



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Relacje między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych

Author: Oimahmad Rahmonov

Citation style: Rahmonov Oimahmad. (2007). Relacje między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych. Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

OIMAHMAD RAHMONOV

Relacje między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych



**Relacje między roślinnością i glebą
w inicjalnej fazie sukcesji
na obszarach piaszczystych**

Żonie Małgosi oraz Synkowi Kamilowi

PRACE
NAUKOWE



UNIwersytetu
Śląskiego
w Katowicach

NR 2506

OIMAHMAD RAHMONOV

**Relacje między roślinnością i glebą
w inicjalnej fazie sukcesji
na obszarach piaszczystych**



Redaktor serii: Nauki o Ziemi **ANDRZEJ T. JANKOWSKI**

Recenzenci **KRYSTYNA FALIŃSKA**
URSZULA POKOJSKA



Redaktor: **GRAŻYNA WOJDAŁA**
Redaktor techniczny: **BARBARA ARENHÖVEL**
Korektor: **LIDIA SZUMIGAŁA**

Copyright © 2007 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-1637-6

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Nakład: 200 + 50 egz. Ark. druk. 25,0.
Ark. wyd. 21,0. Przekazano do łamania w styczniu
2007 r. Podpisano do druku w marcu 2007 r. Papier
offset kl. III, 90 g. Cena 38 zł

Druk i oprawa
Czerny Marian. Firma Prywatna GREG
Zakład Poligraficzny
ul. Wrocławska 10, 44-100 Gliwice

1. Wstęp

Szata roślinna, a także pokrywa glebowa stanowią efekt wzajemnych związków między komponentami środowiska przyrodniczego, takimi jak skała macierzysta, ukształtowanie terenu, klimat oraz stosunki wodne. Te zależności mają charakter sprzężenia zwrotnego. Dlatego badania nad roślinnością bez uwzględnienia gleby oraz innych cech siedliska nie pozwalają dobrze poznać przemian zachodzących w fitocenozie. Procesom sukcesji roślinności na piaskach poświęcono wiele prac. Natomiast niewiele jest opracowań, w których uwzględniono ścisły związek między stadiami rozwoju roślinności i gleb.

Ekologiczne i gleboznawcze aspekty sprzężenia zwrotnego między roślinnością i glebą od wieków wzbudzały zainteresowanie, konieczne stało się więc zrozumienie i wyjaśnienie tych złożonych zjawisk. Studia nad wpływem organizmów na glebę są ważną dziedziną badań gleboznawczych od czasów V.V. DOKUCHAEVA (1881). Wyróżnił on żywe organizmy jako jeden z pięciu czynników glebotwórczych. O ile gleba wykazuje wyraźną zależność od czterech względnie stałych czynników (klimatu, skały macierzystej, topografii i czasu), o tyle piąty czynnik — organizmy żywe — był postrzegany jako bardziej dynamiczny i tym samym trudny do zbadania. H. JENNY (1980) opisał to w następujący sposób: „jak każdy inny widzę, że roślinność wpływa na glebę i gleba wpływa na roślinność, prawdziwe błędne koło, którego próbowałem uniknąć”. Usiłując przerwać to błędne koło, Jenny przyjął dopływ nowych osobników i propagul jako czynnik biotyczny.

W ekosystemie są takie gatunki, które bezpośrednio lub pośrednio wpływają na dostępność

składników pokarmowych dla innych gatunków przez zmianę stanu elementów biotycznych i abiotycznych siedlisk. Przez C.G. JONESA, J.H. LAWTONA, M. SCHACHAKA (1994, 1997) zostały nazwane „inżynierami ekosystemowymi” (*ecosystem engineers*). Wyróżnili oni także pojęcie „inżynierów autogenicznych” (*autogenic engineers* — np. krzewy, drzewa), tj. organizmów zmieniających środowisko przez własne struktury fizyczne (np. żywe i martwe tkanki), oraz pojęcie „inżynierów allogenicznych” (*allogenic engineers*) — organizmów, które przekształcają żywy lub martwy materiał z jednego stanu fizycznego w inny. Autorzy ci sugerowali, że efekty działalności „inżynierów ekosystemowych” często wywołują reakcję zwrotną na kondycję ich samych oraz ekosystemu, w którym funkcjonują. W tym przypadku mogą być uważane za organizmy o rozszerzonych fenotypach (*extended phenotypes*) — uprzywilejowanych w procesie selekcji naturalnej (DAWKINS, 1982). Chemiczne i fizyczne właściwości gleb pozostają pod wpływem organizmów glebowych, większych zwierząt i roślin (VAN BREEMEN, 1993), w tym przypadku zatem gleba jest produktem działalności „inżynierów ekosystemowych”. Wiele właściwości gleb, na które wpływ mają rośliny (np. odczyn i dostępność składników pokarmowych), jest również ważnych dla wzrostu i przetrwania samej rośliny. Na obszarze Pustyni Błędowskiej za inżynierów ekosystemowych można uznać sinice, glony, wierzby piaskowe i wierzby ostrolistne, które w dużym stopniu oddziałują na akcelerację sukcesji oraz tworzenie się gleby i zmiany jej właściwości w początkowym etapie rozwoju. Z tego

powodu gleba może być też uważana za element „rozszerzonego fenotypu” rośliny, a zależność w postaci sprzężenia zwrotnego między poszczególnymi gatunkami roślin i ich środowiskiem glebowym może wywoływać następstwa ewolucyjne (VAN BREEMEN, FINZI, 1998).

Dogodną podstawą do dyskusji na temat wpływu roślin na właściwości gleby są trzy modele sukcesji (ułatwiania, tolerancji, zahamowań) proponowane przez J.H. CONNELLA i R.O. SLATYERA (1977). We wszystkich trzech przypadkach zarówno gatunki występujące we wczesnych, jak i późniejszych stadiach sukcesji zasiedlają nisze w tym samym czasie. W modelu ułatwiania (*facilitation*) wzrost gatunków późnych etapów sukcesji zależy od obecności gatunków wcześniejszych faz, które zmieniają dostępność substancji odżywczych w sposób, który wspomaga przeżywalność gatunków późniejszych stadiów sukcesji. W modelu tolerancji (*tolerance*) wszystkie gatunki osiągają dojrzałość w obecności gatunków wczesnosukcesyjnych. Gatunki późnosukcesyjne ostatecznie wypierają wczesnosukcesyjne, ponieważ te nie mogą tolerować spadku dostępności składników odżywczych w trakcie sukcesji. W modelu zahamowań (*inhibition*) wszystkie ga-

tunki opierają się inwazji konkurentów. Pierwszy zajmujący siedlisko gatunek wyklucza bądź hamuje kolonizację późniejszych gatunków do czasu swej naturalnej śmierci albo zniszczenia mechanicznego. Dopiero wówczas uwalnia potrzebne składniki odżywcze, pozwalając kolejnym kolonistom na wkroczenie i osiągnięcie dojrzałości. We wszystkich trzech modelach kolonizacja gatunków uwarunkowana jest m.in. rodzajem siedliska oraz dostępnością składników pokarmowych.

Przedstawione zagadnienia skłoniły autora do podjęcia badań nad relacją między regenerującą się pokrywą roślinną i glebową na piaszczystym obszarze Pustyni Błędowskiej. Obiekt ten okazał się modelowy, ponieważ dobrze znana jest tu historia rozwoju roślinności i pokrywy glebowej.

Formułując cele pracy, autor zadał sobie pytanie, czy wpływ roślin na chemiczne i fizyczne właściwości gleb ma odzwierciedlenie w tempie procesów sukcesyjnych. Odpowiedź na to pytanie wymagała skoncentrowania się na badaniach zbiorowisk roślinnych oraz pojedynczych edyfikatorów. Wybrane gatunki (edyfikatory) mają wyjątkowo duży wpływ na właściwości gleby i organizację ekosystemu na tym obszarze.

Podziękowanie

Podczas wykonywania niniejszej pracy korzystałem z pomocy wielu osób, którym tą drogą pragnę wyrazić serdeczne podziękowanie. Przede wszystkim wyrażam głęboką wdzięczność Profesorowi Andrzejowi Czyłokowi oraz pracownikom Zakładu Biogeografii i Ochrony Przyrody za cenne rady i wskazówki.

Szpecially serdecznie dziękuję recenzentom wydawniczym: Profesor Krystynie Falińskiej z Instytutu Botaniki Polskiej Akademii Nauk w Krakowie za niezwykle cenne wskazówki dotyczące dynamiki roślinności oraz Profesor Urszuli Pokojskiej z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu za wnikliwe uwagi i sugestie, dzięki którym praca nabrała klarowności i precyzji. Obie recenzje przyczyniły się do poprawy ostatecznego kształtu pracy.

Bardzo dziękuję wszystkim uczestnikom seminariów geobotanicznych odbywających się w Białowieży pod kierunkiem śp. Profesora Janusza Bogdana Falińskiego za liczne dyskusje i konsultacje. Dziękuję również ośrodkom naukowym w Polsce (Zakład Gleboznawstwa UMK; Zakład Gleboznawstwa i Geografii Gleb UJ; Instytut Botaniki PAN), w Rosji (Instytut Geografii, Laboratorium Geografii i Ewolucji Gleb RAN), w Słowacji (Instytut Ekologii Krajobrazu), w Tadżykistanie (Instytut Gleboznawstwa, Narodowy Uniwersytet Tadżycki) oraz na Węgrzech (Uniwersytet Debreczyński) — za przedyskutowanie niektórych problemów oraz za udostępnienie księgozbiorów.

Bardzo serdecznie dziękuję Profesorowi Tadeuszowi Szczepkowi za pomoc w redagowaniu

pracy, za rady, jakich zawsze chętnie mi udzielał i za stałe zainteresowanie postępem pracy, oraz Profesorowi Zbigniewowi Śnieszce za dyskusje i sugestie podczas wyjazdów terenowych.

Pragnę także wyrazić wdzięczność pracownikom Laboratorium Naukowo-Dydaktycznego Katedr Geograficznych Uniwersytetu Śląskiego za pomoc w wykonywaniu analiz chemicznych.

Chciałbym również złożyć podziękowanie Koleżce mgr. Mirosławowi Kręciale za staranne i estetyczne wykonanie szaty graficznej.

Dziękuję także mojej Żonie mgr Małgorzacie Rahmonov za pomoc podczas opracowywania materiałów i redakcji pracy. Na koniec najcieplejsze podziękowania winien jestem Mojej Rodzinie z Artucza (Tadżykistan), która zawsze we mnie wierzyła.

2. Przegląd literatury

2.1. Stan badań nad dynamiką roślinności obszarów piaszczystych

Ludzie od stuleci interesują się zmianami w środowisku przyrodniczym, powstającymi z przyczyn naturalnych (wulkany, lawiny, osuwiska) lub antropogenicznych (wycinanie lasów, kłusownictwo, rolnictwo, melioracje). Obszar Pustyni Błędowskiej jest takim przykładem. W wyniku niszczenia lasów już w średniowieczu powstały rozległe obszary ruchomych piasków, co w konsekwencji przyczyniło się do inicjacji procesów sukcesji roślin psammofilnych na odsłoniętych piaskach, których skałę macierzystą stanowią przede wszystkim piaski kwarcowe.

Po średniowiecznej katastrofie ekologicznej spowodowanej działalnością człowieka (wycinanie i karczowanie lasów) powstała antropogeniczna „pustynia” w klimacie umiarkowanym, która utrzymywała charakter krajobrazu pustynnego aż do lat 50. ubiegłego wieku. Jedynymi dokumentami przedstawiającymi krajobraz Pustyni Błędowskiej są materiały o charakterze popularnonaukowym, które nie oddają jednak w pełni istoty rzeczy, tj. zmian zachodzących w środowisku. Do materiałów wiarygodnych, dokumentujących zmiany elementów krajobrazu, należą mapy topograficzne (nawet jeśli są generalizowane) oraz czarno-białe zdjęcia lotnicze z lat 50. XX wieku. Te ostatnie jednoznacznie wskazują, że obszar obecnej Pustyni Błędowskiej był w tamtym okresie niemal zupełnie pozbawiony roślinności. Tak długie utrzymywanie się pól nagich piasków było uwarunkowane

ingerencją człowieka, przede wszystkim zaś aktywnością wojskową.

Proces sukcesji i towarzysząca mu działalność człowieka jest obserwowana od wielu wieków (CLEMENTS, 1928), a ekolodzy na całym świecie dokumentują te zmiany od ponad stu lat. Do pierwszych badaczy, którzy sformułowali koncepcję dynamiki roślinności, obserwując sukcesję pierwotną na wydmach, należą E. WARMING (1891, 1895) i H.C. COWLES (1899, 1901). F.E. CLEMENTS (1916, 1928, 1936) szczegółowo rozwijał teorię sukcesji, która do dziś jest tematem dyskusji wśród ekologów (za FALIŃSKA, 1996). W literaturze dyskutowane są też rozmaite teoretyczne koncepcje dotyczące ogólnego procesu sukcesji i jego mechanizmu w różnorodnych ekosystemach (CLEMENTS, 1916; GLEASON, 1926; EGLER, 1954; ODUM, 1969; PICKETT, 1976; CONNELL, SLATYER, 1977; MAC MAHON, 1980; NOBLE, SLATYER, 1980; PEET, CHRISTENSEN, 1980; PICKETT, COLLINS, ARMESTO, 1987; PICKETT, McDONNELL, 1989; TILMAN, 1985, 1990a, 1990b, 1993; FALIŃSKI, 1977, 1986a, 1986b, 2004; FALIŃSKA 1991, 2003; FALIŃSKI i in., 1993; BAZZAZ, 1996).

Przebieg sukcesji i rozwój gatunków kolonizujących obszary piaszczyste, jak podają niektórzy autorzy (LACHE, 1976; BERGER-LANDEFELDT, SUKOPP, 1965; EDMONDSON, GATELEY, STURGESS, 1993; RODE i in., 1993; QUINGER, MEYER, 1995; ELGERSMA, 1998; WEIGELT, 2001; FROMM i in., 2002; JENTSCH, BEYSCHLAG, 2003), jest uzależniony głównie od czynników klimatycznych, odczynu gleby, dostępności wody, rodzaju podłoża i jego zasobności, dostępności składników pokarmowych, rozmiaru i skali zaburzeń oraz banku nasion.

Badania nad rozwojem i funkcjonowaniem otwartych ekosystemów piaszczystych zaowocowały dużą liczbą publikacji o ekologii i dynamice roślinności ksero- i psammofilnej. Większość artykułów skupia się na składzie gatunkowym oraz na przebiegu sukcesji w obrębie kontynentalnych muraw napiaskowych (COWLES, 1899; OLSON, 1958; HOHENESTER, 1960; TUXEN, 1957, 1975; BERGER-LANDEFELDT, SUKOPP, 1965; ZIELIŃSKA, 1967; PHILIPPI, 1971; JECKEL, 1975, 1984; KORNECK, 1978; LACHE, 1976; GIMINGHAM i in., 1979; ELLENBERG, 1986; PILOTEK, NEZADAL, 1989; CZYZEWSKA, 1992; POTT, 1992; EDMONDSON i in., 1993; PHARO, KIRKPATRICK, 1994; FREY, HENSEN, 1995; KLEMM, RISTOW, 1995; SHALTOUT i in., 1995; SCHARF, LOSCH, 1997; TISCHEW, MAHN, 1998; FISCHER, 1998; WIESBAUER, MAZZUCCO, 1999; SCHWABE i in., 2000; JENTSCH i in., 2002) na wydmach nadmorskich i śródlądowych (PIOTROWSKA, CELIŃSKI, 1965; KACHI, HIROSE, 1983; KLINKHAMER, DE JONG, 1988; PIOTROWSKA, 1988; SYKES, WILSON, 1990; OLFF i in., 1993; MAUN, 1994; MARTINEZ, MAUN, 1999; CHADWICK i in., 1965; KOBENDZINA, 1969; SYMONIDES, 1979a, b; GROOTJANS i in., 2001). Przebieg sukcesji był śledzony m.in. także za pomocą zdjęć lotniczych (OLSON, 1958; SOCHAVA, 1962; LICHTER, 1998a; FALIŃSKA, 2003; FALIŃSKI, 2004 i inni). Większość wymienionych badań prowadzono w Europie, zwłaszcza na terenie Niemiec.

Wiele badań poświęcono znaczeniu i roli azotu dostępnego dla rozwoju sukcesji i konkurencji międzygatunkowej w ubogich w składniki pokarmowe ekosystemach piaszczystych, zarówno w warunkach naturalnych jak i eksperymentalnych, w celu wyjaśnienia tempa i rozwoju sukcesji zachodzącej na piaskach o różnym stopniu zasobności w składniki pokarmowe, uznając je za ważny czynnik hamujący lub przyspieszający procesy sukcesji (HEIL, DIEMONT, 1983; HELSPER i in., 1983; BERENDSE, ELBERSE, 1990; BOOT, DEN DUBBELDEN, 1990; AERTS i in., 1991; RODE i in., 1993; RODE, 1995; VAN RHEENEN i in., 1995; BOBBINK i in., 1998; STORM i in., 1998; WEIGELT, 2001; RAHMONOV, KRĘCIAŁA, 2004). Są to studia dotyczące także specyficznego przystosowania gatunków roślin oraz ich roli w akceleracji sukcesji w ekstremalnych ekologicznie warunkach środowiskowych, decydujących o dalszym roz-

woju i funkcjonowaniu biogeocenoz piaszczystych (HUNTLY, INOUE, 1988; DEJONG, KLINKHAMER, 1988; BERNHARDT, 1989; MCINTYRE i in., 1995; DANIN, YOM-TOV, 1996; GARCIA-MORA i in., 1999). Prowadzono też badania nad znaczeniem zaburzeń w dynamice roślinności murawowej i trawiastej na podłożach o różnej zasobności (PICKETT, WHITE, 1985; GIBSON, 1989; HOBBS, MOONEY, 1995; VAN DER MAAREL, 1996; FIELDS i in., 1999). Jednakże podobnych badań w ekosystemach piaszczystych jest stosunkowo mało (LOUCKS i in., 1985; BROWN, HESKE, 1990; BOEKEN i in., 1997; FIELDS i in., 1999; FRIEDRICH, 2001; JENTSCH, BEYSCHLAG, 2003). Mimo licznych studiów trwałość i charakter sukcesji zbiorowisk roślinnych na niestabilnych piaskach i wydmach śródlądowych są niewystarczająco poznane, zwłaszcza pod względem siedliskowym (TISCHEW, MAHN, 1997). Większość prac nad ekosystemami piaszczystymi obejmuje często tylko opisy typowych stadiów sukcesji oraz charakterystykę zmian i kompozycji gatunkowych (HOHENESTER, 1960, 1967a, b; FELINKS, 2000; WEIGELT, 2001; JENTSCH i in., 2002; FROMM i in., 2002). Niewiele jest prac, które dotyczyłyby roli warunków siedliskowych w procesie sukcesji (CROCKER, MAJOR, 1955; PIOTROWSKA, CELIŃSKI, 1965; WOJTERSKI, 1993; WALKER, 1999; JENTSCH, BEYSCHLAG, 2003).

Najlepszym przykładem zarastania obszarów otwartych piasków śródlądowych w Polsce jest Pustynia Błędowska. Badania nad sukcesją roślinności na tym obszarze, zwłaszcza w aspekcie siedliskowym, nie doczekały się dotąd szczegółowego opracowania. Pierwszych ogólnych badań terenowych nad sukcesją dokonali T. SZCZYPEK, S. WIKA i J. WACH (1994), wraz z opracowaniem dotyczącym zmian w rozmieszczeniu roślinności na podstawie zdjęć lotniczych (SZCZYPEK, WIKA, 1988). Są to jednak prace o charakterze ogólnym, które nie omawiają szczegółowo procesu sukcesji roślinności muraw napiaskowych na tym terenie. Wiele prac poświęconych jest ochronie ekosystemów Pustyni Błędowskiej (por. ALEXANDROWICZOWA, 1962), zwłaszcza zespołu *Cochlearietum polonica* (KWIAKOWSKA, 1957, 1962; CELIŃSKI, WIKA, 1981), znajdującego się jeszcze 15 lat temu w strefie źródliskowej już nieistniejącej wówczas rzeki Białej.

2.2. Stan badań nad rozwojem gleb piaszczystych

Klasyczna teoria genezy gleb głosi, że tworzą się one lub rozwijają progresywnie pod wpływem czynników środowiskowych (glebotwórczych), zarówno biotycznych jak i abiotycznych. Rozwój ten trwa dopóty, dopóki gleba nie osiąga stanu klimaksowego, charakterystycznego dla danej strefy klimatyczno-glebowej oraz zasadniczo nie zmienia się, chyba że proces ten zostanie przerwany przez niszczące procesy geomorfologiczne (DUCHAUFOR, 1968; HUGGETT, 1998). Idea ta nawiązuje do koncepcji cyklu geograficznego W.M. DAVIS (1909), zakładającej, że krajobraz rozwija się progresywnie od młodszego do dojrzałego (por. także MARKOV, 1948). Podobne założenia znalazły swój wyraz w rozwoju poglądów o sukcesji roślinności proponowanych przez H.C. COWLESA (1899) i F.E. CLEMENTSA (1916), którzy twierdzili, że każda odsłonięta powierzchnia będzie kolonizowana i będzie się rozwijać progresywnie, dopóki roślinność nie osiągnie stanu klimaksowego dla danego regionu klimatycznego.

Pod koniec XIX wieku rosyjski gleboznawca V.V. DOKUCHAEV (1881, 1883) i w początkach XX wieku amerykański gleboznawca E.W. HILGARD (1906) podkreślili rolę i znaczenie roślinności w formowaniu się gleb. W tym samym okresie P.E. MÜLLER (1884) wykazał, jak głębokie zmiany zaszły w glebie, gdy las dębowy na glebach piaszczystych został zastąpiony przez las bukowy oraz gdy na miejscu brunatnych gleb leśnych rozwinęły się gleby bielcowe. Zmiany te były spowodowane rozwojem roślinności, a w konsekwencji ich wpływem na właściwości środowiska glebowego. Badania nad wspólnym formowaniem się gleby i pokrywy roślinnej zostały zapoczątkowane w końcu XIX wieku i kontynuowane są do dnia dzisiejszego, zarówno na poziomie ekosystemowym (np. COWLES, 1899; SALISBURY, 1922, 1925; CROCKER, MAJOR, 1955; MILES, 1985; MOKMA, VANCE, 1989; VEJRE, EMBORG, 1996; DEGÓRSKI, 1998, 2001; VAN BREEMEN, LUNDSTRÖM, JONGMANS, 2000; BEYER, PINGPANK, WRIEDT, BOTLER, 2000; QUIDEAU, CHADWICK, BENESI, GRA-

HAM, ANDERSON, 2001; FUJINUMA, BOCKHEIM, BLASTER, 2005), jak i pojedynczego gatunku (np. ZINKE, 1962; VIKTOROV, 1980; CRAMPTON, 1982; MILES, 1985a; NORDÉN, 1994a, b; BINKLEY, 1995; DZWONKO, LOSTER, 1996; STUTZER, 1998; BINKLEY, GIARDINA, 1998; CERTINI, UGOLINI, CORTI, AGNELLI, 1998; WEZEL, RAJOT, HERBRIG, 2000; BEDNAREK i in., 2002; RAHMONOV, MALIK, ORCZEWSKA, 2004). Ostatnio ukazały się prace o problematyce interakcji roślina — gleba w aspekcie ekologicznym i następstwach ewolucyjnych (VAN BREEMEN, FINZI, 1998), wpływie roślinności na wietrzenie minerałów (KELLY i in., 1998), interakcji roślina — gleba na pustyniach (SCHLESINGER, PILMANIS, 1998), łąkach (BURKE i in., 1998) i w ekosystemach leśnych (VEJRE, EMBORG, 1996), przedstawiające ścisły związek między zbiorowiskami roślinnymi i pokrywą glebową. Badania nad procesami formowania się gleby i dalszego jej rozwoju często prowadzi się na obszarach piaszczystych (wydmy nadmorskie, śródlądowe), na których pokrywa glebowa została zniszczona aż do skały macierzystej na skutek procesów naturalnych lub antropogenicznych (JUNGERIUS, VAN DER MEULEN, 1988; MCBRIDE, WILSON, 1991; BARRET, SCHAEZTL, 1998; RAHMONOV, 1998; JANKOWSKI, 2000, 2001; AMIOTTI, BLANCO, SANCHEZ, 2001; WILSON, 2001; JANKOWSKI, BEDNAREK, 2000, 2002 i inni). Takie obszary nadają się do śledzenia rozwoju pokrywy roślinno-glebowej od momentu inicjacji. Inni badacze prowadzący badania nad rozwojem gleby (OVINGTON, 1950, 1951; WRIGHT, 1956; GAULD, 1981; JAMES, WHARFE, 1989) zwracali uwagę na zmiany morfologiczne, chemiczne i fizykochemiczne gleb na wydmach jako konsekwencję zalesienia tych form gatunkami iglastymi (gdzie również stwierdzono pojawienie się inicjalnej bielicy, zwanej mikropodzolem), a także na wpływ warunków klimatycznych na procesy i właściwości gleby (CROCKER, DICKSON, 1957; DAHLGREN, BOETTINGER, HUNTINGTON, AMUNDSON, 1997). Tego typu zagadnienia nie należą w Polsce do często podejmowanych przez badaczy.

