decomposition of litter (Breymer *et al.*). These trends are particularly clear in pine forest. Radial growth increments of trees in the east have also been markedly greater in the 1990s (Zielski and Sygit).

Forest-floor plants were analysed along the large 20-degree W–E transect (Germany–Po-

land–Belarussia), decomposition rate and radial growth increments differed with longitude differences of as few as 9 degrees (on the climatic transect within Poland).

How to account for the acceleration of ecosystem processes (wood production and litter decomposition) and the greater diversity and biomass of the herb layer towards the east? In fact, different groups of factors may be at work here. The pollution in western Poland may degrade the forests there in spite of the more favourable climate. Sites in the eastern (Belarussian) part of the transect still carry the traces of the relatively recent agricultural use of the land, being more fertile than others. Finally, the easternmost sites in eastern Belarus are within the zone of intensive radioactive fallout following the Chernobyl disaster. Some reports from this zone give examples of stimulated plant growth (even gigantism) under the influence of radiation, so this factor may have intensified the processes studied by us.

Analysis of species diversity carried out for the 68 vascular plant species of the forest floor (Solon), as well as the 43 animal species from the beetle family *Carabidae* (Khotko), led to the separation of two clear biogeographical groupings: the sub-oceanic (western) and the sub-continental (eastern). These results were obtained by analysing material from the “large” transect spanning 20 degrees of longitude.

The grouping of sites on the basis of analysis of radial tree growth (Zielski and Sygit) would seem to confirm the suppositions of climatologists regarding a creation in eastern Poland of the “border” between oceanic and continental influences in Europe (A. Breymeyer, *Badanie borów...*, this volume).

Litter decomposition rate and radial tree growth show clear reactions to the thermoclimate of winter periods. Along the climatic transect, with its clear gradient of features of continentality, the differences between west and east are most sharply-defined in winter. Woodward (1990, 1991, 1996) and Woodward and McKee (1991) assigned a major role to minimum temperatures, which in their view shaped the distribution of forest types in the cool temperate zone.

Like that of other groups, the diversity of the soil macrofauna is greater further to the east. However, the opposite trend applies to the abundance and biomass of this group of animals, which show a statistically-significant decrease as the climate cools and temperature amplitudes increase further east (Olechowicz).

#### THE FOREST-POLLUTION RELATIONSHIP

The rates of decomposition of litter are some 6–10% lower at the three “Silesian” sites than elsewhere. Sites near the German border, where pollution comes in from the west, are also characterized by a rather lower rate of decomposition. Breymeyer *et al.* (1997) suggest that inter-site differences in rates of decomposition are mainly conditioned by the chemical composition of the litter and soil.

Where the influence of sulphur dioxide on the soil macrofauna was concerned, all the ecosystems studied showed an inverse correlation with the abundance and biomass of ants, while the mixed pine forest sites were characterized by lower biomass of the macrofauna as a whole. In contrast, direct correlations with concentrations of pollutants were found for the abundance and biomass of aphids at all sites, and for beetle larvae in mixed pine forest.

Analysis of pine needles revealed higher levels of pollution in Silesia and near Poland’s western border (Wawrzoniak and Małachowska 1994). However, traces of such a distribution of pollutants were not found in the upper horizons of soil profiles (Degórski).





Fot. 1. Subborealny bór sosnowy ze świerkiem  
Subboreal pine forest with spruce. Fot. J. Solon



Fot. 2. Bór mieszany  
Mixed pine forest. Fot. J. Solon

<http://rcin.org.pl>



Fot. 3. Powierzchnia opadowa  
Sampling plot for litter-fall. Fot. A. Breymeyer



Fot. 4. Stanowiska z workami ściółkowymi na dekompozycję  
Decomposition plot with litterbags. Fot. A. Breymeyer





Fot. 5. Zbiór opadu przez A. Breymeyer  
Sampling of litter-fal by A. Breymeyer. Fot. E. Roo-Zielińska



Fot. 6. Członkowie ekspedycji  
Members of expeditions. Fot. E. Roo-Zielińska

<http://rcin.org.pl>



Fot. 7. Profil gleby bielicowej  
Podzolic soil. Fot. M. Degórski



Fot. 8. Profil gleby rdzawej  
Rusty soil. Fot. M. Degórski



WYDAWNICTWA IGiPZ PAN  
VARIA

- Bibliografia Geografii Polskiej 1991, 1997, 290 s.  
Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce, Zeszyt 5. Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576–1870, 1984, cz. 1, 109 s., cz. 2 tab. 220, zł 12, –  
Katalog dawnych map Rzeczypospolitej w kolekcji Emeryka Hutten-Czapskiego i w innych zbiorach. Oprac. W. Kret, 1978, 164 s., 37 map; T. 2. Mapy XVIII wieku. Oprac. T. Paćko, D. Stachnal-Talanda, E. Gołąb-Jankowska, 1992, 250 s., 56 map, zł 25, –