Proces formowania się pokrywy glebowej zachodzi równolegle z sukcesją roślinności, z tą różnicą, że jego tempo jest wolniejsze. Rozwój gleby, poza organizmami żywymi, jest uwarun-

kowany czynnikami klimatycznymi, skałą macierzystą i topografią (DOKUCHAEV, 1949; WILSON, 1960; JENNY, 1941, 1980; SKIBA, 1985). Jest to proces bardzo powolny, zwłaszcza podczas sukcesji pierwotnej. Nie ma więc możliwości bezpośredniego zmierzenia tych zmian. W celu ich ustalenia korzysta się z chronosekwencji gleb, często z założeniem, że starsze powierzchnie przeszły taki sam proces rozwoju gleby jak powierzchnie młodsze (PICKET, 1989; FASTIL, 1995). Dlatego czas jako czynnik glebotwórczy jest najważniejszy i podstawowy wówczas, gdy różnicuje stadia rozwoju tej samej gleby. W miarę upływu czasu poszczególne komponenty ekosystemu, w tym gleby, ewoluują pod wpływem dominujących czynników środowiskowych, biotycznych i abiotycznych. Najlepszym instrumentem w badaniu tempa i kierunków procesów glebotwórczych oraz ewolucji całego krajobrazu jest chronosekwencja glebowa ze współczesnymi zbiorowiskami roślinnymi, procesy ewolucyjne bowiem zachodzą także obecnie. Każde prowadzone badanie na konkretnym odcinku okresu ewolucji daje dodatkowe informacje i wzbogaca wiedzę o przebiegu jakiegoś procesu. Na zróżnicowanym wiekowo rzeczywistym zbiorowisku roślinnym można badać aktualny stan gleby, który będzie podstawą do dalszych obserwacji i rejestracji dynamiki procesów glebowych. Taki sposób podejścia do poznania mechanizmów rozwoju i ewolucji gleby na bazie chronosekwencji w różnych środowiskach (moreny, osuwiska, wyrobiska, wydmy itp.) przedstawił m.in. R.J. HUGGETT (1998).

Gleby w trakcie rozwoju zapisują w swej pamięci większość zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym pod wpływem czynników biotycznych oraz abiotycznych i zachowują je (SOKOLOV, TARGULIAN, 1976; BEDNAREK, 1991, 2000). Są one określane jako zwierciadło krajobrazu (KARPACHEVSKI, 1983). Proces rozwoju gleby i jej formowania się ma charakter złożony, może zmieniać swoje tempo i kierunek (PRUSINKIEWICZ, 1968; LODHI, 1977; CRAMPTON, 1982; STUTZER, 1998; CERTINI, UGOLINI, CORTI, AGNELLI, 1998) zarówno pod wpływem naturalnych czynników środowiskowych, jak i antropogenicznych (BARRETT, SCHAEZTL, 1998; JANKOWSKI, BEDNAREK,

2000), a może mieć też charakter regresywny (JANKOWSKI, BEDNAREK, 2000, 2002).

Na obszarach pozbawionych pokrywy glebovej w wyniku procesów zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych procesy glebowe są inicjowane przez glony. Większość gleboznawców zajmujących się glebami inicjalnymi z uwagi na trudności badawcze w ogóle nie podejmuje próby oznaczania glonów i poznania ich roli w procesach glebotwórczych lub wręcz ich nie zauważa. Jednakże flora naziemnych glonów glebowych oraz ich rola w procesach formowania się gleb na obszarach odkształconych antropogenicznie i naturalnie były przedmiotem licznych badań specjalistycznych (np. GOLLERBAKH i in., 1956; STARKS, SHUBERT, 1982; LUKEŠOVÁ, KOMÁREK, 1987; LUKEŠOVÁ, 2001 oraz CABALA, RAHMONOV, 2004). W znakomitej większości prac autorów zachodnich glony glebowe utożsamia się z biologiczną skorupą glebową.

Problematykę relacji roślina — gleba rozpoczęto w Polsce na początku lat 60. ubiegłego wieku. Obejmowała ona głównie zagadnienia geobotaniczno-gleboznawcze oraz ekologiczne. Badania fitosocjologiczno-gleboznawcze o charakterze wycinkowym prowadzono m.in. w Puszczy Bukowej pod Szczecinem (CELINSKI, 1962), w dolinie Małej Łąki w Tatrach (ADAMCZYK, 1962) i w Bieszczadach (MICHALIK, SKIBA, 1995), zagadnienia zaś interakcji między roślinnością a glebą przedstawiają prace m.in. R. DĘBICKIEGO i P. SKŁODOWSKIEGO (1999), R.T. WALCZAKA (1999), J. KOBUSA (1999) oraz R. BEDNAREK i in. (2002). Już w 1979 roku R. BEDNAREK zwróciła uwagę na rolę roślinności jako najważniejszego czynnika w procesie formowania się i stabilizacji biogeocenozy obszarów nadmorskich, zwłaszcza na glebach formujących się na klifach. Na obszarze Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej oraz w obniżeniu Małej Panwi badania na siedliskach piaszczystych nad relacją roślinności z topografią terenu prowadzili T. SZCZYPEK i S. WIKI (1978, 1984, 1988) oraz S. KOBYLECKA (1981).

Ewolucja krajobrazu Pustyni Błędowskiej jest związana z utworami piaszczystymi pochodzenia wodno-lodowcowego lub proluwialno-rzeczno (LEWANDOWSKI, ZIELIŃSKI, 1990; SZCZYPEK, WACH, WIKI, 1994). Skutki procesów eolicznych i ich

morfo-genetyczne znaczenie w zmianach krajo-
brazu tego regionu są znane i udokumentowane
(ALEXANDROWICZOWA, 1962; SZCZYPEK, WACH,
WIKA, 1994). Na tworzenie się gleby na tym
obszarze duży wpływ wywierają procesy eoliczne.
Gleby Pustyni Błędowskiej nie były przed-
miotem badań, ponieważ obszar objęty procesami
deflacji i eolicznej akumulacji z natury rzeczy

jest pozbawiony pokrywy glebowej. Jednak od
momentu jego zarastania powinien być przedmio-
tem zainteresowania gleboznawców. Dotychczas
obszar ten nie doczekał się jednak szczegółowe-
go opracowania problemowego, które dotyczyło-
by wspólnego formowania się pokrywy roślinno-
-glebowej. Jedyne wstępne badania nad tym za-
gadnieniem prowadził O. RAHMONOV (1999).

3. Cele i zakres badań

Wstępne zapoznanie się z problemami procesów sukcesji pozwoliło na określenie zakresu badań i sformułowanie szczegółowych celów pracy, które dotyczą:

- poznania mechanizmów i tempa sukcesji w ujęciu historycznym i współczesnym;
- oceny roli organizmów niższych w inicjacji sukcesji;
- określenia wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych w procesie sukcesji;
- wyjaśnienia wpływu pojedynczych gatunków krzewów (*Salix arenaria* i *S. acutifolia*) i drzew (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Quercus robur*) na tempo i przebieg sukcesji serii borowej na obszarach piaszczystych;
- poznania relacji pomiędzy tworzącą się pokrywą roślinną i glebową w trakcie sukcesji pierwotnej i wtórnej;
- rozpoznania wpływu edyfikatorów na inicjację sukcesji i zmiany właściwości tworzących się gleb (w układzie roślina — gleba — roślina);
- poznania przestrzennych zmian fizykochemicznych właściwości gleby pod wpływem oddziaływań okapów różnych gatunków roślin;
- określenia wpływu gleby kopalnej na tempo wtórnej sukcesji.

Przedstawione w pracy zagadnienia dotyczą relacji między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych. Pustynia Błędowska z uwagi na swą specyfikę (brak gospodarki leśnej na większości terenu) stanowi modelowy obszar do obserwacji sukcesji roślinności i jej wpływu na proces tworzenia się gleby.

Pracę zrealizowano na podstawie analizy źródeł historycznych, głównie materiałów archiwalnych, a także na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych (1955, 1973, 1996) oraz map topograficznych, pochodzących z różnych okresów (1801—1933).

Oprócz wspomnianych analiz prowadzono badania terenowe nad dynamiką roślinności oraz inicjacją i rozwojem procesów glebowych pod wpływem sukcesji serii borowej we wszystkich jej fazach i stadiach. Dodatkowo, aby poznać relacje występujące między roślinnością i glebą pod wpływem pojedynczych gatunków, prowadzono badania nad przestrzenną zmiennością gleb i wkraczaniem różnych gatunków pod okapy krzewów i drzew. Bezpośrednie obserwacje i badania terenowe obejmowały lata 1994—2004.

4. Obiekt badań

Pustynia Błędowska jest jednym z ciekawszych — z krajobrazowego punktu widzenia — obszarów Polski. Stanowi przykład na pojęcie geograficzne pustyni, wprowadzone do literatury w drugiej połowie XIX wieku, będące określeniem rozległych terenów piaszczystych pozbawionych roślinności. Nie jest to, z oczywistych względów, prawdziwa pustynia klimatyczna, ale w ciągu 800—900 lat swego istnienia cechowała się specyficznym „pustynnym” krajobrazem.

Pustynia Błędowska leży we wschodniej części Wyżyny Śląskiej w sąsiedztwie górnojurajskiej kuesty Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. Nagromadzenie osadów piaszczysto-żwirowych o miąższości 60—70 m wiąże się z epoką plejstoceńską, przede wszystkim — jak wskazują najnowsze badania (LEWANDOWSKI, 1990) — z okresem zlodowacenia odry i wisły. Jest to głównie materiał pochodzenia rzeczno — ekstraglacialnego i rzeczno-proluwialnego, którego źródłem był obszar Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, gdzie nagromadził się on jako fluwioglacialny w czasie zlodowacenia krakowskiego i skąd później był wynoszony właśnie przez rzeki, wypełniając system głębokich (obecnie kopalnych) dolin wieku przedczwartorzędowego (SZCZYPEK, WACH, 1989 i in.).

Od początku holocenu na obszarze Pustyni Błędowskiej rósł gęsty las mieszany, w którego składzie, prawdopodobnie już od okresu subborealnego (5100 BP), zaczęła przeważać sosna (SZCZYPEK, WACH, WIKI, 1994). Tak było na Pustyni Błędowskiej do początku średniowiecza, kiedy wskutek rozwoju ówczesnego przemysłu wydobywczego rud ołowiu i srebra oraz ówczesnej metalurgii tych surowców lasy te wykorzy-

stywano jako paliwo do prymitywnych hut. Zostały one zniszczone, odsłaniając piaszczyste podłoże. W tych warunkach główną rolę morfogenetyczną — zresztą nie pierwszy raz w historii omawianego regionu — zaczęły odgrywać zachodnie i południowo-zachodnie wiatry, przede wszystkim jako czynnik deflacyjny. Z tego względu na obszarze ówczesnej Pustyni Błędowskiej rozpościerała się rozległa powierzchnia deflacyjna. Ponowne uruchomienie piasków eolicznych na tym terenie miało miejsce w XVI wieku na skutek takich samych przyczyn jak w średniowieczu. Należy więc stwierdzić, że „pustynny” krajobraz Pustyni Błędowskiej ma charakter antropogeniczny. Przez kolejnych kilkaset lat, aż do połowy XX wieku, najprawdopodobniej zachował on prawie taki charakter. Był to jeden z pierwszych na ziemiach polskich obszar odkształceń środowiska naturalnego spowodowanego zorganizowaną działalnością przemysłową. We wszystkich dostępnych opracowaniach dotyczących tego obszaru źródeł pustynnego charakteru upatruje się w działalności gospodarczej człowieka (RAHMONOV, 1999).

Do obszaru Pustyni Błędowskiej z północy i z południa przylegają kompleksy leśne. Takie leśne sąsiedztwo występuje też częściowo na granicy z doliną Białej Przemszy. W związku z tym na granicy między płaską powierzchnią piaszczystą i lasem utworzyły się charakterystyczne wydmowe wały brzeżne. Od lat 60. XX wieku oblicze Pustyni Błędowskiej zaczęło się szybko zmieniać w związku z wtórną ingerencją człowieka. Jednak charakter tej ingerencji był zupełnie inny niż wcześniej. Polegała ona nie na

niszczeniu roślinności, ale przeciwnie — na intensywnym jej wprowadzaniu w celu utrwalenia ruchomych piasków.

Od lat 70. ubiegłego wieku wyraźnie zmieniły się warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne omawianego obszaru. Jeśli do tego czasu poziom wód gruntowych zalegał na głębokości 3—8 m, to teraz dosyć gwałtownie obniżył się o kolejnych 20—30 m wskutek drenażu spowodowanego współczesną głębinową eksploatacją występujących po sąsiedzku rud cynku i ołowiu. Jednak ta zmiana warunków wodnych nie spowodowała zmian w zachowaniu roślinności: wspomniane gatunki przystosowały się do nowego reżimu wodnego i rozwijały się w warunkach ubóstwa wody (SZCZYPEK, WACH, WIKĄ, 1994).

Istnienie Pustyni Błędowskiej z jednej strony jest uwarunkowane czynnikami naturalnymi: ogromnymi masami utworów piaszczystych, z drugiej zaś antropogenicznymi, polegającymi na zniszczeniu najpierw w średniowieczu, a następnie w XVI wieku, występującej tu pokrywy

leśnej. Obecnie, wskutek wtórnej ingerencji ludzkiej, „pustynia” intensywnie zanika. Przed 25—30 laty, gdy „pustynny” krajobraz dominował tu jeszcze na powierzchni około 32 km², nie zwracano uwagi na jego unikatowość, niezwykłość. Teraz, gdy „pustyni” już prawie nie ma (obszary „pustynne” pozbawione roślinności liczą łącznie kilkadziesiąt hektarów), zaczęto zdawać sobie sprawę z tego, co utracono (WACH i in., 2005). Czynione są próby karczowania krzewów wierzb na pewnych obszarach, wytycza się trasy dla sportów motokrosowych, szlaki turystyki pieszej i konnej — wszystko po to, by zainteresować aktualnych i potencjalnych turystów jeszcze istniejącymi resztkami tego, nie tylko polskiego, fenomenu krajobrazowego. Co będzie dalej z Pustynią Błędowską, zależy od inwencji lokalnych władz i od środków finansowych. Jeśli tego zabraknie, to — z wielkim żalem trzeba stwierdzić — za 10—15 lat „pustynia” ostatecznie zaniknie. Pozostanie po niej tylko nazwa na mapie...

5. Materiały i metody

5.1. Materiały kartograficzne i zdjęcia lotnicze

W celu prześledzenia przebiegu sukcesji roślinności na obszarze Pustyni Błędowskiej zgromadzono dostępne materiały archiwalne kartograficzne, zdjęcia lotnicze oraz przeprowadzono wywiady środowiskowe z okolicznymi mieszkańcami. Na podstawie materiałów kartograficznych i zdjęć lotniczych dokonano analizy zmian zasięgu piasków Pustyni Błędowskiej wraz z pokrywą roślinną w okresie blisko 200 lat.

Pierwszy obraz obszaru Pustyni Błędowskiej można znaleźć na mapie Galicji Zachodniej, opracowanej pod kierunkiem płk. A. Mayera von Heldenfelda w latach 1801—1804. Obszar Pustyni kartowano w terenie w 1802 roku (KONIAS, 2001). Jest to mapa opracowana w podziałce 1000 kroków (400 sążni wiedeńskich), w 1 calu wiedeńskim na mapie, co odpowiada skali mapy 1: 28 800.

Kolejnymi mapami wykorzystanymi w badaniach są:

- mapa wykonana przez Cesarsko-Królewski Wojskowy Instytut Geograficzny (k.u.k. Militärgeographisches Institut) w Wiedniu w skali 1 : 200 000;
- mapa *Karte des westlichen Russland* w skali 1 : 100 000 z 1914 roku, będąca wydaną w pomniejszonej skali mapą rosyjską *Nowaja topograficzeskaja karta zapadnoj Rossiji*, sporządzoną w latach 1884—1916 w skali 1 : 84 000 (tzw. dwuwiorstówka);
- polska mapa Wojskowego Instytutu Geograficznego w skali 1 : 100 000 z 1933 roku.

Ponadto wykorzystano czarno-białe zdjęcia lotnicze obszaru Pustyni Błędowskiej wykonane w latach 1955 i 1973 (w skali ok. 1 : 18 000) oraz kolorowe zdjęcia z 1996 roku i zdjęcia wykonane w pasmie podczerwonym w 1994 roku (w skali ok. 1 : 10 000).

Analizę i interpretację map przeprowadzono z wykorzystaniem metod GIS. Szkic interpretacyjny wykonano z użyciem programu *MapInfo*

Na szkice interpretacyjne, oprócz wydzielonych pól roślinności, naniesiono również granice przyjętego obszaru badań, a także — w celu umożliwienia prawidłowej interpretacji i oceny wielkości ewentualnych zmian — oprócz sieci rzecznej w danym roku naniesiono wspólny przebieg sieci rzecznej oraz drogowej.

5.2. Badania roślinności

Badania terenowe nad przebiegiem sukcesji prowadzono w ciągu 11 kolejnych okresów wegetacyjnych (1994—2005). Materiały gromadzono i dokumentowano na obszarze Pustyni Błędowskiej, natomiast szczegółowe informacje uzyskano z 4 założonych transektów o łącznej długości 7650 m i powierzchni 153 000 m². Szczegółową charakterystykę transektów oraz wydzielonych wstępnie stadiów sukcesji roślinności można znaleźć w pracy O. RAHMONOVA (1998).

Nazewnictwo łacińskie i polskie roślin naczyniowych podano w pracy za Z. MIRKIEM i in. (2002), nazewnictwo łacińskie porostów poda-

no według R. SANTESSONA (1993), a mchów — według R. OCHYRY i P. SZMAJDY (1992). Porosty oznaczono dzięki uprzejmości Pani Profesor Krystyny Czyżewskiej z Uniwersytetu Łódzkiego, a mszaki oznaczył Pan dr Adam Stebel z Wydziału Farmacji Śląskiej Akademii Medycznej w Sosnowcu.

5.2.1. Metody fitosocjologiczne

W celu identyfikacji zbiorowisk roślinnych (RAHMONOV, 1998) na piaszczystych powierzchniach obszaru Pustyni Błędowskiej wykonano 110 zdjęć fitosocjologicznych metodą Brauna—Blanqueta (FUKAREK, 1967). W zbiorowiskach leśnych powierzchnia zdjęcia wynosiła 100—200 m², a w zbiorowiskach muraw psamofilnych wahała się między 4 m² a 20 m², co odpowiada zaleceniom K. CZYŻEWSKIEJ (1992). Przynależność gatunków do poszczególnych grup syntaksonomicznych określono zgodnie z klasyfikacją W. MATUSZKIEWICZA (2001).

5.2.2. Metody kartowania roślinności

Gatunki drzewiasto-krzewiaste wpływają odmiennie na inicjację procesu glebotwórczego i dalszy jego rozwój, zwłaszcza oddziałując polem fitogenicznym. Aby wyjaśnić ten proces, do badań wybrano gatunki takie jak: wierzba ostrolistna *Salix acutifolia*, sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*, dąb szypułkowy *Quercus robur*, brzoza brodawkowata *Betula pendula*, porastające w postaci wysp powierzchnie piaszczyste. Pod ich okapami założono poletka o różnych arealach, uzależnionych od rozmiarów okapu danego gatunku. Na poletkach prowadzono szczegółowe badania ekologiczno-glebowe, które będą monitorowane także w przyszłości. Roślinność występująca na powierzchniach reprezentuje różne stadia rozwoju i wieku. Wiek drzew i krzewów na każdej powierzchni określono metodą dendrochronologiczną.

Na powierzchniach badawczych prowadzono dokładne kartowanie roślinności w skali 1 : 100. Oddzielne szkice sporządzono dla drzew i krzewów oraz roślinności zielnej w celu określenia wpływu okapu na zasiedlanie roślinności w strefie jego oddziaływania, a także obserwacji rozmieszczenia miejsc nagromadzenia materii organicznej. W celu scharakteryzowania warunków siedliskowych pod okapami wspomnianych gatunków założono transekty. Przez każde badane poletko przeprowadzono 2 transekty o kierunku N-S i E-W. Pozostałe czynności wykonano według wytycznych J.B. FALIŃSKIEGO (2001) o założeniu stałej powierzchni badawczej.

5.2.3. Metody badania skorupy glonowej

W celu identyfikacji glonów i sinic materiały z 17 stanowisk pobrano do analiz laboratoryjnych w szklach Petriego. Oznaczania gatunków dokonano na żywym materiale w Instytucie Botaniki Polskiej Akademii Nauk im. Władysława Szafra w Krakowie.

Przeprowadzono również obserwacje powierzchni skorupy glonowej pokrywającej podłoże piaszczyste oraz pojedynczych ziaren piasku pokrytych komórkami glonowymi. Za pomocą mikroanalizy punktowej zbadano też nadziemną i podziemną część *Polytrichum piliferum*, aby określić ich możliwości wiązania i utrwalania piasku przez ryzoidy oraz zatrzymywania minerałów pochodzenia allochtonicznego. Dokonano tego z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego Philips XL 30 ESEM. Zdjęcia sporządzono pod mikroskopem. Dodatkowo za pomocą mikroskopu skaningowego i lupy powiększającej wykazano obecność glonów na powierzchni piasku, zwykle niedostrzegalnych gołym okiem. Uzyskane wyniki konsultowano z Panią mgr Ewą Teper, z Panią dr Ireną Gałuskiną oraz z Panem dr. Ewgenijem Gałuskinem z Zakładu Mineralogii WNoZ w Sosnowcu. Skorupę badano także pod względem materii organicznej gleb metodą Py-GC/MS (patrz rozdz. 5.3.2).

5.2.4. Metody analizy chemicznej materiału roślinnego

Chcąc określić skład chemiczny opadu roślinnego i jego rolę we wzbogacaniu podłoża w składniki pokarmowe, na powierzchniach badawczych zbierano jednorazowo opady wierzby ostrolistnej, wierzby piaskowej, brzozy brodawkowatej, sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego (kora, szyszki, drobne gałązki, liście zielone, liście opadłe) nagromadzone pod ich okapami. Liście zielone pobierano bezpośrednio z rośliny we wrześniu, natomiast liście opadłe zbierano w okresie jesienno-maksimum opadu roślinnego. Należy podkreślić, że na powierzchni liści obserwowano ziarna mineralne i drobne szczątki organiczne o pochodzeniu obcym lub miejscowym, dlatego dokonana analiza retranslokacji pierwiastków w liściach świeżych i opadłych może być obciążona błędami.

Z roślin zarodnikowych inicjalnych faz sukcesji do analizy wytypowano skorupę glonową wraz z drobnofrakcyjnymi ziarnami mineralnymi wyłapywanymi przez glony oraz *Polytrichum piliferum*.

W pobranych próbkach oznaczono zawartości następujących pierwiastków: C, N, Ca, Mg, K, Na, P, Fe, Al, Zn i Si. Całkowitą zawartość pierwiastków w materiale roślinnym oznaczono po mineralizacji „na mokro” w mieszaninie $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{H}_2\text{O}_2$ w systemie zamkniętym (w aparacie mikrofalowym MLS-1200MEGA240 firmy Milestone). Oznaczenia poszczególnych pierwiastków przeprowadzono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, z wyjątkiem Na i K (metoda emisyjnej spektrometrii płomieniowej), C (metoda Alena) i N (metoda Kjeldahla).

Materiały roślinne do analiz laboratoryjnych przygotowano według wskazówek F. MACNAEIDHE (1995), B. MARKERT (1995), A. CLÉMENT (1995) oraz A. OSTROWSKIEJ, S. GAWLIŃSKIEGO, i Z. SZCZUBIAŁKI (1991).

5.3. Badania gleb

Badania gleb na obszarze Pustyni Błędowskiej i w jej otoczeniu rozpoczęto w 1994 roku. Zmien-

ność pokrywy glebowej zbadano na formujących się ekosystemach piaszczystych znajdujących się we wszystkich stadiach sukcesji (inicjalne, optymalne, terminalne).

Aby w dalszej części pracy ułatwić charakterystykę badanych gleb, podzielono je na trzy grupy: **I**, **II** i **III**. Grupę **I** stanowią gleby współczesne, rozwijające się pod różnymi zbiorowiskami roślinnymi, reprezentującymi na badanym terenie wszystkie fazy sukcesji serii borowej. Są to zbiorowiska z glonami (profil **I.1**), z płonnikiem włosisłym *Polytrichum piliferum* (**I.2**), z biologiczną skorupą glebową (**I.3**) oraz pod: wierzbą piaskową *Salix arenaria* (**I.4**), wierzbą ostrolistną *Salix acutifolia* (**I.5**), sosną zwyczajną *Pinus sylvestris* (**I.6**), inicjalnym borem sosnowym (**I.7** — **Przełom**; **I.8** — **Pustynia Błędowska**) i borem sosnowym *Leucobryo-Pinetum* (**I.9** — **Bukowno**; **I.10** — **Sławków**). W celu ustalenia pełnej chronosekwencji roślinno-glebowej dwa ostatnie profile wykonano poza obszarem Pustyni Błędowskiej, gdzie są dobrze rozwinięte gleby wytworzone ze skał macierzystych, podobnych do skał, z jakich powstały gleby na Pustyni Błędowskiej.

Grupę **II** reprezentują częściowo ogłowione kopalne gleby bielcowe (**II.1** — **Centuria**; **II.2** — **Źródliśko Białej**). Gleby te są porośnięte murawą szczotlichową *Spergulo morisonii-Corynephorum canescentis*, strzęplicową *Festuco-Koelerietum glaucae* oraz inicjalnym borem sosnowym świeżym.

Grupa **III** przedstawia dwie pełnoprofilowe kopalne gleby bielcowe, z których jedna zachowała się w południowo-zachodnim krańcu Pustyni Błędowskiej (**III.1** — **Przełom**), a druga (**III.2** — **Kuźnica Błędowska**) w jej północno-zachodniej części. Gleby te rozwijają się odpowiednio pod borem świeżym *Leucobryo-Pinetum* i lasem mieszanym *Quercu roboris-Pinetum*.

Przynależność systematyczną gleb określono według *Systematyki gleb Polski* (1989) oraz międzynarodowej klasyfikacji gleb według WRB (1998) na podstawie cech morfologicznych, a także wyników analiz chemicznych.

Na potrzeby pracy zastosowano symbol **Od**, który nie jest uwzględniony w *Systematyce gleb Polski*. Oznacza on poziom organiczny darniowy, wytworzony pod roślinnością trawiastą i zielną.

Cyfry rzymskie użyte w przypadku kopalnych gleb bielcowych częściowo ogłowionych oraz pełnoprofilowych przykrytych arenosolami służą rozdzielaniu identyfikowanych, różnowiekowych jednostek litostratygraficznych występujących na jednym stanowisku. Cyfrę I opuszczono jako domyślną, numerację rozpoczęto od cyfry II.

5.3.1. Metody terenowe

Lokalizacja profili glebowych była uwarunkowana typem roślinności oraz fazami sukcesji i związaną z nimi rozwijającą się pokrywą glebową. Łącznie wykonano około 100 wierceń i 46 odkrywek glebowych, z czego do ostatecznej analizy i interpretacji wybrano 14 profili reprezentujących różne stadia sukcesji. Na wszystkich wytypowanych powierzchniach wykonano odkrywki glebowe. Z każdego poziomu genetycznego, we wszystkich profilach, pobrano próbki gleb do worków płóciennych lub pudełek plastikowych w celu wykonania analiz laboratoryjnych.

Wzdłuż transektów na wyznaczonych trzech poletkach (I, II, III) pod wybranymi gatunkami zmierzono miąższości poziomu organicznego (O) i próchnicznego (A) — w odstępach co 0,5 m w obrębie okapu i porównawczo poza nim. Dodatkowo wzdłuż transektów o kierunku północ—południe (N-S), w odległościach co 1 metr pod okapem i poza jego obszarem, pobrano próbki gleb z poziomu próchnicznego do analiz laboratoryjnych.

Obecność gleb kopalnych stwierdzono także na podstawie analizy zdjęć lotniczych, których interpretację umożliwiły wcześniej prowadzone badania terenowe. Lokalizację badanych odkrywek dokonano z użyciem GPS.

5.3.2. Metody laboratoryjne

W pobranych próbkach, zgodnie ze standardami stosowanymi w Polsce, wykonano następujące analizy:

- uziarnienie metodą sitową;
- barwę próbek gleb w stanie suchym i wilgotnym (zwilżonych wodą) za pomocą atlasu barw Munsella (Revised Standard Soil Color Charts, 1999);
- straty prażenia — w temperaturze 550°C;
- odczyn metodą potencjometryczną z użyciem elektrody szklanej (w H₂O i 1-molowym KCl);
- węgiel organiczny (C_{org}) w poziomach organicznych metodą Alena i w poziomach mineralnych metodą Tiurina;
- azot ogółem (N_t) metodą Kjeldahla;
- fosfor przyswajalny (P_{przys}) metodą Egnera—Riehma;
- kwasowość hydrolityczną (H_h) metodą Kappena;
- glin wymienny (Al³⁺) metodą Sokołowa;
- kwasowość wymienną (H_w) metodą Sokołowa;
- kationy wymienne (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) po ekstrakcji próbek 1-molowym CH₃COONH₄ o pH = 7; pomiar za pomocą aparatu ASA (firma Solaar): Ca i Mg — w wersji absorpcyjnej, a Na i K — w wersji emisyjnej;
- wolne żelazo (Fe_d) w wyciągu cytrynianowo-podsiarczynowym (dwutioninowym) metodą Mehra—Jacksona;
- żelazo amorficzne (Fe_o) i glin amorficzny (Al_o) w wyciągu szczawianu amonu metodą Tamma w modyfikacji Schwertmanna.
Na podstawie uzyskanych wyników obliczono:
- stosunek węgla do azotu (C/N);
- sumę zasadowych kationów wymiennych (S) jako sumę Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺;
- pojemność wymiany kationowej rzeczywistej (PWK_{rzecz}) jako S + Al³⁺ + H⁺;
- pojemność wymiany kationowej potencjalnej (PWK_{pot}) jako S + H_h;
- stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym (V) jako S/PWK_{pot} × 100;
- Fe_t–Fe_d (zawartość żelaza w krzemianach);
- Fe_d–Fe_o (zawartość żelaza w formie krystalicznych tlenków);
- Fe_d/Fe_t (stopień zwietrzenia materiału glebowego);
- Fe_o/Fe_d (wskaźnik aktywności tlenków żelaza jest równy odwrotności stopnia ich krystalizacji);
Zawartość całkowitą pierwiastków popielnych (Fe, Al, Ca, Mg, P, Na, K, Mn, Na i Zn) w materiale glebowym oznaczono po mineralizacji „na

mokro” w mieszaninie kwasów $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{HCl}$ w systemie zamkniętym. Oznaczenia poszczególnych pierwiastków dokonano podobną metodą jak w przypadku materiału roślinnego.

Metoda Py-GC/MS

W celu określenia zróżnicowania składu materii organicznej gleb w rozwijającej się pokrywie glebowej pod wpływem roślinności serii borowej na ubogich obszarach piaszczystych pobrano z poziomów organicznych (O) i próchnicznych (A) próbki do analizy metodą Py-GC/MS. Metoda ta nie była dotąd stosowana w Polsce w badaniach nad sukcesją roślinności i rozwojem gleby.

Próbki do analizy pobierano z tych samych profili, z których wcześniej pobierano próbki do analiz laboratoryjnych — pod zbiorowiskami z dominującymi grupami i gatunkami, takimi jak: glonowo-sinicowe (*Algae-Cyanophyta*), płonnik włosisty (*Polytrichum piliferum*), biologiczna skorupa glebowa (skorupa organiczno-mineralna złożona z sinic, glonów, porostów, mszaków oraz ziaren piasku), szczotlicha siwa (*Corynephorus canescens*), strzęplica sina (*Koeleria glauca*), wierzba piaszkowa (*Salix arena-ria*), wierzba ostrolistna (*S. acutifolia*) oraz sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), reprezentującymi określone fazy sukcesji.

W przypadku *Polytrichum piliferum*, *Corynephorus canescens* i *Koeleria glauca* analizowano nadziemne części tych roślin — jako całość w postaci mieszanej próbki. W przypadku próbki glonowo-sinicowej analizowano ich plechy, uprzednio oddzielone od ziaren piasku. W przypadku wierzby piaszkowej i ostrolistnej analizowano mieszaną próbkę z podpoziomów surowinowego (Ol) i butwinowego (Of), a spod okapu sosny zwyczajnej próbkę pobrano oddzielnie z podpoziomów Ol i Of z uwagi na znaczną ich miąższość (patrz opis morfologiczny).

Próbki materiałów organicznych wstępnie zostały wysuszone w temperaturze pokojowej i zmielone. Materiały mineralne z poziomu

próchnicznego (A) przesiano przez sito o średnicy oczek 0,04 mm i taką frakcję poddano analizie pirolitycznym.

Warunki analizy Py-GC/MS

Temperatura prowadzenia pirolizy (temperatura punktu Curie) T_c była równa 770°C , temperatura grzałki pirolizatora — 230°C , czas pirolizy — 8s. Do analizy chromatograficznej zastosowano kolumnę kapilarną HP5-MS (o wymiarach: $60\text{ m} \times 0,32\text{ mm} \times 0,5\ \mu\text{m}$). Program temperatury termostatu był następujący: temperatura początkowa 40°C , temperatura końcowa 260°C , utrzymywana przez 16 min, gaz nośny: hel, o ciśnieniu 15 psi, podział strumienia gazu nośnego 1:15. Temperatura transferowej linii wprowadzającej eluent do źródła jonów spektrometru masowego wynosiła 260°C . Źródło jonów w spektrometrze utrzymywano w temperaturze 200°C , a masowy analizator kwadrupolowy w temperaturze 100°C . Spektrometr pracował w trybie rejestracji pełnego widma (*full scan*), monitorując masy od 33 j.m.a. do 500 j.m.a. Energia jonizacji wynosiła 70 eV.

Do badań zastosowano pirolizator firmy „Pye-Unicam” (Curie Point Pyrolyser Type 795050) sprzężony z chromatografem gazowym. Pirolizę prowadzono w strumieniu helu, który pełnił również funkcję gazu nośnego w procesie chromatograficznym. Obszar reaktorowy znajdował się wewnątrz rurki ze szkła kwarcowego i utrzymywany był w temperaturze 230°C przez grzałkę, umieszczoną pomiędzy cewką indukcyjną a kwarcową rurką reakcyjną. Po włączeniu zasilania na cewce pirolizatora następowało indukcyjne ogrzewanie drutu ferromagnetycznego do temperatury punktu Curie. Produkty pirolizy opuszczały pirolizator wraz z gazem nośnym i były wprowadzane na kolumnę chromatograficzną, której wlot był usytuowany w odległości 1 cm od zakończenia drutu pirolitycznego. Organiczne produkty pirolizy identyfikowano przez porównanie z komputerową bazą danych Wileya (Database\Wiley7N.L).

6. Przebieg sukcesji na obszarze Pustyni Błędowskiej

Rozważania nad dynamiką roślinności na obszarze Pustyni Błędowskiej autor prowadził na podstawie dostępnych archiwalnych i współczesnych materiałów kartograficznych, czarno-białych i kolorowych zdjęć lotniczych oraz badań terenowych. Pozwoliło to na wyróżnienie na tym obszarze dwóch typów sukcesji: pierwotnej i wtórnej. Zarówno na mapach, jak i na zdjęciach Pustyni Błędowskiej wyraźnie widoczne są obszary związane z sukcesją pierwotną. Obszary, na których zachodzi obecnie sukcesja pierwotna, występują w południowo-wschodniej części Pustyni Błędowskiej na jeszcze czynnych polach deflacyjnych i luźnych nagich piaskach.

6.1. Zmiany w rozmieszczeniu roślinności Pustyni Błędowskiej w latach 1804—1996

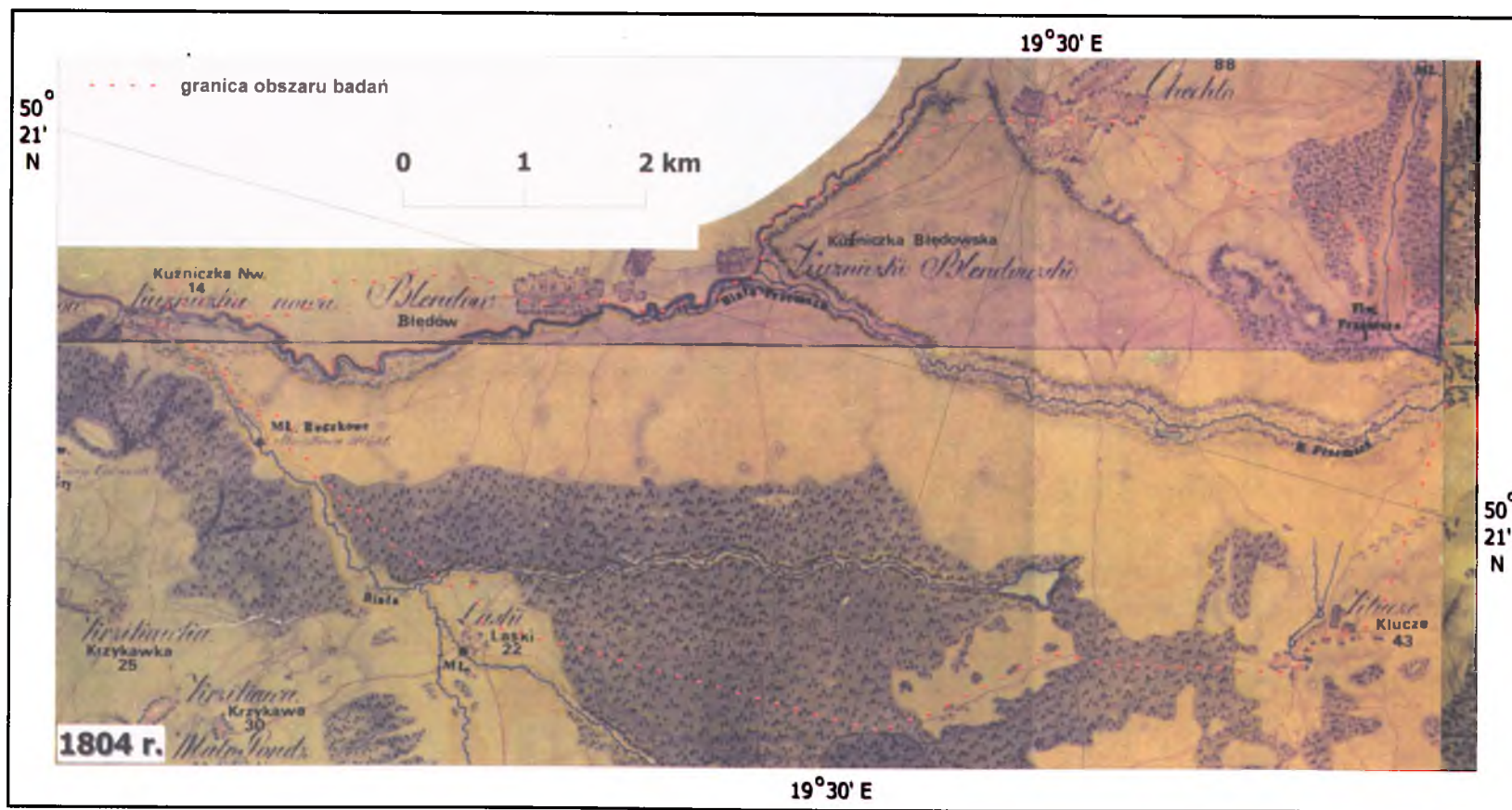
Na podstawie analizy dostępnych materiałów kartograficznych (map z lat: 1804, 1911, 1914 i 1933) oraz zdjęć lotniczych (1955, 1973 i 1996) oceniono zmiany wielkości powierzchni Pustyni Błędowskiej jako zarysu piasków stałych i lotnych oraz stopniowe zarastanie tego obszaru — na początku przez rozrzucone kępy krzewów i drzew, a następnie ich zagęszczenie, miejscami do postaci lasu.

Na podstawie prowadzonych 11-letnich badań na tym obszarze oraz interpretacji współczesnych zdjęć lotniczych (z lat 1994, 1996) i ich dokładnej weryfikacji terenowej wyodrębniono

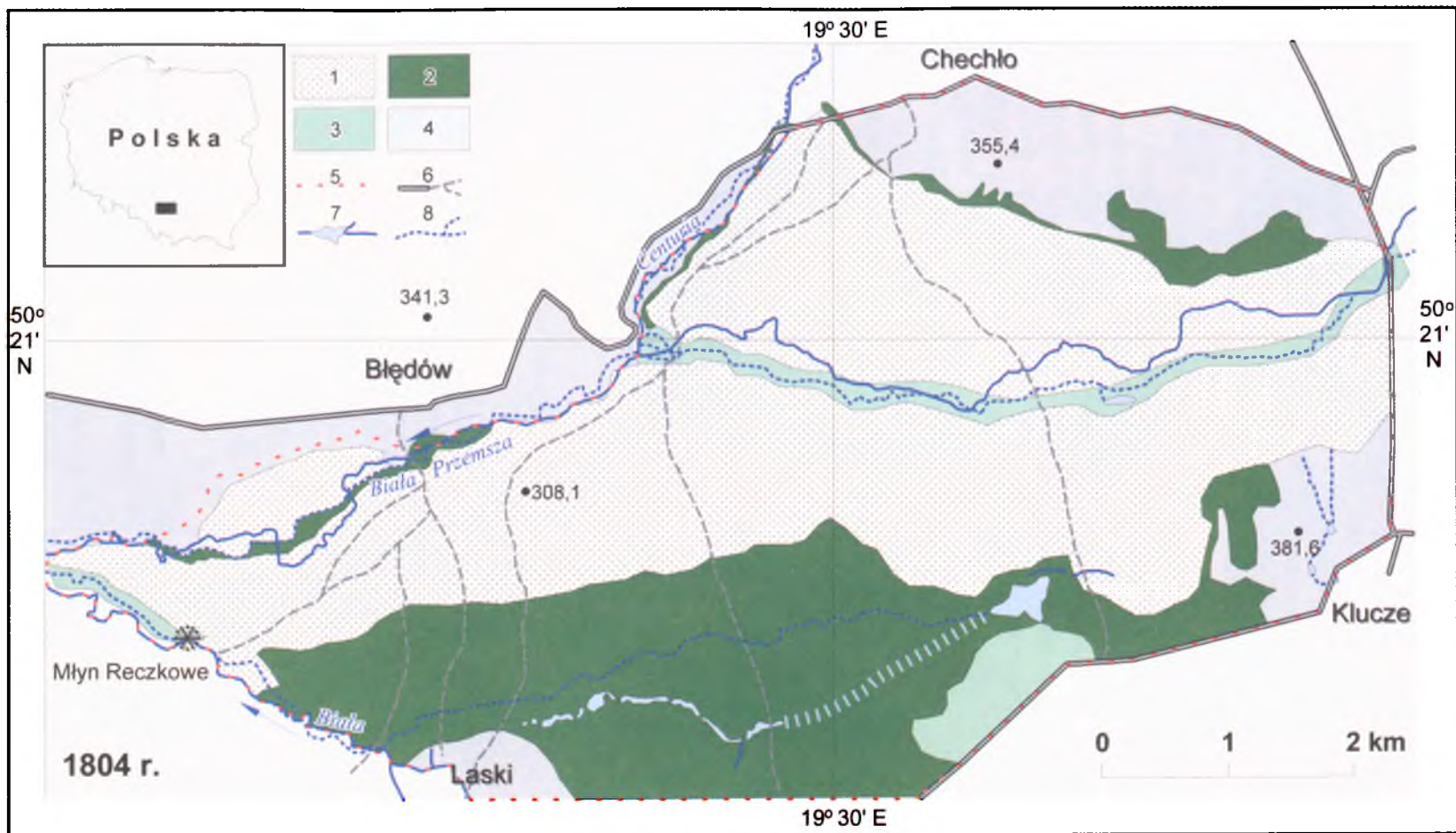
tereny opanowane przez roślinność zielną, krzewiastą i drzewiastą oraz rozpoznano zbiorowiska roślinne. Pozwoliło to także na dokładną interpretację zdjęć lotniczych z lat 1955 i 1973, na podstawie której dokonano oceny wielkości obszarów stopniowo kolonizowanych przez roślinność w trakcie naturalnej sukcesji oraz wymuszonej antropogenicznej sukcesji w postaci sztucznych dosadzeń i nasadzeń.