WYKAZ ZESZYTÓW CONFERENCE PAPERS

1. Restructuring of economies and regional development, 1988, 156 s.
2. Natural environment of suburban areas as development factor of big cities, 1988, 184 s.
3. The state, modes of production and world political map, 1989, 186 s.
4. Problemy współczesnej topoklimatologii / Problems of contemporary topoclimatology, 1990, 226 s.
5. Agricultural classifications. A review of methodology, 1990, 69 s.
6. Global change regional research centres, 1990, 181 s.
7. The impact of urbanization upon rural areas, 1990, 272 s.
8. The processes of depopulation of rural areas in Central and Eastern Europe, 1990, 322 s.
9. Przestrzenne problemy zdrowotności / Spatial problems of health, 1990, 322 s.
10. Evolution of population and economic activities in urban regions, 1990, 168 s.
11. Geograficzne badania nad płodnością / Geographical research on fertility, 1991, 123 s.
12. Restructuring and spatial strategy, 1991, 203 s.
13. Impact des mutations structurelles sur le développement territorial en Europe, 1991, 215 s., zł 2, –
14. Sesja naukowa IGiPZ PAN 1991 / Annual Conference 1991, 1991, 156 s., zł 2, –
15. Housing and urban policy in transition, 1992, 112 s., zł 2, –
16. Geographical issues of social and economic transformation of contemporary Japan and Poland, 1992, 158 s., zł 2, –
17. Współczesna geografia polityczna / Contemporary political geography, 1993, 128 s., zł 2, –
18. Geography of organic matter production and decay, SCOPE Seminar, Szymbark, September 11–18. 1991, 1993, 188 s., zł 3, –
19. Climate and atmospheric deposition studies in forests. International Conference, Nieborów, October 6–9. 1992, 1994, 276 s., zł 15,–
20. Przemiany środowiska przyrodniczego Karpat i Kotlin Podkarpackich / Environmental changes of the Carpathian and Subcarpathian Basins, 1995, 124 s., zł 9,–
21. EURO–MAB IV. Mountain zonality facing global change, 1995, 176 s., zł 10,–/18,–
22. Polish eastern border. Past and present problems, 1995, 96 s., zł 8,–/14,–
23. Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą / Recent Polish climatological investigations in Poland and abroad, 1995, 236 s., zł 16,–/24,–
24. Urban and regional issues in geographical research in Poland and Italy, 1995, 168 s., zł 10,–/18,–
25. Przemiany struktury przestrzennej obszarów wiejskich w strefach podmiejskich Polski i Rumunii. Materiały seminarium polsko-rumuńskiego, Warszawa 12–16 VI 1995, 1996, 116 s., zł 8,–/14,–

**WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ**  
**z ostatnich lat**

**1994**

- 1-2. A. S. KOSTROWICKI, J. SOLON (red.) – Studium geobotaniczno-krajobrazowe okolic Pińczowa, 197 s., zł 10,-
  - 3-4. A. DZIEWULSKA – Przemiany struktury przestrzennej chowu zwierząt gospodarskich w Polsce w latach 1970–1988, 77 s., zł 10,-
  - 5-6. T. KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk. Czterdzieści lat działalności 1953–1993, 138 s., 8 zał.
- SUPLEMENT (5–6) – D. GAZICKA – Wybrane publikacje pracowników Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk wydane w latach 1953–1993, 69 s., zł 10,-

**1995**

1. S. KOZARSKI – Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (~20 ka → 10 ka BP), 84 s., zł 5,20,-
2. P. GĘBICA – Ewolucja doliny Wisły pomiędzy Nowym Brzeskiem a Opatowcem w wistulianie i holocenie, 92 s., zł 5,20,-
3. A. GAWRYSZEWSKI – Mapy narodowościowe, wyznaniowe i językowe Polski wykonane przez autorów obcych. Bibliografia (lata 1846–1967), s. 102, zł 6,-

**1996**

4. A. KOTARBA (red.) – Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach – II, s. 70, zł 6,-

**1997**

5. E. CZYŻOWSKA – Zapis zdarzeń powodziowych na pograniczu boreału i atlantyku w osadach stożka napływowego w Podgrodziu, s. 74, zł 7,-
6. T. KALICKI (red.) – Badania ewolucji dolin rzecznych na Białorusi – I, s. 111, zł 10,-
7. A. GAWRYSZEWSKI – Przestrzenna ruchliwość ludności Polski. Bibliografia (lata 1896–1990), s. 160, zł 12,-
8. L. STARKEL (red.) – Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku), s. 108, zł 15,-

**1998**

9. M. BANACH – Dynamika brzegów dolnej Wisły, s. 76, zł 15,-
10. M. BŁASZKIEWICZ – Dolina Wierzycy, jej geneza oraz rozwój w późnym plejstocenie i wczesnym holocenie, s. 116, zł 18,-
11. L. STARKEL (red.) – Geomorfologiczny i sedymentologiczny zapis lokalnych ulew, s. 107, zł 15,-
12. A. KOTARBA (red.) – Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach – III, s. 67, zł 15,-