Mapa topograficzna Galicji Zachodniej A. Heldenfelda w skali 1 : 28 800 z lat 1801—1804

Granice północno-zachodnią obiektu badań na mapie z 1804 roku wyznaczała Biała Przemyska wraz z jej dopływem Centurią. Od północnego wschodu granice terenu piaszczystego wyznaczała linia biegnąca ku wschodowi od miejscowości Chechło do Białej Przemyskiej. W tym czasie nie było jeszcze nazwy Pustynia Błędowska (rys. 1). Na mapie tej niemal cały obszar Pustyni Błędowskiej był pozbawiony roślinności. Występowała ona jedynie w postaci wąskiego pasa wzdłuż Białej Przemyskiej oraz obszaru leśnego porastającego wały wydmowe wzdłuż rzeki Białej (rys. 2). Wilgotność podłoża w sąsiedztwie cieków sprzyjała także zasiedleniu roślinności wilgociolubnej bezpośrednio przy rzece Białej i w okolicy jej źródła, w postaci rozrzuconych i rzadkich zarośli. Roślinność leśna występowała w postaci rzadkich zadrzewień lub zakrzewień sosnowych tworzących wąskie pasy w dolnym odcinku doliny Białej Przemyskiej w północno-zachodniej oraz północnej części Pustyni Błędowskiej.



Rys. 1. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1804 rok
 Fig. 1. The Błędów Desert and their neighbourhood on the topographic map, state from 1804



Rys. 2. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1804 roku

1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — obszary leśne, 3 — łęgi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 4 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane.
5 — granica obszaru badań, 6 — drogi, 7 — współczesna sieć rzeczna, 8 — sieć rzeczna w 1804 roku

Fig. 2. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of map from 1804

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — forest areas, 3 — riverside carrs and hygrophilous communities, 4 — arable field, pasture and buildings, 5 — border of investigation area.
6 — roads, 7 — present river network, 8 — river network in 1804

Obszary nagich piasków wraz z rozległymi nieckami deflacyjnymi sięgały w tym okresie na zachód do Nowej Kuźniczki i na wschód aż do granicy osady Klucze, a miejscami nawet poza nią. Na obszarze tym można wyraźnie zaobserwować ciągi wydym z wysokimi kulminacjami, które według ich sposobu przedstawienia są zdjęte z natury i odpowiadają ich faktycznemu stanowi w tym czasie (rys. 1).

Od południa obszar piasków ograniczał wyraźny obszar lasu o szerokości około 1 km i długości około 3 km na północ od rzeki Białej oraz od miejscowości Laski. Drogi: z Błędowa do Lasek (funkcjonuje do czasów współczesnych) oraz z Chechła do Olkusa prowadziły przez obszary nagich piasków.

Przepływająca równoleżnikowo przez obszar Pustyni Błędowskiej Biała Przemsa była wyraźnie wcięta w powierzchnię piasków, tworząc meandry, a jej brzegi porastały wspomniane wcześniej luźne pokrywy roślinności. Na południe od Błędowa rzeka płynęła odcinkami przez obszary nagich piasków. Koryto rzeki Białej na mapie z 1804 roku oraz na mapie współczesnej nie pokrywa się, co wynika prawdopodobnie z użycia różnych technik kartograficznych.

Zasięg powierzchni piaszczystych i udział pokrywy roślinności na obszarze Pustyni Błędowskiej z 1804 roku przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie A. Heldenfelda z 1804 roku

Table 1

Landscape components of Błędów Desert and their neighbourhood on the map of A. Heldenfeld from 1804

Elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawiony roślinności	19,2	52,0
Obszary leśne	10,5	28,5
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	2,0	5,4
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	5,2	14,1
Razem	36,9	100,0

Mapa topograficzna cesarsko-królewskiego Wojskowego Instytutu Geograficznego z Wiednia w skali 1 : 200 000 z 1911 roku

Kolejnym źródłem kartograficznym jest mapa generalna, w skali 1 : 200 000, wydana przez Wojskowy Instytut Geograficzny w Wiedniu. Mapę tę wykonano na podstawie zdjęć z lat 1902 i 1903 (rys. 3). Można ją zatem traktować jako stan z 1903 roku. Zarys piasków nie odbiegał zasadniczo od przedstawionego na mapie z 1804 roku. Różnica dotyczy zwiększenia zasięgu lasów w południowej części Pustyni Błędowskiej, a także poszerzenia pasa lasu w jej północnej części, co uwidacznia się w udziale powierzchni zajętej pod lasy (rys. 4, tabela 2). Dodatkowo można zaobserwować powstanie wąskiego pasa lasu wzdłuż wschodniej granicy Pustyni Błędowskiej oraz poszerzenie pasa roślinności wilgociolubnej wzdłuż Białej Przemsy. Na omawianej mapie koryto rzeki Białej pokrywa się z korytem współczesnym.

Tabela 2

Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie z 1911 roku

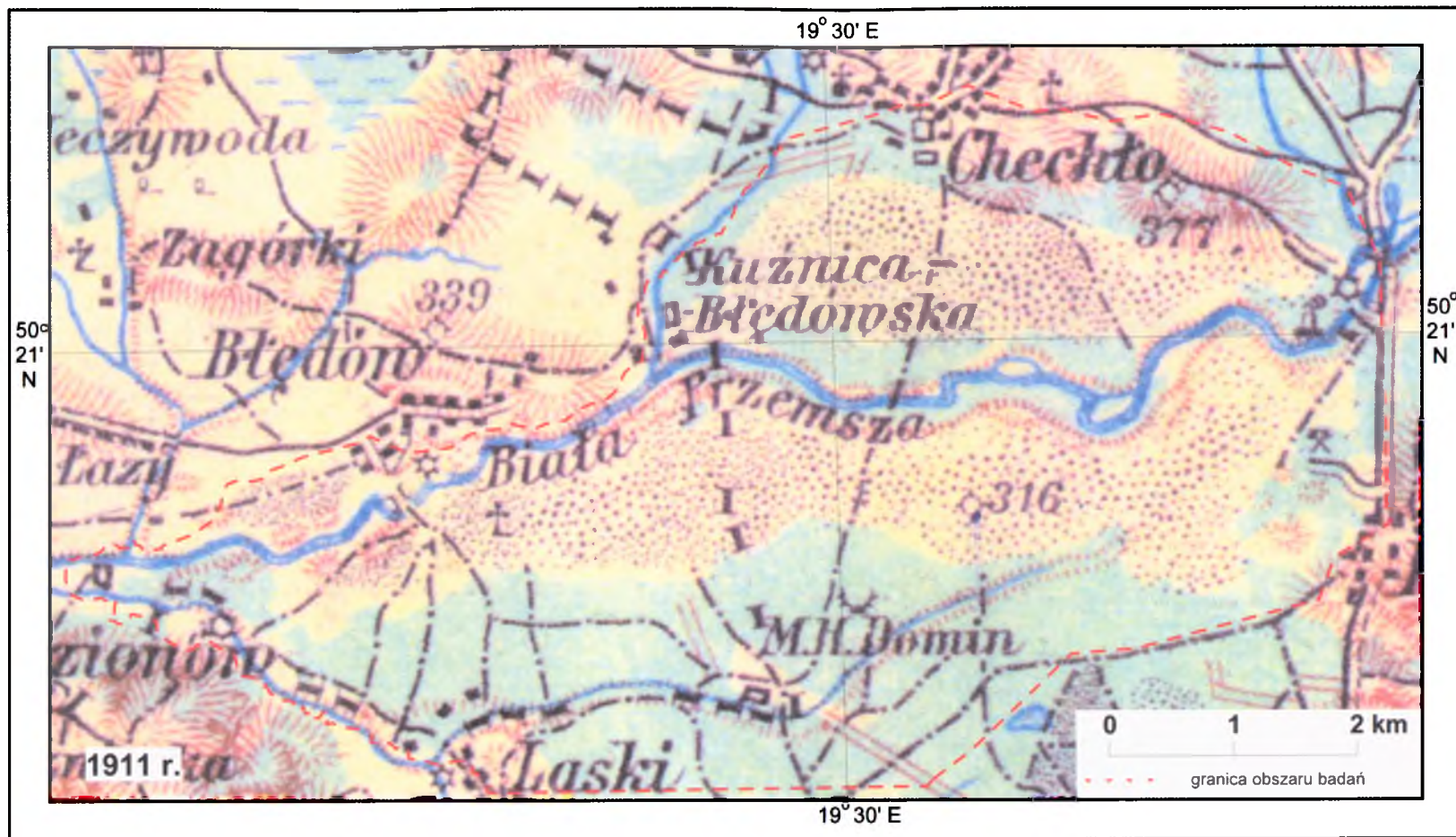
Table 2

Landscape components of Błędów Desert and their neighbourhood on the map from 1911

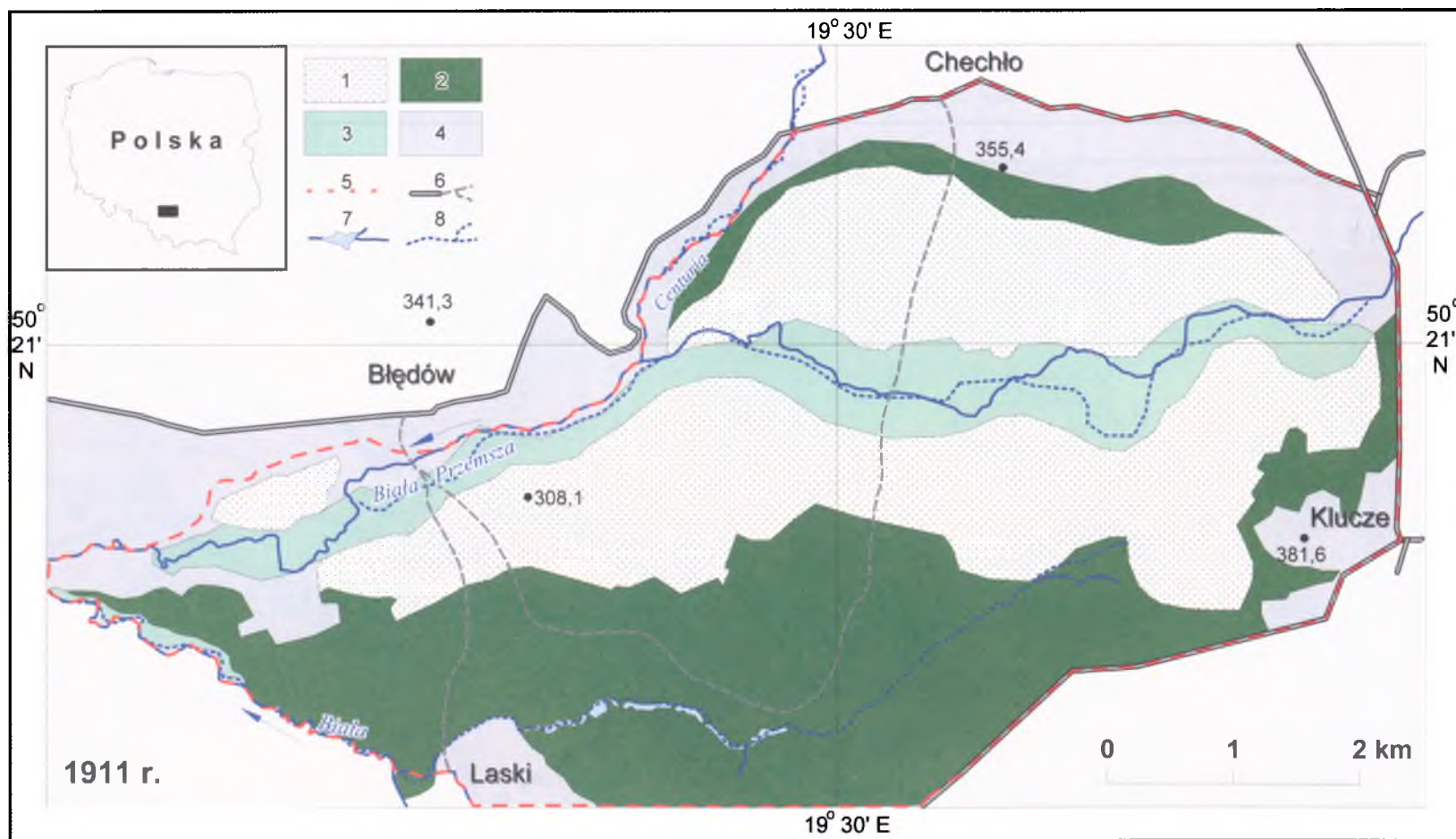
Elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawionych roślinności	13,4	36,3
Obszary leśne	13,1	35,5
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	4,4	11,9
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	6,0	16,3
Razem	36,9	100,0

Pruska „Mapa zachodniej Rosji” (*Karte des westlichen Russlands*) w skali 1 : 100 000 z 1914 roku

Zarys Pustyni Błędowskiej na *Karte des westlichen Russlands* jest podobny do tego z 1911 roku. Widoczne są tu jednak istotne zmiany odnośnie



Rys. 3. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej z 1911 roku, stan w latach 1902—1903
 Fig. 3. The Błędów Desert and their neighbourhood on the topographic map from 1911, state from 1902—1903

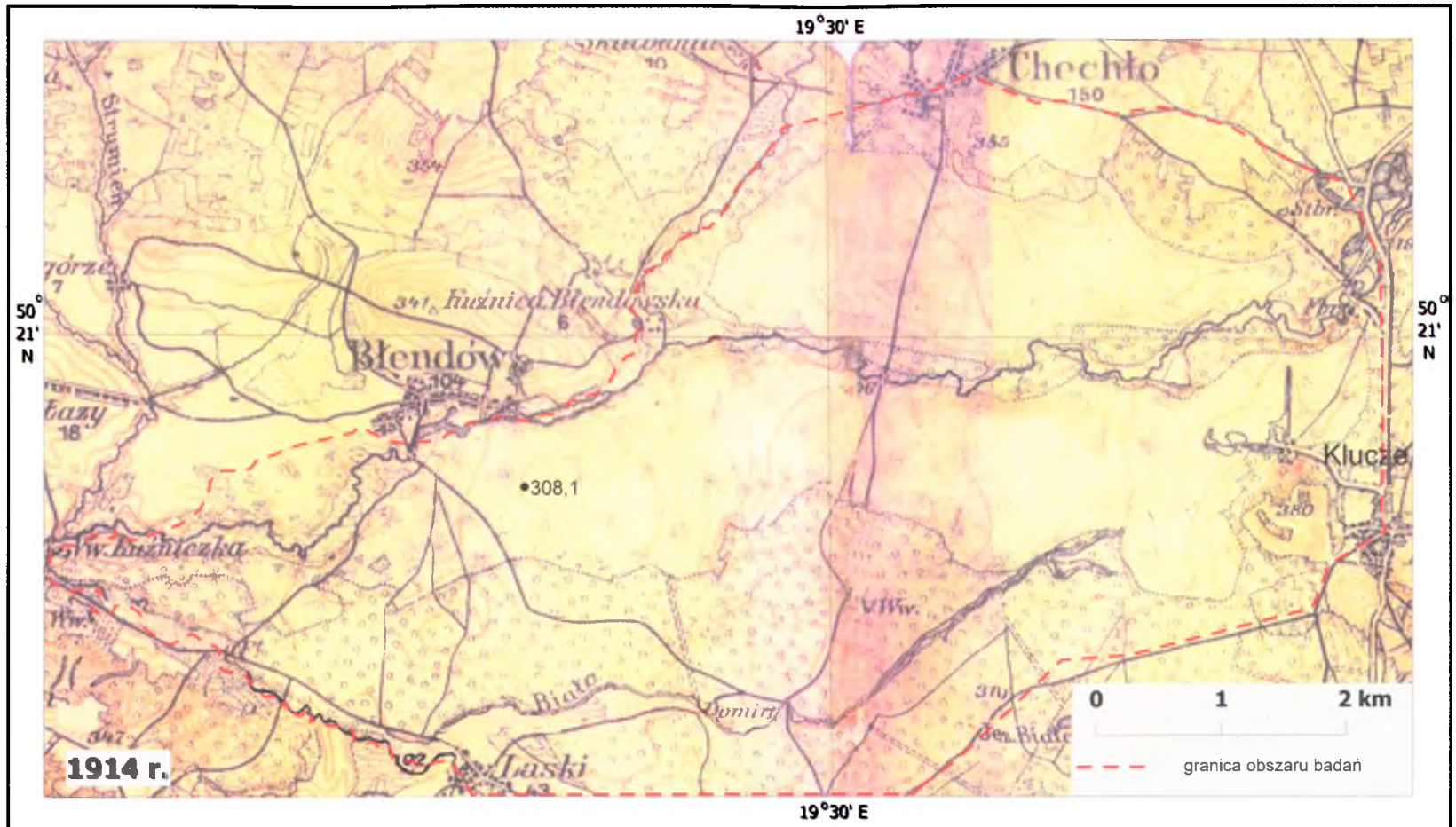


Rys. 4. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolicy na podstawie mapy z 1911 roku

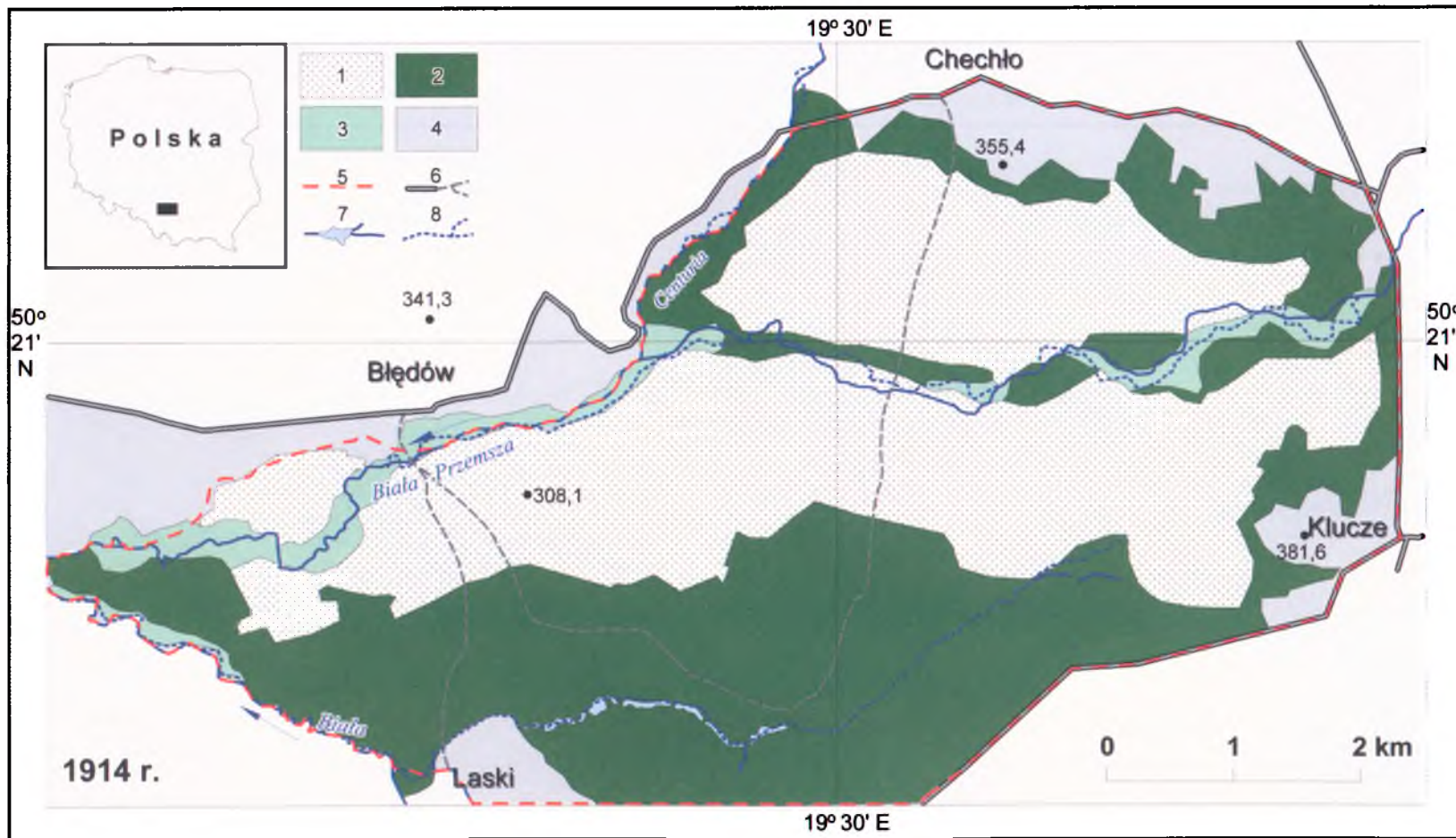
1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — obszary leśne, 3 — łęgi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 4 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 5 — granica obszaru badań, 6 — drogi, 7 — współczesna sieć rzeczna, 8 — sieć rzeczna w 1903 roku

Fig. 4. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of map from 1911

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — forest areas, 3 — riverside carrs and hygrophilous communities, 4 — arable field, pasture and buildings, 5 — border of investigation area, 6 — roads, 7 — present river network, 8 — river network in 1903



Rys. 5. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1914 rok
 Fig. 5. The Błędów Desert and their neighbourhood on the topographic map, state from 1914



Rys. 6. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1914 roku

- 1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — obszary leśne, 3 — łągi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 4 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 5 — granica obszaru badań, 6 — drogi, 7 — współczesna sieć rzeczna, 8 — sieć rzeczna w 1914 roku

Fig. 6. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of map from 1914

- 1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — forest areas, 3 — riverside carrs and hygrophilous communities, 4 — arable field, pasture and buildings, 5 — border of investigation area, 6 — roads, 7 — present river network, 8 — river network in 1914

do zasięgu roślinności wzdłuż biegu Białej Przemszy, na mapie z 1914 roku bowiem wzdłuż Białej Przemszy wyraźnie odznaczają się dwa typy roślinności: lasy oraz zbiorowiska związane z roślinnością wilgociolubną (rys. 5, 6). Rozróżnienia takiego nie było na mapie z 1911 roku z uwagi na zastosowanie jednolitej skali barwnej (rys. 3). Powierzchnie porośnięte roślinnością związaną z siedliskami wilgotnymi oraz pola uprawne uległy zmniejszeniu na rzecz zbiorowisk leśnych rozwiniętych w wyniku naturalnej sukcesji roślinności (tabela 3). Na mapie tej obszar w dalszym ciągu nie jest opisany jako Pustynia Błędowska, natomiast oznaczony jest na całej powierzchni jednolitym znakiem, oznaczającym piasek lub wydmy.

Tabela 3

Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie z 1914 roku

Table 3

Landscape components of Błędów Desert and their neighbourhood on the map from 1914

Elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawionych roślinności	16,1	43,6
Obszary leśne	16,1	43,6
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	1,6	4,4
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	3,1	8,4
Razem	36,9	100,0

Na omawianej mapie topograficznej wyraźnie widoczne są zmiany, jakie zaszły w ciągu 100 lat, zarówno w zasięgu obszarów nagich piasków jak i powierzchni pokrytej przez roślinność. W odcinku rzeki Białej Przemszy w obrębie pustyni szczególnie wyodrębnia się obszar pokryty płatami roślinnymi. We wschodnim krańcu Pustyni Błędowskiej obserwuje się także fragmenty lasu. Lasy na południu omawianego terenu zwiększyły swą powierzchnię w kierunku północno-zachodnim. Zarejestrowane są ponadto płaty nagich piasków w zachodniej części analizowanego obszaru. Wyraźnie zarysowu-

je się pierścień lasu okalający północną część pustyni.

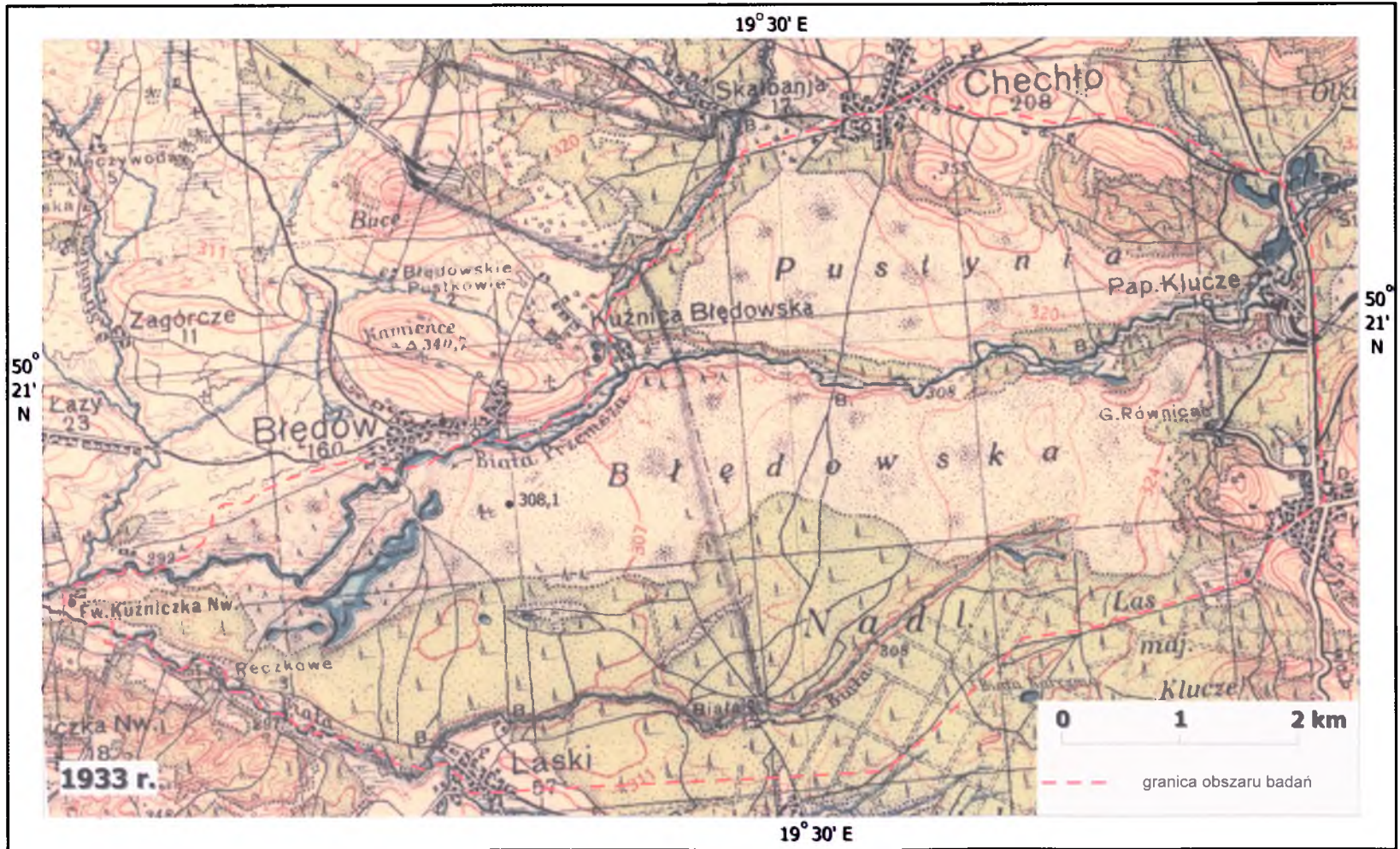
W 1804 roku Biała Przemsza płynęła odcinkami przez obszary nagich piasków na południe od Błędowa. Obszary te zostały skolonizowane przez roślinność wilgociolubną. Wynika to przede wszystkim ze wzrostu uwilgotnienia podłoża w ciągu ponad 100 lat i sukcesji roślinności. Jest to związane z efektem brzegowym. Współczesny bieg Białej Przemszy w odcinku od Błędowa do Rud jest taki sam, jak w 1914 roku.

Polska mapa topograficzna Wojskowego Instytutu Geograficznego w skali 1 : 100 000 z 1933 roku

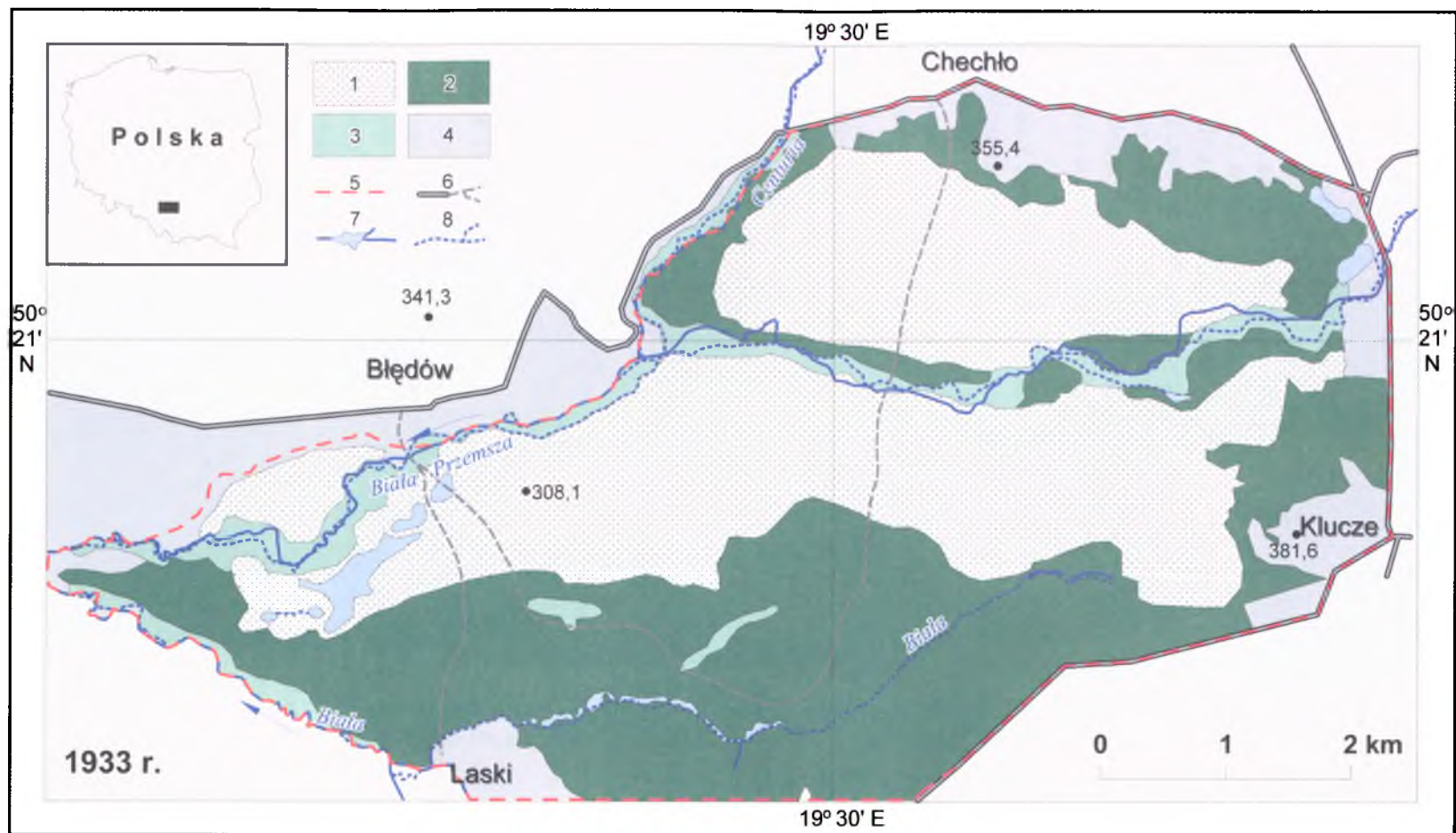
Jako kolejne źródło kartograficzne do poznania zmian zachodzących w szacie roślinnej Pustyni Błędowskiej może posłużyć mapa Wojskowego Instytutu Geograficznego z 1933 roku. Po raz pierwszy na mapie tego obszaru pojawiła się nazwa Pustynia Błędowska (rys. 7).

Istotne zmiany obserwuje się w zachodniej jej części. Na południe od miejscowości Błędów oraz na północ i północny zachód od Lasek zbudowano ciąg sztucznych stawów hodowlanych (rys. 8), których powierzchnie zajmowały 0,4 km² (tabela 4). W wyniku tego znaczna część obszarów nagich piasków została uszczuplona. Staw znajdujący się najbardziej na wschód oddzielony był od pozostałych drogą ciągnącą się na południe w kierunku miejscowości Laski. Przebiegała ona wówczas fragmentami wzdłuż obszarów nagich piasków. Budowa ciągu sztucznych stawów miała duże znaczenie w przyspieszeniu procesów sukcesyjnych ze względu na wzrost uwilgotnienia podłoża piaszczystego także na przyległych obszarach. W ten sposób doszło do zahamowania procesów eolicznych, czego konsekwencją było wkraczanie roślinności. Należy podkreślić, że główny czynnik hamujący tempo sukcesji na obszarze Pustyni Błędowskiej stanowiło niestabilne i ubogie dla organizmów żywych podłoże piaszczyste.

Przebieg koryta Białej Przemszy w 1933 roku pokrywał się w części z jej współczesnym korytem. Od strony południowej rzeka ta przylegała wówczas jeszcze miejscami do obszarów nagich



Rys. 7. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1933 rok
 Fig. 7. The Błędów Desert and their neighbourhood on the topographic map, state from 1933



Rys. 8. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolicy na podstawie mapy z 1933 roku

1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — obszary leśne, 3 — łęgi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 4 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 5 — granica obszaru badań, 6 — drogi, 7 — współczesna sieć rzeczna, 8 — sieć rzeczna w 1933 roku

Fig. 8. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of map from 1933

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — forest areas, 3 — riverside carrs and hygrophilous communities, 4 — arable field, pasture and buildings, 5 — border of investigation area, 6 — roads, 7 — present river network, 8 — river network in 1933

Tabela 4
Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic
na mapie z 1933 roku

Table 4
Landscape components of Błędów Desert and their
neighbourhood on the map from 1933

Elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawionych roślinności	15,2	41,2
Obszary leśne	15,6	42,3
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	2,3	6,2
Stawy hodowlane	0,4	1,1
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	3,4	9,2
Razem	36,9	100,0

piasków. Częste zmiany jej koryta (efekt zasypywania przez piaski) spowodowały rozszerzenie doliny i zwilgocenie coraz większych powierzchni piaszczystych, a w efekcie zmniejszenie obszarów deflacyjnych. Jak wynika z mapy, Biała Przemsza charakteryzowała się obecnością licznych meandrów (rys. 7), które zachowały się do dnia dzisiejszego. Może to świadczyć o tym, że już w tym czasie tworzyły się duże wały wydmowe, zwłaszcza na jej południowym brzegu, które nie pozwoliły na dalsze zmiany przebiegu koryta rzecznego.

Zdjęcia lotnicze z 1955 roku

Na zdjęciu lotniczym z 1955 roku północna część Pustyni Błędowskiej w większości przedstawia się jako rozległy obszar deflacyjny, którego zachodnie i północno-zachodnie krańce tworzą wały wydmowe (rys. 9). Podobną sytuację obserwuje się w południowej części, zwłaszcza wzdłuż równoleżnikowo płynącej Białej Przemszy. Oprócz dużych wałów wydmowych znajdują się tu także obszary przewiane, z wydmami o różnych rozmiarach i kształtach. Powierzchnia obszarów piaszczystych, w stosunku do okresów wcześniej analizowanych, wyraźnie zmniejszyła się na rzecz pokrywy roślinnej (tabela 5). Wystę-

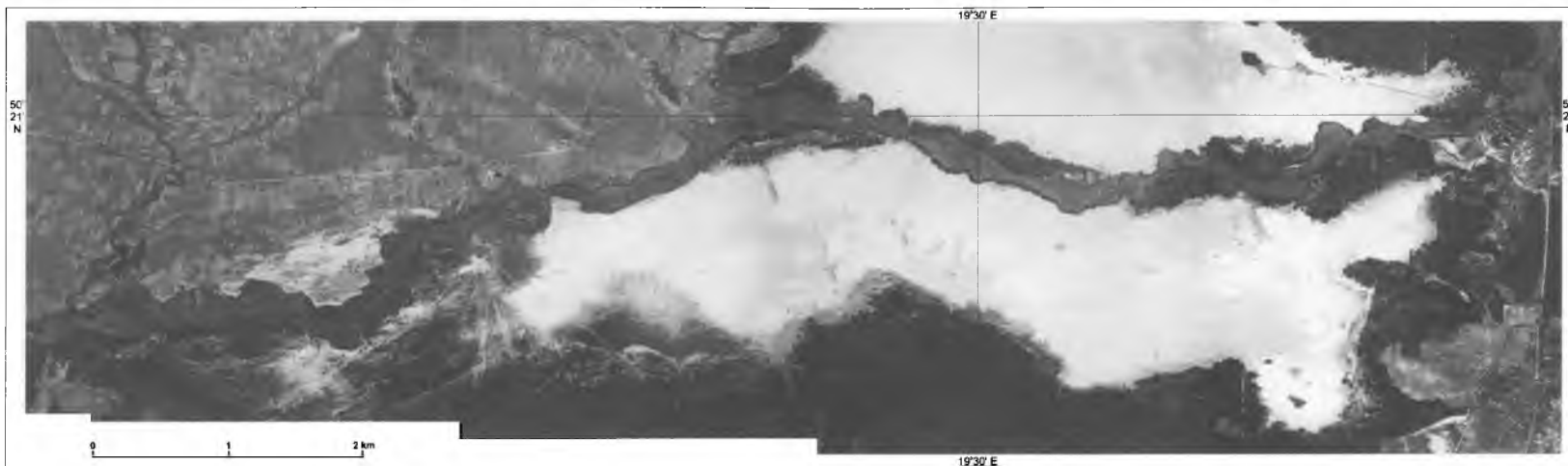
pujący na północ od rzeki Białej oraz na południe od rzeki Białej Przemszy pas nagich piasków został częściowo skolonizowany przez rośliny (rys. 9, 10).

Jak wynika ze zdjęć lotniczych Pustyni Błędowskiej, zasadniczej zmianie uległa, zwłaszcza po zaprzestaniu użytkowania stawów hodowlanych, zachodnia część terenu. Obszary te zaczęły podlegać procesom deflacji. Jednocześnie rozpoczęły się procesy zarastania, czemu sprzyjało wilgotne podłoże zanikających stawów, które stworzyło sprzyjające warunki ekologiczne, umożliwiające zatrzymywanie i kiełkowanie nasion.

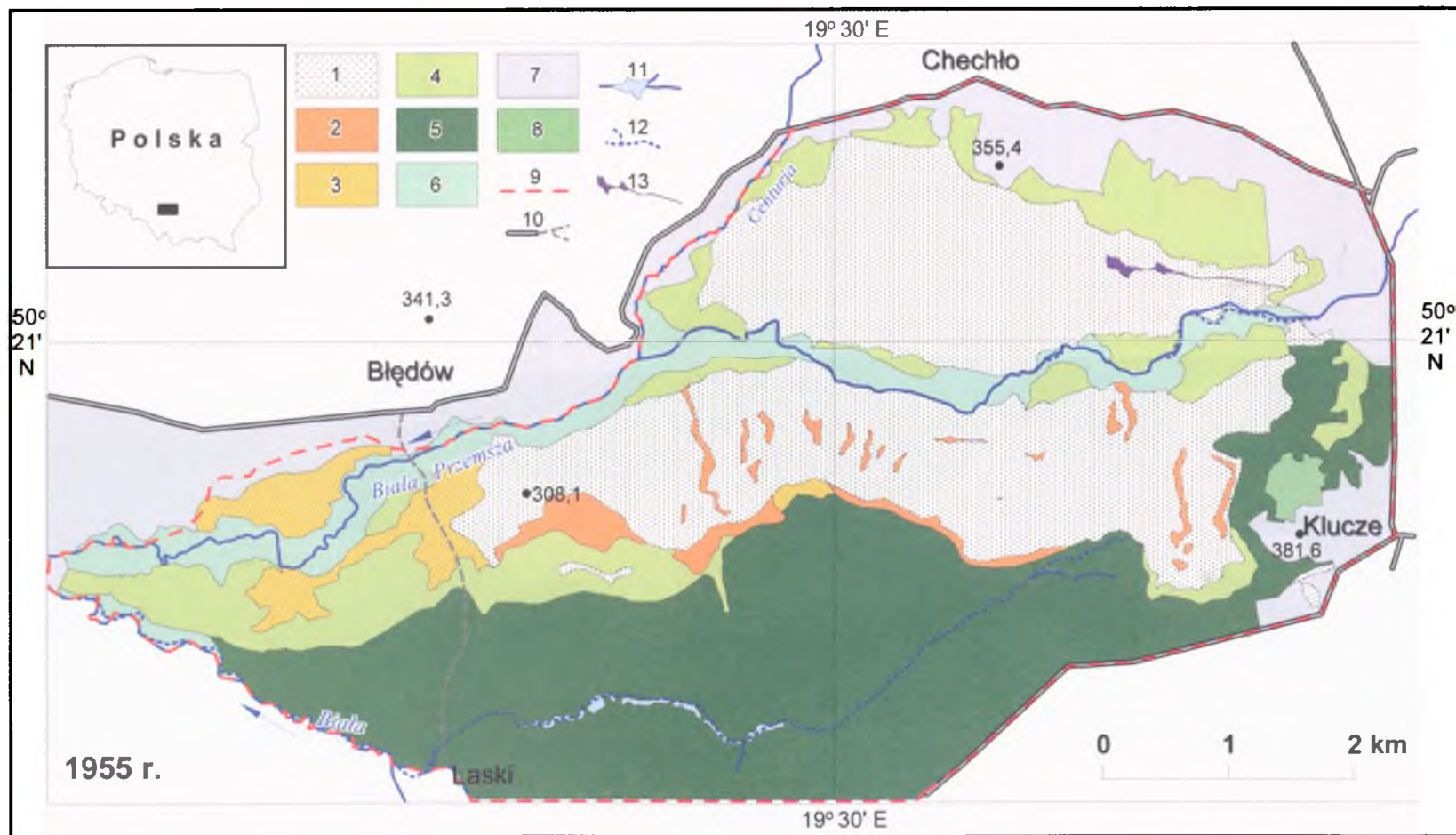
Stosunkowo szybki proces kolonizacji obserwuje się, jak już wspomniano, w zachodniej części Pustyni Błędowskiej, zarówno na północ jak i na południe od Białej Przemszy, gdzie zasiedliły się psammofilne murawy szczotlichowo-strzęplicowe, reprezentujące klasę *Koelerio glaucae-Corynephoretea canescentis*, oraz związki *Corynephorion canescentis* i *Koelerion glaucae* z pojedynczymi gatunkami drzew i krzewów stanowiącymi biogrupy, będące w różnym stadium rozwoju. Na analizowanym obszarze biogrupy najczęściej są tworzone przez wierzbę piaszkową *Salix arenaria*, wierzbę ostrolistną *Salix acutifolia*, brzozę brodawkową *Betula pendula* i sosnę zwyczajną *Pinus sylvestris*, które dają zaczątek przyszłego lasu.

Typowe inicjalne murawy szczotlichowo-strzęplicowe charakterystyczne dla luźnego podłoża porastały tereny na południe od Białej Przemszy oraz na północ od przeredzonych borów na całej ich długości (rys. 9, 10). Mozaikowe i nierównomierne rozmieszczenie tych muraw w centralnej części pustyni jest uwarunkowane lokalnymi czynnikami siedliskowymi, głównie istnieniem gleb kopalnych, które także przyczyniły się do powstawania pagórków fitogenicznych zarówno na początku, jak i w miarę rozwoju wydmy. Od tego momentu można obserwować równocześnie zwiększanie się powierzchni opanowanej przez roślinność i tym samym wydmy. Kształt tych wydym i zasięg roślinności zależy od zachowanego płatu gleb kopalnych.

Wały wydmowe w bezpośrednim sąsiedztwie dolin Białej i Białej Przemszy zostały skolonizo-



Rys. 9. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1955 rok
Fig. 9. The Błędów Desert and their neighbourhood in the airphoto, state from 1955



Rys. 10. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1955 roku

1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — inicjalne murawy szczotlichowo-strzęplicowe, 3 — murawa szczotlichowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju, 4 — bór sosnowy o luźnym zwarciu drzewostanu, 5 — bór sosnowy świeży, 6 — łągi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 7 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 8 — las bukowy, 9 — granica obszaru badan, 10 — drogi, 11 — współczesna sieć rzeczna, 12 — sieć rzeczna w 1955 roku, 13 — obszar wylewania łągow posulfidowych

Fig. 10. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of airphoto from 1955

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — initial grasses of *Corynephorus* and *Koeleria*, 3 — *Corynephorus* grasses with biogroups in various degree of development, 4 — initial fresh pine coniferous forest with scattered tree stand, 5 — fresh pine coniferous forest, 6 — riverside carrs and hygrophilous communities, 7 — arable field, pasture and buildings, 8 — beech forest, 9 — border of investigation area, 10 — roads, 11 — present river network, 12 — river network in 1955, 13 — postsulfide flooding site

wane przez rośliny zarówno zielne, jak i krzewiasto-drzewiaste. Po obu stronach i na całej długości doliny Białej Przemszy mozaikowo formowały się przerzedzone bory sosnowe reprezentujące rząd *Cladonio-Vaccinietalia* i związek *Dicrano-Pinion*, które brały udział w formowaniu się wydmy. Powstawanie wydm wzdłuż rzeki i ściany lasu ma związek ze zwiększonym tarciem powietrza o zwarte pasy roślinności. Podobną sytuację obserwuje się także na wschód od rzeki Centurii w północnej części Pustyni Błędowskiej. Wokół obszarów piaszczystych wytworzył się pas roślinności przypominający pierścień. Jego zaczątek jest już widoczny na mapie z 1804 roku.

Wschodnią część Pustyni Błędowskiej, graniczącą z kuestą górnourajską zbudowaną ze skał wapiennych, porastały lasy liściaste i częściowo mieszane z klasy *Quercus-Fagetum*, które bezpośrednio przylegały do lotnych piasków i zachowały się do tej pory.

Należy podkreślić, że ówczesny przebieg koryta Białej Przemszy pokrywał się ze współczesnym. Świadczy to o wytworzeniu się, jak już wcześniej wspomniano, dużych wałów wydmy w południowej części doliny rzecznej i tworzeniu się stabilnego koryta. Od tego momentu rzeka nie zmieniła znacząco swego biegu. Dolinę Białej Przemszy porastały lasy liściaste (najczęściej łęgi olszowe, rzadziej olsy) ze związków *Alnion glutinosae*, *Alno-Ulmion* i zarosła wierzbowe należące do klasy *Salicetea purpureae* oraz liczne zbiorowiska nieleśne z klas: *Phragmitetea*, *Scheuchzerio-Caricetea fuscae*, *Artemisietea* oraz *Molinio-Arrhenatheretea*. Rozmieszczenie zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i w jej okolicach przedstawiają rys. 10 i tabela 5.

Kolejnym elementem pojawiającym się w krajobrazie Pustyni Błędowskiej były powierzchnie, do których rurociągami dostarczano ługi posulfitowe pochodzące z zakładów papierniczych w Kluczach i wylewano je do sztucznych zagłębień. Do dzisiaj wyraźne są ich pozostałości, zwłaszcza sztuczne wały i rury azbestowe. Obszary te stanowiły, podobnie jak sztuczne stawy hodowlane w okresie międzywojennym, ważne ogniwo sukcesyjne zarówno na początku, jak i w późniejszych stadiach sukcesyjnych.

Tabela 5

Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1955 rok

Table 5

The participation of vegetation community in the area of Błędów Desert and their neighbourhood, 1955

Zbiorowiska roślinne i inne elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszary piasków pozbawionych roślinności	11,3	30,6
Inicjalne murawy szczotlichowo-strzęplicowe	0,8	2,2
Murawa szczotlichowo-strzęplicowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju	1,2	3,3
Bór sosnowy o luźnym zwarciu drzewostanu	4,9	13,3
Bór świeży	12,3	33,3
Las bukowy i las mieszany	0,2	0,5
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	2,6	7,0
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	3,6	9,8
Razem	36,9	100,0

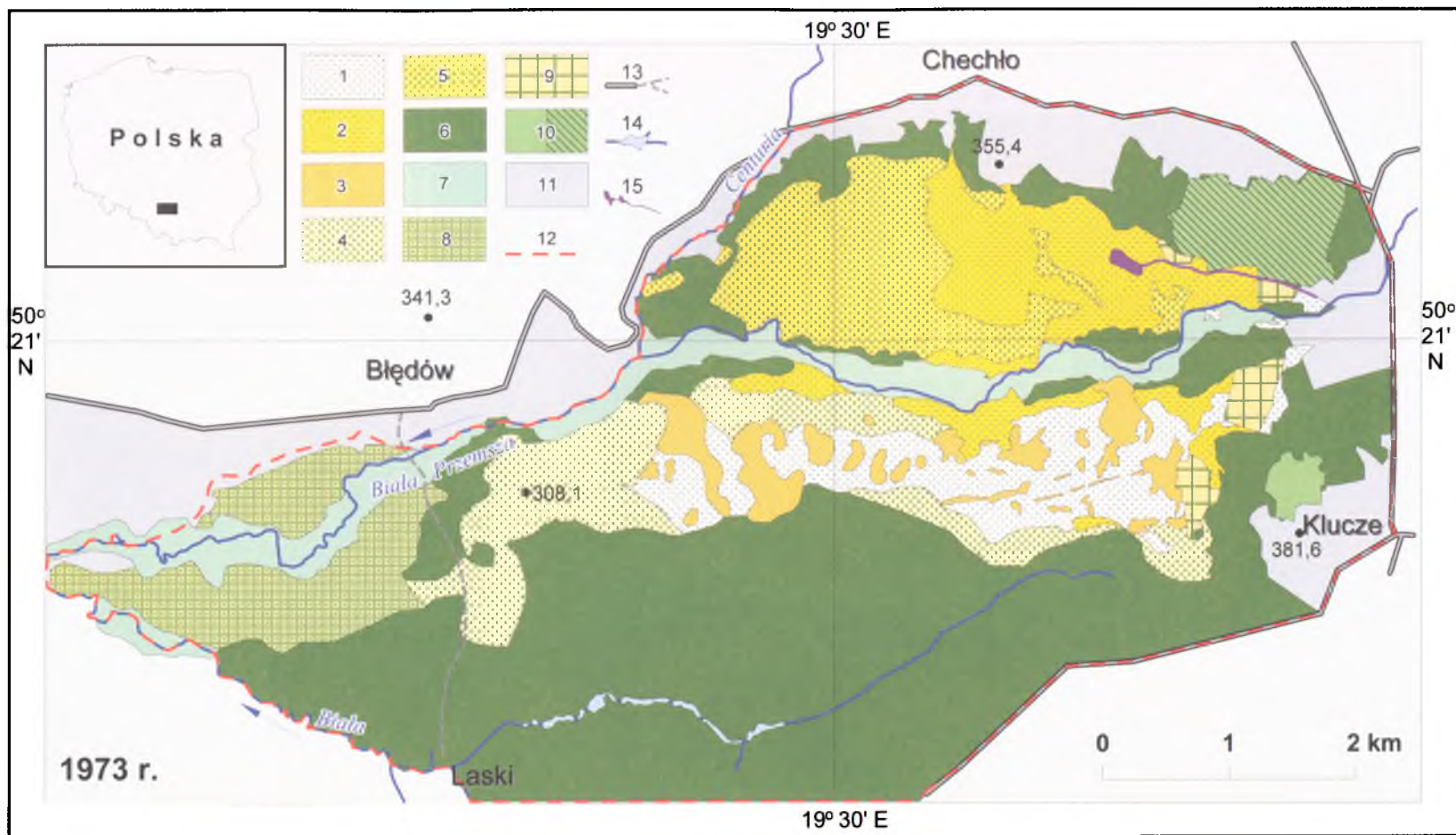
Zdjęcia lotnicze z 1973 roku

Na zdjęciu lotniczym Pustyni Błędowskiej, wykonanym w 1973 roku, tj. po upływie 18 lat w stosunku do poprzednio analizowanego okresu, widać istotne zmiany w przeobrażeniach roślinności zarówno na drodze naturalnej, jak i wspomaganych przez człowieka (rys. 11, 12).

Rozległe obszary niecki deflacyjnej w północnej i południowej części Pustyni uległy zasadniczym zmianom. W porównaniu z 1955 rokiem zmniejszyły się powierzchnie czynnych pól deflacyjnych na całym obszarze (tabela 6). Niemniej jednak największe takie powierzchnie zachowały się na północ od źródła rzeki Białej. Zwiększyły się rozmiary wydmy, zwłaszcza na południe od Białej Przemszy, zarówno w kierunku zachodnim, jak i wschodnim. Oprócz dużych wałów wydmy znajdowały się tam także obszary zwydmione, z wydmy o różnych rozmiarach i kształtach.



Rys. 11. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1973 rok
Fig. 11. The Błędów Desert and their neighbourhood in the airphoto, state from 1973



Rys. 12. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1973 roku

1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — murawy szczotlichowo-strzęplicowe, 3 — murawa szczotlichowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju, 4 — zbiorowiska z dominacją *Salix acutifolia* w kompleksie z murawami szczotlichowo-strzęplicowymi, 5 — zbiorowiska z dominacją *Salix arenaria* w kompleksie z murawami szczotlichowo-strzęplicowymi, 6 — bór sosnowy świeży, 7 — łęgi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 8 — dosadzenia w obrębie boru sosnowego, 9 — nasadzenia *S. acutifolia*, 10 — las bukowy i las mieszany, 11 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 12 — granica obszaru badań, 13 — drogi, 14 — współczesna sieć rzeczna, 15 — obszar wylewania ługów posulfidowych

Fig. 12. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of airphoto from 1973

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — grasses of *Corynephorus* and *Koeleria*, 3 — *Corynephorus* grasses with biogroups in various degree of development, 4 — community with domination of *Salix acutifolia* in complex with *Corynephorus* and *Koeleria* grasses, 5 — community with domination of *Salix arenaria* in complex with *Corynephorus* and *Koeleria*, 6 — fresh pine coniferous forest, 7 — riverside carrs and hygrophilous communities, 8 — plantation within pine forest, 9 — plantation of *S. acutifolia*, 10 — beech and mixed forests,

11 — arable field, pasture and buildings, 12 — border of investigation area, 13 — roads, 14 — present river network, 15 — postsulfide flooding site

W zachodniej części obszaru Pustyni Błędowskiej dokonano sztucznych dosadzeń (2,2 km², tabela 6) w obrębie rzadkiego zadrzewienia sosnowego (składającego się ze starych i pokrzywionych sosen będących w znacznym oddaleniu od siebie) podlegającego naturalnym procesom sukcesji. W ramach dolesienia wprowadzono wówczas sosnę zwyczajną *Pinus sylvestris* oraz w niewielkich ilościach modrzewia europejskiego *Larix decidua* i świerka pospolitego *Picea abies*. Obecnie w obrębie tych nasadzeń można spotkać pojedyncze, niskie, pokrzywione oraz płożące się okazy sosny zwyczajnej z poprzednie-

Tabela 6

Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1973 rok

Table 6

The participation of vegetation community in the area of Błędów Desert and their neighbourhood, 1973

Zbiorowiska roślinne i inne elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawionych roślinności	2,3	6,2
Murawa szczytlichowo-strzęplicowa	2,6	7,0
Murawa szczytlichowo-strzęplicowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju	1,2	3,3
Zbiorowisko z dominacją <i>Salix acutifolia</i> w kompleksie z murawami szczytlichowo-strzęplicowymi	2,7	7,3
Zbiorowisko z dominacją <i>Salix arenaria</i> w kompleksie z murawami szczytlichowo-strzęplicowymi	2,6	7,0
Nasadzenia <i>Salix acutifolia</i>	0,4	1,1
Dosadzenia w obrębie boru sosnowego	2,2	6,0
Bór świeży	16,2	43,9
Las bukowy i las mieszany	1,1	3,0
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	2,3	6,2
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	3,3	9,0
Razem	36,9	100,0

go okresu. Największy płat wspomnianych starych sosen, który tworzy obecnie płat naturalnego boru świeżego (4,4 km²), można spotkać na wierzchowinie wału wydmowego, przylegającego do doliny rzeki Białej, wzdłuż jej północnego brzegu. Rzadkie zadrzewienia sosnowe widoczne na zdjęciu z 1955 roku w ciągu 18 lat przekształciły się w bór świeży.

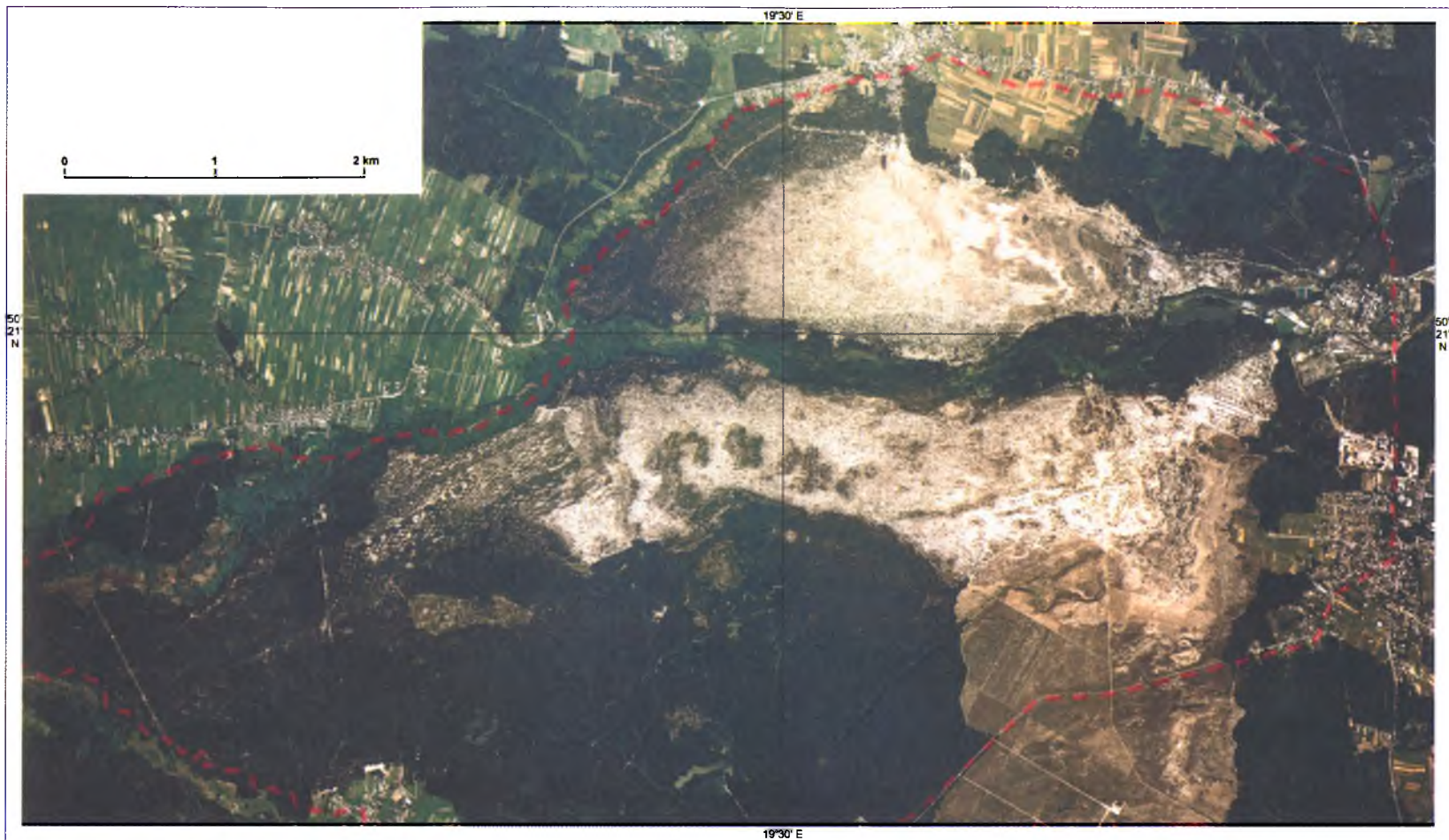
W tym samym okresie we wschodnim krańcu Pustyni Błędowskiej dokonano także na niewielkich powierzchniach sztucznych nasadzeń wierzby ostrolistnej. Nasadzenia w tej części pustyni uzasadniono tym, że lotne piaski zaczęły zasypywać pobliskie płaty roślinności i obszary zabudowy.

Na zdjęciu lotniczym z 1973 roku widoczna jest kolonizacja obszarów nagich piasków przez zielne rośliny psammofilne oraz krzewiaste formy wierzby i sosny. Na tym etapie na całym obszarze pustyni zachodzi naturalna sukcesja, poza fragmentami ze sztucznymi nasadzeniami. Dominującym gatunkiem tworzącym zbiorowiska jest *Salix acutifolia* w kompleksie z murawami szczytlichowymi i strzęplicowymi, które zajmują powierzchnię 2,7 km² (tabela 6).

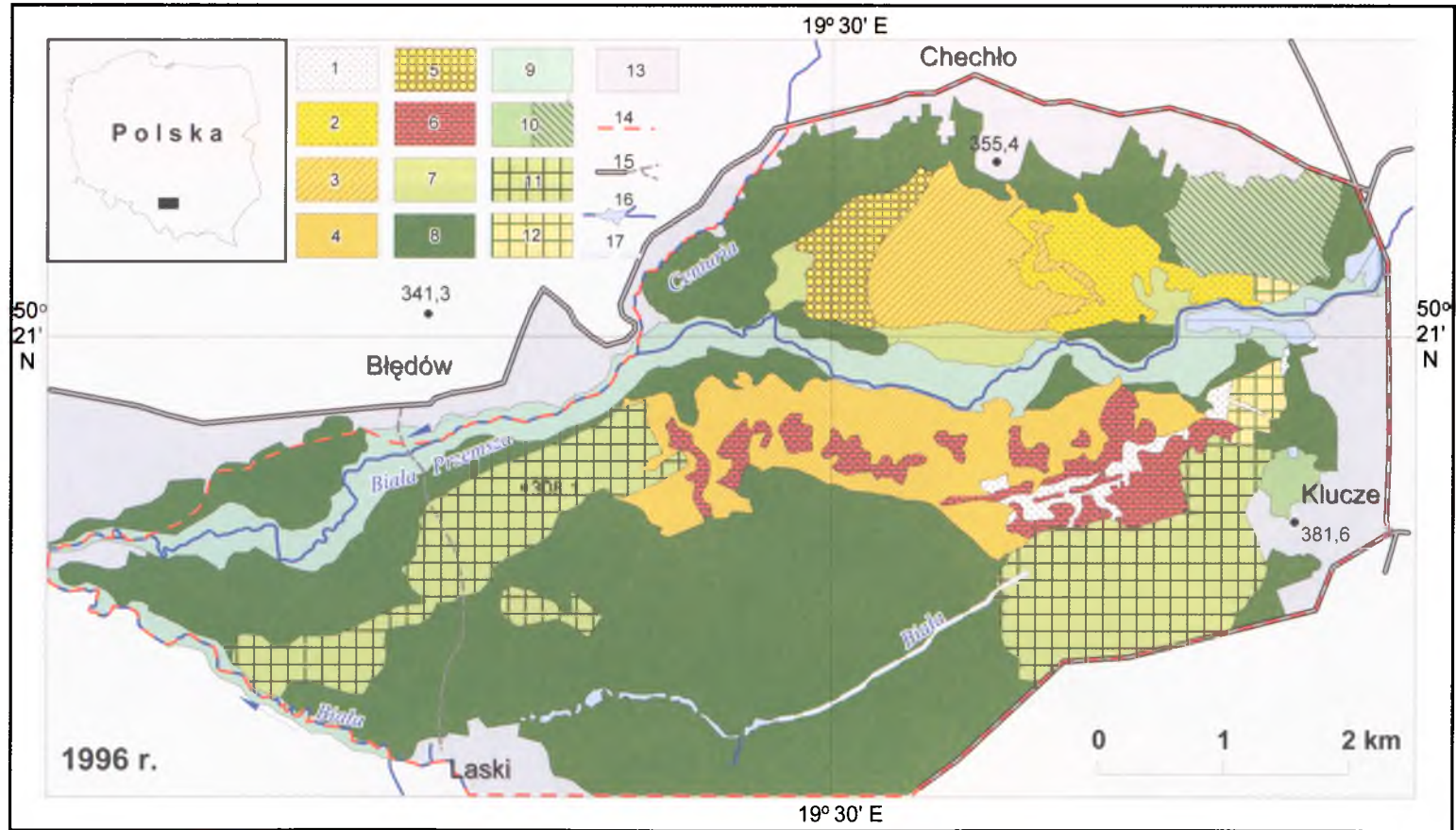
Zdjęcia lotnicze z 1996 roku

Po wybudowaniu huty „Katowice” utworzono wokół niej tzw. leśny pas ochronny. W ramach projektowanych zalesień całą zachodnią część Pustyni Błędowskiej, należąca do Dąbrowy Górniczej, obsadzono gatunkami drzewiastymi (rys. 13, 14). Wprowadzono wówczas drzewa rodzime, takie jak sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*, brzoza brodawkowata *Betula pendula*, olsza czarna *Alnus incana*, olsza szara *A. glutinosa*, i obce: sosnę czarną *P. nigra*, sosną wejmutkę *P. strobus*, robinie akacjową *Robinia pseudacacia* i dąb czerwony *Quercus rubra*.

Naprzemienne nasadzenia gatunków iglastych i liściastych, tworzące charakterystyczną szachownicę, są dobrze widoczne na zdjęciach lotniczych Pustyni Błędowskiej z 1996 roku (rys. 13). Do zalesień wykorzystano głównie gatunki iglaste (sosnę zwyczajną, sosnę czarną, a także na kilkuarowej powierzchni sosnę wej-



Rys. 13. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1996 rok
Fig. 13. The Błędów Desert and their neighbourhood in the airphoto, state from 1996



Rys. 14. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1996 roku

1 — obszar piasków pozbawionych roślinności, 2 — murawy szczotlichowo-strzęplicowe, 3 — murawy szczotlichowo-strzęplicowe permanentnie niszczone, 4 — murawy szczotlichowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju, 5 — zakrzewienia wierzbowo-brzozowo-osikowo-sosnowe, 6 — inicjalny bór sosnowy, 7 — bór sosnowy o luźnym zwarcie drzewostanu, 8 — bór sosnowy świeży, 9 — łągi i zbiorowiska związane z siedliskami wilgotnymi, 10 — las bukowy i las mieszany, 11 — nasadzenia *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *P. strobus*, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Quercus rubra*, 12 — nasadzenia *S. acutifolia*, 13 — pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane, 14 — granica obszaru badań, 15 — drogi, 16 — współczesna sieć rzeczna, 17 — sucha dolina rzeki Biała

Fig. 14. Interpretation sketch of Błędów Desert landscape components and their neighbourhood in base of airphoto from 1996

1 — sand areas devoid of vegetation, 2 — grasses of *Corynephorus* and *Koeleria*, 3 — grasses of *Corynephorus* and *Koeleria* continuously destroyed, 4 — *Corynephorus* grasses with biogroups in various degree of development, 5 — shrubs of willow-birch-aspens-pines, 6 — initial fresh pine coniferous forest, 7 — initial fresh pine coniferous forest with scattered tree stand fresh pine coniferous forest, 8 — fresh pine coniferous forest, 9 — riverside carrs and hygrophilous communities, 10 — beech and mixed forests, 11 — plantation of *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *P. strobus*, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Quercus rubra*, 12 — plantation of *S. acutifolia*, 13 — arable field, pasture and buildings, 14 — border of investigation area, 15 — roads, 16 — present river network, 17 — dry valley of Biała river

mutkę i modrzew europejski). Największą powierzchnię, w stosunku do innych gatunków sztucznie wprowadzonych, zajmują zróżnicowane wiekowo (od 15 do 30 lat) nasadzenia sosny zwyczajnej i sosny czarnej (osobniki sadzono co 40—50 cm). Starsze wiekowo „plantacje” są związane z pasem ochronnym huty „Katowice” i zajmują zachodnią część obszaru Pustyni Błędowskiej, administracyjnie należąca do Dąbrowy Górniczej. Najmłodsze nasadzenia na tym obszarze zostały wykonane w drugiej połowie lat 80. i na początku lat 90. XX wieku.

Z gatunków liściastych wykorzystano brzozę brodawkowatą i dąb czerwony, a w małych ilościach olszę czarną, olszę szarą oraz robinie akacjową. Nasadzenia z tymi gatunkami zajmują niewielkie powierzchnie i są rozrzucone nieregularnie na całym obszarze Pustyni Błędowskiej. W stosunku do innych gatunków liściastych nasadzenia brzozy brodawkowatej we wschodniej i południowo-wschodniej części terenu zajmują największą powierzchnię. Nasadzeń w południowo-wschodniej części Pustyni dokonano w latach 1992—1993 na obszarach pokrytych niegdyś przez lasy mieszane i bory sosnowe. Lasy te zostały zniszczone w wyniku pożaru, który miał miejsce w 1992 roku.

Jak widać na zdjęciu lotniczym i na szkicu interpretacyjnym (rys. 13, 14), rozległe jeszcze 25 lat temu pole deflacyjne zmniejszyło się i występuje w niewielkich fragmentach na południe od Białej Przemszy. Obecnie tereny te porastają murawy szczotlichowe i strzęplicowe oraz zakrzewienia brzozowo-osikowo-sosnowe, które powstały na terenach odkrzewień z lat 1996 i 1997, mających na celu utrzymanie powierzchni otwartych. Tym samym względna trwałość murawy szczotlichowo-strzęplicowej jest uwarunkowana stałym niszczeniem powierzchni przez spacerowiczów i pojazdy mechaniczne. Na południe od Białej Przemszy zachowały się niewielkie płyty nagich piasków (tabela 7), a ich trwałość również ma związek z działalnością człowieka (turystyka piesza, samochodowa i konna).

Opisane murawy szczotlichowo-strzęplicowe z biogrupami krzewów i drzew znajdują się obecnie w stadium zaawansowanym. Oznacza to stopniowe zastępowanie wierzby ostroliściej przez

Tabela 7
Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1996 rok

Table 7
The participation of vegetation community in the area of Błędów Desert and their neighbourhood, 1996

Zbiorowiska roślinne i inne elementy krajobrazu	Powierzchnia [km ²]	Udział w powierzchni całkowitej [%]
Obszar piasków pozbawionych roślinności	0,3	0,8
Murawa szczotlichowo-strzęplicowa	0,9	2,5
Murawa szczotlichowo-strzęplicowa permanentnie niszczone	1,4	3,8
Murawa szczotlichowo-strzęplicowa z biogrupami w różnym stopniu rozwoju	2,6	7,0
Zakrzewienia wierzbowo-brzozowo-osikowo-sosnowe	0,6	1,6
Inicjalny bór sosnowy	1,3	3,5
Bór sosnowy o luźnym zwarciu drzewostanu	0,5	1,4
Bór świeży	15,1	40,9
Roślinność związana z siedliskami wilgotnymi	3,1	8,4
Las bukowy i las mieszany	1,2	3,3
Nasadzenia <i>Salix acutifolia</i>	0,3	0,8
Nasadzenia <i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. strobus</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>A. incana</i> i <i>Quercus rubra</i>	5,3	14,4
Pola uprawne, pastwiska i obszary zabudowane	4,1	11,1
Zbiorniki wodne	0,2	0,5
Razem	36,9	100,0

sosnę zwyczajną. Obserwuje się jej całkowite ustąpienie w biogrupach i formowanie się inicjalnego boru sosnowego na wydmach, które wytworzyły się na glebach kopalnych.

Bory sosnowe rozwijające się na obszarze Pustyni Błędowskiej reprezentuje *Leucobryo-Pinetum* oraz płyty *Cladonio-Pinetum*. Ten ostatni zespół występuje na niewielkich powierzchniach w rozproszeniu na całym obszarze Pustyni Błędowskiej, podlegającej naturalnej sukcesji roślin-

no-glebowej. Aktualnie fitocenozy te w największym skupieniu występują w postaci rzadkiego boru sosnowego na północ od Białej Przemszy. Runo stanowią przede wszystkim gatunki zarodnikowe, zwłaszcza porosty z rodzaju *Cladonia* i *Cladina*. Szczegółowy udział poszczególnych gatunków uczestniczących w sukcesji i tworzących zbiorowiska omówiono w dalszej części tego rozdziału. Szacunkową powierzchnię zajęta przez roślinność przedstawia tabela 7.

6.2. Stadia i fazy sukcesji

Stopień utrwalania podłoża piaszczystego był podstawą kryterium podziału sukcesji na poszczególne stadia i ich fazy. Kryterium stadium inicjalnego wyznacza podłoże całkowicie nieutrwalone (początek stadium), gdzie dopiero zaczynają wkraczać rośliny, oraz częściowo utrwalone i zadarnione przez murawy psammofilne (koniec stadium). Za stadium optymalne (przejściowe) uznano powierzchnie już utrwalone z udziałem zbiorowisk krzewiastych, głównie z dominacją wierzb, z domieszką krzewiastych sosen. Stadium terminalne obejmuje dalsze przekształcenia biocenoz krzewiastych w kierunku zalesienia i osiągnięcia fazy końcowej, jaką jest zbiorowisko borowe.

Sukcesja pierwotna

Serie naturalnej sukcesji pierwotnej zaczynają algocenozy, poprzez murawy psammofilne z klasy *Koelerio glaucae-Corynephoretea canescentis*, zwłaszcza ze związków *Corynephorion canescentis* i *Koelerion glaucae*, zarastające stopniowo pojedynczymi gatunkami drzew i krzewów, które z kolei tworzą biogrupy w stadium optymalnym przechodzące do borów sosnowych ze związku *Dicrano-Pinion*, nazywanych dalej fazą borową w ujęciu FALIŃSKIEGO (1986a). W serii borowej na badanym obszarze wyróżniono i opisano na drodze porównawczej 9 faz, które połączono w 3 stadia: inicjalne, optymalne i terminalne. Ogólny schemat sukce-

sji pierwotnej roślinności na obszarze Pustyni Błędownskiej przedstawia rys. 15.

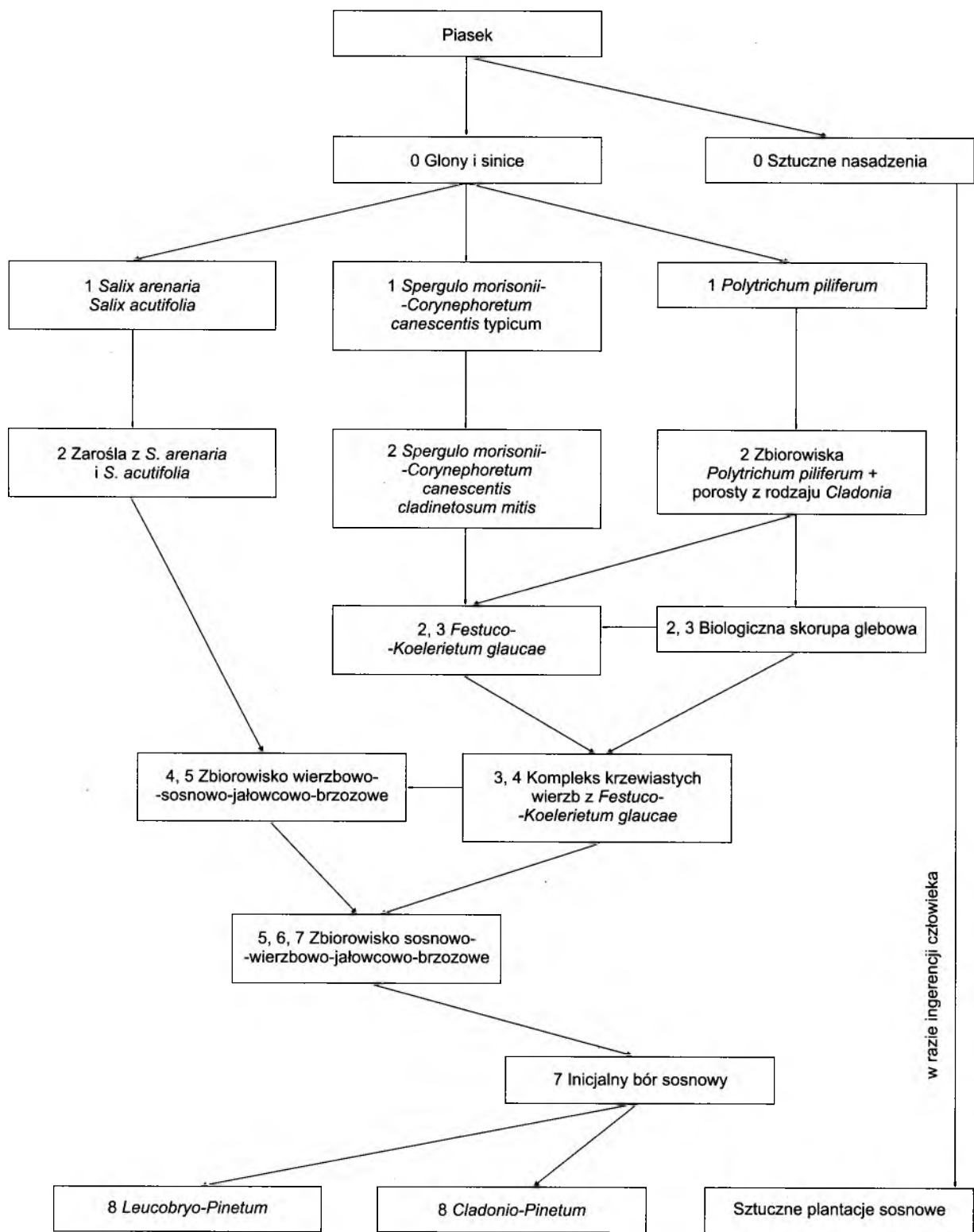
Stadium inicjalne

Stan wyjściowy — faza 0 — to nagi piasek, który zarówno na powierzchni pól deflacyjnych, jak i w obszarach akumulacji osadów eolicznych jest zasiedlany przez sinice oraz naziemne glony glebowe. Obecność glonów na powierzchni piasku łatwo można zaobserwować wczesną wiosną w okresie wysokiej wilgotności. Na powierzchni piasku tworzą one łatwo dostrzegalny, zielony nalot (fot. 1 a, b), zanikający w okresach niedostatku wilgotności, tj. pod koniec maja i na początku czerwca.

Sinice w tej fazie reprezentują: *Chroococcus minor*, *Ch. minutus*, *Ch. varius*, a glony: *Pinnularia borealis*, *Stichococcus chlorelloides*, *Klebsormidium crenulatum* i *Cylindrocapsa* sp. (tabela 8). Poza tym autor zaobserwował powolne wkraczanie, na już zasiedlone przez glony powierzchni, *Polytrichum piliferum*, *Ceratodon purpureus* i *Rhacomitrium canescens*. Biocenotyczna rola wymienionych gatunków polega na zapoczątkowaniu procesów utrwalania piasków oraz gromadzeniu i utrzymywaniu wilgoci.

Faza 1. zaczyna się trzytorowo i różni się sposobem zasiedlania. Wspólną cechą jest wkraczanie roślin na powierzchnie najczęściej już zasiedlone przez sinice oraz glony. Oprócz wspomnianych glonów i sinic w tej fazie pojawiają się *Stichococcus cf. fragilis* oraz *Gloeocapsa atrata*, natomiast niektóre sinice wycofują się (tabela 8).

Obserwuje się masowe wkraczanie gatunków zarodnikowych oraz pojawienie się gatunków naczyniowych, takich jak: *Corynephorus canescens*, *Cardaminopsis arenosa*, *Carex hirta*, *Rumex acetosella*, *Hieracium pilosella*, *Elymus arenarius*, *Jasione montane*, *Cerastium semidecandrum* oraz pojedynczo *Koeleria glauca*. Są to gatunki wczesnosukcesyjne ułatwiające pojawianie się innych gatunków w przyszłości, które zapoczątkowują formowanie się *Spergulo morisonii-Corynephorum canescentis typicum* (fot. 2 a, b). Gatunkiem dominującym wśród roślin naczyniowych w tej fazie i w tym zespole jest *Corynephorus canescens*. Jest to roślina dobrze przystosowana do terenów ubogich w substancje



Rys. 15. Schemat przebiegu sukcesji na obszarze Pustyni Błędowskiej (wg RAHMONOVA, 1998, zmienione), fazy: 0—8

Fig. 15. The course of succession in the area of Błędów Desert (after RAHMONOV, 1998, changed), phases: 0—8



Fot. 1 a — Nalot glonowy na powierzchni piasku na polu deflacyjnym Pustyni Błędowskiej. **b** — kolonizacja piasku przez glony nitkowate (40[×]) (fot. autor)

Phot. 1 a — Algal coat on sand surfaces in deflation field in the area of Błędów Desert, **b** — sand colonization by filamentous algae (40[×]) (phot. author)

Wymiana gatunków zarodnikowych i następstwo zbiorowisk w trakcie sukcesji pierwotnej na obszarze Pustyni Błędowskiej

Species changes of cryptogamous plant and communities sequence during the primary succession in Błędów Desert

	Stadium inicjalne				Stadium optymalne		Stadium terminalne			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Fazy rozwoju roślinności	Algae i Cyanophyta	<i>Spergulo morisonii-Corynephoretum canescens</i> typicum	<i>Spergulo morisonii-Corynephoretum canescens</i> subass. <i>cladinetosum mitis</i> /zarośla z <i>S. arenaria</i> i <i>S. acutifolia</i>	zarośla wierzbowo-brzozowe z <i>Festuco-Koelerietum glaucae</i>		<i>Pinus sylvestris</i> — <i>Salix acutifolia</i> — <i>Salix arenaria</i> — <i>Juniperus communis</i> — <i>Betula pendula</i> — biogrupy			<i>Cladonio-Pinetum/Leucobryo-Pinetum</i>	
		<i>Salix arenaria</i> <i>Salix acutifolia</i>	<i>Festuco-Koelerietum glaucae</i> — biologiczna skorupa glebowa			<i>Salix acutifolia</i> — <i>Salix arenaria</i> — <i>Pinus sylvestris</i> — <i>Juniperus communis</i> — <i>Betula pendula</i> — biogrupy		inicjalny bór sosnowy		
		<i>Polytrichum piliferum</i>	zbiorowiska z <i>Polytrichum piliferum</i> + porosty z rodzaju <i>Cladonia</i>							
GLONY — ALGAE										
CHLOROPHYTA										
<i>Cylindrocapsa</i> sp.										
<i>Klebsormidium crenulatum</i>										
<i>Stichococcus chlorelloides</i>										
<i>S. cf. fragilis</i>										
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Pinnularia borealis</i>										
SINICE — CYANOPHYTA										
<i>Chroococcus varius</i>										
<i>Chroococcus minutus</i>										
<i>Chroococcus minor</i>										
<i>Gleocapsa atrata</i>										
<i>Merismopedia glauca</i>										
<i>Synoechococcus aeruginosus</i>										

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
POROSTY --- LICHENES									
<i>Cladonia cornuta</i>			—————			—————			
<i>Diploschistes muscorum</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia foliacea</i>		———	—————		—————				
<i>Stereocaulon condensatum</i>		—————	—————		—————				
<i>Stereocaulon incrustatum</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia pyxidata</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia cervicornis</i> ssp. <i>verticilata</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia cariosa</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia chlorophaea</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia floerkeania</i>		—————	—————		—————				
<i>Cladonia glauca</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia fimbriata</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia uncialis</i>		—————	—————		—————			—————	-----
<i>Coelocaulon aculeatum</i>		—————	—————		—————			—————	-----
<i>Cladonia gracilis</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia phyllophora</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladina mitis</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia subulata</i>		-----	—————		—————			—————	
<i>Cetraria islandica</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia furcata</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladina arbuscula</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Peltigera rufescens</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Cladonia furcata</i> f. <i>fissa</i>		—————	—————		—————			—————	
MSZAKI --- BRYOPHYTA									
<i>Polytrichum piliferum</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Ceratodon purpureus</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Rhacomitrium canescens</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Brachythecium albicans</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Polytrichum juniperinum</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Bryum capillare</i>	-----	—————	—————		—————			—————	-----
<i>Pohlia nutans</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Pleurozium schreberi</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Hylocomium splendens</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Hypnum cupressiforme</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Dicranum polysetum</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Dicranum scoparium</i>		—————	—————		—————			—————	
<i>Climacium dendroides</i>		—————	—————		—————			—————	



Fot. 2. Fragment murawy szczotlichowej: **a** — postać inicjalna, **b** — postać typowa (fot. autor)
Phot. 2. The fragment of *Corynephorus* grasses: **a** — initial form, **b** — typical form (phot. author)

pokarmowe i dobrze rozwija się na luźnych piaskach, charakteryzujących się dużą aeracją. Dominuje ona w zasiedlaniu podłoża luźnego, niestabilnego oraz nieporośniętego przez inną roślinność. Kolejnym ważnym wczesnosukcesyjnym gatunkiem jest *Elymus arenarius*, który zapoczątkowuje proces utrwalaenia i zarastania luźnych piasków. Gatunek ten na obszarze Pustyni Błędowskiej występuje sporadycznie, najczęściej w jej północnych fragmentach.

W fazie 1., oprócz pojedynczych stanowisk w obrębie murawy szczotlichowej, *Polytrichum piliferum* tworzy wielkopowierzchniowe płaty (fot. 3), najczęściej z okazami męskimi i częściowo z okazami żeńskimi. W takich zwartych darniach brak jest gatunków naczyniowych. Rośliny kwiatowe mogą się osiedlać dopiero w miejscach, w których doszło do mechanicznego uszkodzenia darni.

W fazie tej pojawiają się także porosty, przede wszystkim z rodzaju *Cladonia* i pojedynczo z innych rodzajów. Występują zarówno na powierzchni piasku pokrytego glonami (w okresie letnim glony mogą być niewidoczne, co nie ozna-

cza ich braku), jak i w obrębie muraw szczotlichowych i płatów *P. piliferum*. Uczestniczą tu następujące gatunki: *Stereocaulon condensatum*, *S. incrustatum*, *Diploschistes muscorum*, *Cladonia cornuta*, *C. glauca*, *C. fimbrita*, *C. uncialis*, *C. cervicornis* ssp. *verticilata* i inne. Są to gatunki, które w kolejnych fazach kolonizują płaty *P. piliferum*, prowadząc do ich destrukcji.

Trzeci sposób zasiedlania piasków wiąże się z pojedynczymi krzewami *Salix arenaria* lub *S. acutifolia*. Zasiedlają one fragmenty powierzchni piasku z dużym udziałem frakcji pyłu, który gromadzi więcej wilgoci niż sąsiednie powierzchnie (fot. 4 a, b).

W kolejnych latach rozwijająca się wierzba zwiększa swój okap i utrwala piasek. W cieniu jej okapu tworzą się mikrosiedliska o specyficznym mikroklimacie, który z kolei sprzyja zasiedlaniu przez inne gatunki. Na piasku wzbogaconym w składniki pokarmowe (opad i nawiane liście) w kępach wierzb rozwijają się rośliny zarodnikowe, np. porosty z rodzaju *Cladonia*, i naczyniowe. Z roślin naczyniowych pojawiają się tu *Koeleria glauca*, *Hieracium pilosella* oraz siew-



Fot. 3. Płat *Polytrichum piliferum* (fot. autor)

Phot. 3. The patch of *Polytrichum piliferum* (phot. author)



Fot. 4 a — *Salix arenaria* na polu deflacyjnym, **b** — korzenie *S. arenaria* w wkładce materiału pylastego w utworach piaszczystych (fot. autor)

Phot. 4 a — *Salix arenaria* in deflation field, **b** — roots of *S. arenaria* in insert of dusty materials in sand (phot. author)

ki *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, a często także *Juniperus communis*. Rozpoczynają one formowanie się zbiorowisk wierzbowo-sosnowo-jałowcowo-brzozowych.

Fazy 2. i 3. to okres tworzenia się specyficznego zbiorowiska z udziałem roślin zarodnikowych (glony, mszaki, porosty), co prowadzi do powstania tzw. biologicznej skorupy glebowej. W warunkach Pustyni Błędowskiej w budowie takich układów biorą udział przede wszystkim przedstawiciele *Algae*, *Cyanophyta* oraz *Polytrichum piliferum*, *P. juniperinum*, *Ceratodon purpurea* i porosty z rodzaju *Cladonia*. W zależności od tego, jaki gatunek dominuje, skorupę można nazwać glonową, porostową czy mszysto-porostową (fot. 5 a, b).

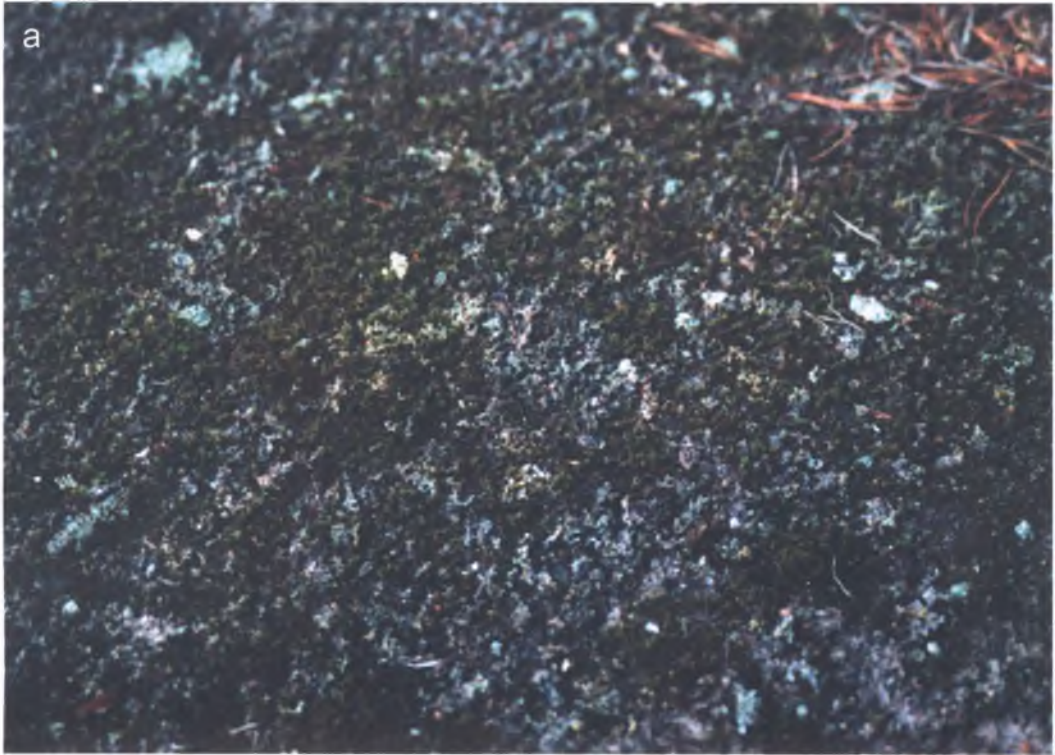
Biologiczna skorupa glebowa jest to powierzchnia mocno utrwalona, która nie podlega już procesom eolicznym. W obrębie takich powierzchni, w miejscu zniszczonym mechanicznie przez ludzi lub zwierzęta (np. mrówki), pojawiają się siewki sosny zwyczajnej (fot. 6), jałowca i brzozy oraz gatunków zielnych (tego typu powierzchnie chętnie zasiedla *Koeleria glauca*).

W omawianych fazach formuje się ostatecznie zespół *Spergulo morisonii-Corynephorum canescentis cladinetosum mitis*, który poprzedzony jest stopniowym wkraczaniem znacznej liczby gatunków takich jak: *Cladonia foliacea*, *C. glauca*, *C. furcata*, *C. cariosa*, *C. chlorophaea*, *C. pyxidata*, *C. floerkeania*, *C. fimbriata*, *C. gracilis*, *C. subulta* oraz *Cladina mitis*, *C. arbuscula* i *Coelocaulon aculeata*. Z roślin nasiennych, oprócz wspomnianych w fazie 1., pojawiają się lub zwiększają swoje znaczenie sukcesyjne następujące taksony: *Jasione montane*, *K. glauca*, *Festuca ovina*, *F. psammophila*, *Sclerantus annuus*, *S. perennis*, *Artemisia absinthium*, *Trifolium arvense*, *Thymus serpyllum*, *T. pulegioides*, *Hernaria glabra* i inne (tabela 9). Pod koniec fazy 2. już wyraźnie obserwuje się stopniowe ustępowanie murawy szczytlicowej na rzecz murawy strzęplicowej *Festuco-Koelerietum glaucae* (fot. 7) i jej ostateczne ukształtowanie się pod koniec stadium inicjalnego, w którym fizjonomię zespołu kształtuje *Koeleria glauca*. Dzięki swym przystosowaniom ekologicznym stanowi ona ważne ogniwo sukcesji

w tak ekstremalnych warunkach ekologicznych, jakimi są na Pustyni Błędowskiej warunki edaficzne.

Termin pojawienia się gatunków drzewiastych

Rozwój murawy napiaskowej w kierunku zbiorowiska leśnego autor zaobserwował stosunkowo wcześniej (tabela 9). Dowodzą tego pojedyncze siewki krzewów i drzew. Tak rzadkie występowanie siewek drzew uwarunkowane jest przede wszystkim właściwościami gleb piaszczystych, np. brakiem grzybów mikoryzowych, nieutrwalonym podłożem, ubóstwem składników pokarmowych, niedostatkami wody i wzmożonymi procesami eolicznymi. Biologiczna skorupa glebowa też uniemożliwia dostanie się nasion do banku i w efekcie ich rozwój. Wkraczaniu sosny sprzyjają małoskalowe zaburzenia powodowane przez człowieka lub zwierzęta (mrówki) na kobiercu mszaków oraz w wyniku fragmentacji obumierających naturalnie poduszek *Polytrichum piliferum* (fot. 6). Obszar badań charakteryzuje się dużą ilością odsłoniętych powierzchni, łatwiej dostępnych dla rozwoju gatunków drzewiastych. Ich siewki narażone są natomiast na wyginięcie z powodu braku dostępności wody i zasypywania przez piasek. Niemniej jednak dobrze rozwijają się w płatach mszystych odsłoniętych przez mrówki i mrówkolwy. Nasiona sosny mogą się tam dostawać wieloma sposobami, mogą być przenoszone przez mrówki, wiatr czy wody spływające ze zbocza wydm. Pierwsze pokolenie sosny zwyczajnej ma charakter allochtoniczny i pochodzi z okolicznych lasów otaczających teren, jak dolina rzek Białej Przemszy i Białej. W dyspersji nasion *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Salix acutifolia*, *Alnus glutinosa* główną rolę odgrywa wiatr, a w przypadku dębu, buka i jałowca — ptaki. Drugie pokolenie (autochtoniczne) gatunków pionierskich dobrze uwidacznia się w przypadku sosny, która miejscami masowo występuje pod wierzbami. Nasiona pochodzą z okazów owocujących na tym terenie i bezpośrednio z obok rosnących sosen. Jednakże osobniki rozwijające się pod wierzbami nie zawsze są autochtoniczne, ponieważ badany obszar otoczony jest kompleksami leśnymi z dominacją sosny.



Fot. 5 a — Skorupa mszysto-porostowa, **b** — skorupa glonowa na Pustyni Błędowskiej (fot. autor)
Phot. 5 a — Mosses-lichnes crust, **b** — algal crust in the area of Błędów Desert (phot. author)



Fot. 6. Rozwijające się *P. sylvestris* na zniszczonej powierzchni biologicznej skorupy glebowej na Pustyni Błędowskiej (fot. autor)

Phot. 6. The growth of *Pinus sylvestris* on disturbed surfaces of biological soil crusts in the area of Błędów Desert (phot. author)



Fot. 7. Fragment murawy strzęplicowej na tle biogrup (fot. autor)

Phot. 7. The fragment of *Koeleria* grasses on background of biogroups (phot. author)

Wymiana gatunków naczyniowych i następstwo zbiorowisk w trakcie sukcesji pierwotnej na obszarze Pustyni Błędowskiej

Species changes of vascular plants and communities sequence during the primary succession in Błędów Desert

	Stadium inicjalne				Stadium optymalne		Stadium terminalne		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Fazy rozwoju roślinności	Algae i Cyanophyta	<i>Spergulo morisonii-Corynephorum canescens</i> typicum	<i>Spergulo morisonii-Corynephorum canescens</i> subass. <i>cladinetosum mitis</i> / /zarośla z <i>S. arenaria</i> i <i>S. acutifolia</i>	zarośla wierzbowo-brzozowe z <i>Festuco-Koelerietum glaucae</i>		<i>Pinus sylvestris</i> — <i>Salix acutifolia</i> — <i>Salix arenaria</i> — <i>Juniperus communis</i> — <i>Betula pendula</i> — biogrupy			<i>Cladonio-Pinetum/Leucobryo-Pinetum</i>
		<i>Salix arenaria</i> <i>Salix acutifolia</i>	<i>Festuco-Koelerietum glaucae</i> — biologiczna skorupa glebowa		<i>Salix acutifolia</i> — <i>Salix arenaria</i> — <i>Pinus sylvestris</i> — <i>Juniperus communis</i> — <i>Betula pendula</i> — biogrupy		inicjalny bór sosnowy		
		<i>Polytrichum piliferum</i>	zbiorowiska z <i>Polytrichum piliferum</i> + porosty z rodzaju <i>Cladonia</i>						
GATUNKI DRZEWIASTE									
<i>Betula pendula</i> ROTH	a								
	b								
	c								
<i>Juniperus communis</i> L.	b								
	c								
<i>Pinus sylvestris</i> L.	a								
	b								
	c								
<i>Populus tremula</i> L.	b								
	c								
<i>Quercus robur</i> L.	a								
	b								
	c								
<i>Robinia pseudacacia</i> L.	b								
	b								
	c								
<i>Salix acutifolia</i> WILLD.	b								
<i>Salix arenaria</i> L.	b								
	b								
<i>Sorbus aucuparia</i> L. em. HEDL.	b								
	c								

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GATUNKI Wczesno- i Średniosukcesyjne									
Gatunki psammofilne									
<i>Oenothera biennis</i> L. s. s.									
<i>Jasione montana</i> L.									
<i>Elymus arenarius</i> L.									
<i>Echium vulgare</i> L.									
<i>Carex hirta</i> L.									
<i>Herniaria glabra</i> L.									
<i>Dianthus deltooides</i> L.									
<i>Dianthus carthusianorum</i> L.									
<i>Armeria maritima</i> (MILL.) Willd. subsp. <i>elongata</i> (HOFFM.) BONNIER									
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.									
<i>Thymus serpyllum</i> L. em. FR.									
<i>Thymus pulegioides</i> L.									
<i>Trifolium arvense</i> L.									
<i>Sedum acre</i> L.									
<i>Artemisia absinthium</i> L.									
<i>Scleranthus perennis</i> L.									
<i>Scleranthus annuus</i> L.									
<i>Artemisia campestris</i> L.									
<i>Cerastium arvense</i> L.									
<i>Cerastium semidecandrum</i> L.									
<i>Hypericum perforatum</i> L.									
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.									
<i>Euphrasia rostkoviana</i> HAYNE									
<i>Euphrasia stricta</i> D. WOLFF ex J.F. LEHM.									
<i>Festuca psammophila</i> (HACK. ex CELAK.) FRITSCH									
<i>Epipactis atrorubens</i> (HOFFM.) BESSER									
<i>Koeleria glauca</i> (SPRENG.) DC.									
<i>Hieracium pilosella</i> L.									
<i>Rumex acetosella</i> L.									
<i>Festuca ovina</i> L.									
<i>Corynephorus canescens</i> (L.) P. BEAUV.									
<i>Cardaminopsis arenosa</i> (L.) HAYEK									
<i>Carlina acaulis</i> L.									

GATUNKI PÓZNASUKCESYJNE									
Gatunki leśne									
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W.P.C. BARTON									
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) TRIN.									
<i>Orthilia secunda</i> (L.) HOUSE									
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.									
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.									
<i>Hieracium lachenalii</i> C.C. GMEL.									
<i>Epipactis helleborine</i> (L.) CRANTZ									
<i>Chamaecytisus ratisbonensis</i>									
(SCHAEFF.) ROTHM.									
<i>Hieracium umbellatum</i> L.									
<i>Pyrola chlorantha</i> SW.									
<i>Pyrola minor</i> L.									
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) HULL									
<i>Fragaria vesca</i> L.									

Stadium optymalne (przejęciowe)

W fazach 4. i 5. istotne zmiany obserwuje się w obrębie formujących się zarośli wierzbowo-sosnowo-brzozowych, określanych mianem „biogrupy” (fot. 8). Zwiększają one swój zasięg, wzrost i rozrost gatunków drzewiasto-krzewiastych, prowadząc do zwiększenia powierzchni zacienionych, wzbogacenia podłoża w substancję organiczną oraz złagodzenia kserycznych stosunków w glebie.

Wzajemne oddziaływanie tych czynników powoduje, pod osłoną biogrupy, powstawanie nieco odmiennej niszy ekologicznej. Prowadzi to jednocześnie do zmiany gatunków światłolubnych na cienioznośne. Do końca tej fazy wycofują się w większości gatunki psammofilne (tabela 9) i zaczynają wkraczać gatunki borowe: *Chimaphila umbellata*, *Deschampsia flexuosa*, *Orthilia secunda*, *Pyrola minor*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus* i inne. Zasadnicze zmiany zachodzą w końcowej fazie tego stadium w brioflorze, w postaci wkraczania gatunków borowych:

Pleurozium schreberi, *Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium* i *Climacium dendroides*, które staną się stałym składnikiem formującego się boru sosnowego. Przedstawiciele *Algae* i *Cyanophyta* zachowują się do 7. fazy, zajmując przede wszystkim obszary nasłonecznione. Oprócz nich może występować jeszcze miejscami biologiczna skorupa glebowa.

Zasadniczą rolę w powstawaniu biogrup odgrywają *Salix acutifolia* oraz *S. arenaria*. Należą one do promotorów sukcesyjnych na tym obszarze. W stadium rozwoju krzewów wierzby, w wyniku rozmnażania wegetatywnego, różnicuje się obszar okapowy pod wierzbą, gdzie sukcesywnie wkraczają, jak wspomniano wcześniej, gatunki zarówno zarodnikowe, jak i naczyniowe, charakterystyczne dla dalszych faz sukcesji. Zacienione obszary pod okapami lub bezpośrednio przy pniu zajmują porosty z rodzaju *Cladonia*, które występują także pod jałowcami. Zwiększanie się okapu wierzby i w konsekwencji powstawanie zacienienia powoduje, że gatunki światłolubne



Fot. 8. Biogrupa wierzbowo-brzozowo-sosnowa (fot. autor)

Phot. 8. Willow-birch-pine biogroup (phot. author)

zajmują tylko okrajki, a pod wierzbami chętnie odnawia się sosna. Jest to jeden z uproszczonych ciągów sukcesji w postaci: piasek — wierzba — sosna — biogrupa wierzbowo-sosnowa — las sosnowy (patrz rys. 15). Należy podkreślić, że szeroko rozpowszechnionym komponentem biogrupy na całym obszarze badań, a zwłaszcza na otwartych przestrzeniach, jest także *Populus tremula*, gdzie jej klony zasiedlają powierzchnie od 0,5 ara do ok. 20 arów.

Na początku fazy 4. sosna występuje jeszcze w warstwie krzewów wraz z brzozą brodawkowatą i topolą osiką, a pod jej koniec pojedyncze okazy znajdują się w warstwie drzew (tabela 9), informując o początku przekształcania się biogrupy w inicjalny bór sosnowy (fot. 9 a, b).

Stadium terminalne

Fazy 6., 7. i 8. charakteryzują się zwieraniem biogrup i dalszą eliminacją murawowej roślinności światłolubnej. W tych fazach murawy psammofilne i biologiczna skorupa glebowa występują tylko na powierzchniach pomiędzy biogrupami znajdującymi się daleko od siebie. W miarę rozwoju biogrupy zbliżają się do siebie i następuje ich połączenie, co prowadzi do całkowitego wycofania się gatunków światłolubnych. Na obrzeżach takich biogrup występuje często *Chamaecytisus ratisbonensis*.

W dalszym etapie sukcesji zasięg kęp roślinności drzewiastej powiększa się na tyle, że zaczynają się formować inicjalne stadia leśne z charakterystycznym dla borów runem z: *Pyrola chloranta*, *P. minor*, *P. uniflora* czy *Deschampsia flexuosa*, a następnie ma miejsce dalsze wzbogacanie innymi gatunkami borowymi. Faza ta charakteryzuje się powstawaniem coraz silniejszej konkurencji międzygatunkowej. Wobec wzajemnego zacieniania gatunków roślin w obrębie formującego się lasu, konkurencji o wodę i składniki pokarmowe przewagę uzyskują sosna i brzoza, a krzewy *Salix acutifolia* zamierają (fot. 9 a, b).

Końcowym etapem sukcesji na badanym terenie jest *Cladonio-Pinetum* oraz *Leucobryo-Pinetum*. W pierwszym przypadku fitocenozy te rozwijają się w szczytowej i stokowej partii wydmy,

gdzie są skrajnie ubogie warunki siedliskowe na wydmowych glebach piaszczystych. Na siedliskach bardziej wilgotnych oraz na obszarach sąsiadujących z glebami kopalnymi lub nad nimi tworzą się bory sosnowe świeże.

Sukcesja wtórna

Sukcesja wtórna zachodzi na powierzchniach z zachowaną pokrywą glebową oraz częściowo zniszczonymi poziomami próchnicznymi, wymycia i wmycia, które zostały rozwiane przez wiatr i ponownie pogrzebane przez piasek z okolicznych obszarów w wyniku procesów eolicznych. Najczęściej jednak występują piaski wzbogacone w materię organiczną (w tym z rozwianych gleb), na których drogą naturalną zachodzi sukcesja wtórna, według schematu sukcesji pierwotnej. Substratem wyjściowym w obydwu przypadkach jest jednak podłoże piaszczyste. Nie ulega wątpliwości, że podobieństwo wyjściowego substratu nadaje piętno przebiegowi i tempu sukcesji pierwotnej i wtórnej. Takie obszary można łatwo zlokalizować na zdjęciach lotniczych Pustyni Błędowskiej z lat 1955, 1973 i 1996 (rys. 16).

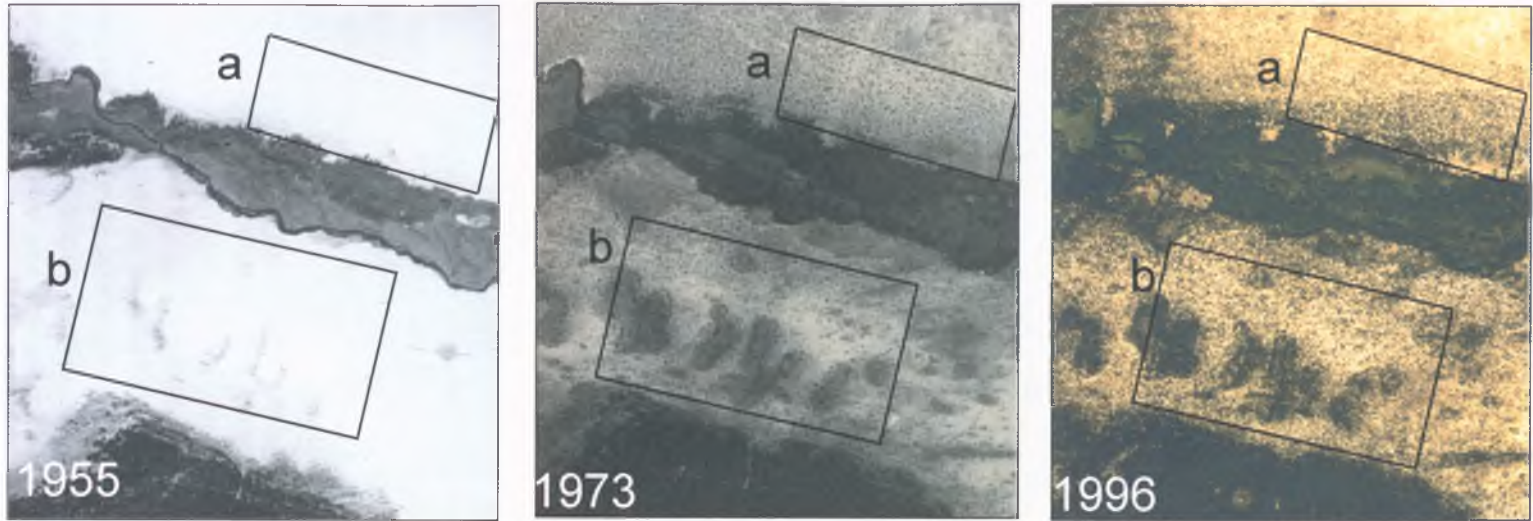
Przebieg sukcesji wtórnej co do stadiów i faz jest podobny do sukcesji pierwotnej. Najważniejsza różnica polega na tym, że zachodzi ona na powierzchniach z glebami kopalnymi lub z rozwianymi piaskami bogatymi w materię organiczną, pochodzącymi z rozwianych gleb. Przyczynia się to do zwiększenia tempa sukcesji w związku ze sprzyjającymi warunkami ekologicznymi. W takich warunkach w okresie 40—50 lat może się tworzyć inicjalny bór sosnowy z charakterystycznymi dla niego gatunkami. W przypadku sukcesji pierwotnej na Pustyni Błędowskiej, w tym samym okresie, dopiero zaczyna się formować bór sosnowy z pojedynczymi gatunkami borowymi. Należy podkreślić, że rozmiar powierzchni z inicjalnym borem sosnowym jest uwarunkowany powierzchnią zasięgu gleby kopalnej.

Duża część obszaru Pustyni Błędowskiej, zwłaszcza zachodnia (gdzie jeszcze w latach 70. XX wieku miała miejsce sukcesja pierwotna), podlega wtórnej sukcesji „wspomaganej” („wymuszonej”) (rys. 17). W tym procesie istotną



Fot. 9 a — Wypieranie wierzby przez sosny w dojrzałych biogrupach, **b** — inicjalny bór sosnowy (fot. autor)

Phot. 9 a — Elimination of willows by pines in terminal stage of biogroups development, **b** — initial fresh pine coniferous forest (phot. author)



Rys. 16. Zmiany roślinności wybranych powierzchni Pustyni Błędowskiej na zdjęciach lotniczych z lat 1955, 1973, 1996
 a — obszary związane z sukcesją pierwotną, b — obszary związane z sukcesją wtórną na glebach kopalnych

Fig. 16. The vegetation changes in selected surfaces of Błędów Desert in the airphoto from 1955, 1973, 1996
 a — area with primary succession, b — area with secondary succession on fossil soils



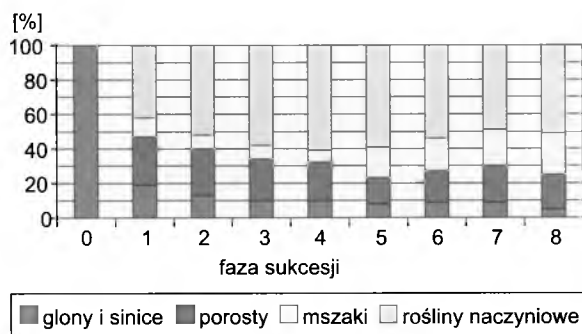
Rys. 17. Zmiany roślinności w zachodniej części Pustyni Błędowskiej na zdjęciach lotniczych z lat 1955, 1973, 1996
 a — pierwotna sukcesja, b — wtórna „wspomagana” sukcesja

Fig. 17. The vegetation changes in the western part of Błędów Desert in the airphoto from 1955, 1973, 1996
 a — primary succession, b — creative secondary succession

rolę odegrał człowiek przez świadome wprowadzanie gatunków drzew, krzewów oraz roślin zielnych w celu utrwalaenia lotnych piasków. Z tego powodu świadomie wybierano gatunki mające ekologiczne przystosowania do tego typu podłoża, głównie *Elymus arenarius*, *Salix arenaria* i *Salix acutifolia*.

6.3. Sukcesja jako proces wymiany gatunków

Przebieg sukcesji ekologicznej zwykle charakteryzuje wzrost bogactwa gatunkowego występujący aż do połowy stadium terminalnego (w przypadku mszaków oraz roślin naczyniowych) (rys. 18).



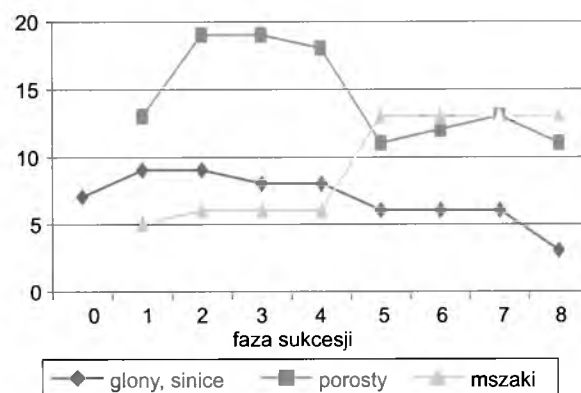
Rys. 18. Udział grup systematycznych w poszczególnych fazach sukcesji

Fig. 18. The participant of systematic group in succession phases

Głony i sinice. Wśród 11 zidentyfikowanych na Pustyni Błędowskiej gatunków 5 tworzy małe kolonie, otoczone galaretowatymi osłonkami. Są nimi: *Chroococcus minor*, *Ch. minutus*, *Ch. varius*, *Gloeocapsa atrata*, *Merismopedia glauca*. Cztery inne są formami jednokomórkowymi (*Synechococcus aeruginosus*, *Pinnularia borealis*, *Stichococcus chlorelloides*, *S. cf. fragilis*), a 2 pozostałe — formami nitkowatymi (*Cylindrocapsa* sp., *Klebsormidium crenulatum*). Tych ostatnich było najwięcej pod względem dominacji, głównie niezidentyfikowanego gatunku z rodzaju *Cylindrocapsa*. W obrębie odnotowanych

glonów stwierdzono 3 gatunki nowe dla algoflory Polski. Są to *Klebsormidium crenulatum*, *Stichococcus chlorelloides* oraz *S. cf. fragilis*.

Wzrost liczby gatunków glonów i sinic przypada na fazy 0—1 (rys. 19), gdy teren nie był jeszcze zasiedlony przez mszaki, porosty oraz rośliny naczyniowe. Jak wynika z rys. 18 i 19, w miarę wzrostu udziału gatunków mszaków i roślin naczyniowych ubywało gatunków *Algae* i *Cyanophyta*. Wiąże się to z konkurencją międzygatunkową oraz brakiem nagiego piasku. W tym przypadku glony i sinice zajmują obszary z luźnymi piaskami pomiędzy kępami psammofilnych traw.



Rys. 19. Liczba gatunków poszczególnych grup systematycznych biorących udział w sukcesji

Fig. 19. Species number of systematic group which participation in succession

Porosty uczestniczą od fazy 1. sukcesji do stadium terminalnego, niektóre gatunki bowiem są naturalnym składnikiem borów, zwłaszcza w tym przypadku chrobotkowych, np. *Cladonia subulata*, *C. furcata f. fissa*, *Cladonia arbuscula*, *Cetraria islandica* czy *Peltigera rufescens*. Dla inicjalnych faz charakterystyczne są *Stereocaulon incrustatum*, *S. condensatum* oraz *Diploschistes muscorum* (fot. 10), który odgrywa istotną rolę w utrwalaeniu piasku.

Łącznie stwierdzono 23 gatunki porostów z 3 rodzajów (tabela 8), wśród których przeważają taksony psammofilne z rodzaju *Cladonia*. Należy podkreślić, iż są to tylko gatunki stwierdzone we wszystkich fazach sukcesji, a nie cała lichenoflora Pustyni Błędowskiej.



Fot. 10. Skorupa porostowa z dominacją *Diploschistes muscorum* (fot. autor)
Phot. 10. Lichnocrust with domination of *Diploschistes muscorum* (phot. author)

Gwałtowny wzrost liczby gatunków porostów w trakcie sukcesji przypada na fazy 2. i 3., gdy zasiedlają obszary zajęte przez glony i sinice. Podobna liczba gatunków porostów utrzymuje się do końca fazy 4. i początku fazy 5., po czym następuje wyraźny spadek ich liczby. Jest to spowodowane zwiększeniem zacielenia przez wierzby i inne gatunki drzewiasto-krzewiaste. Należy podkreślić, iż porosty uczestniczące w procesie sukcesji są psammofilne, preferując otwartą i nasłonecznioną powierzchnię. W dalszych fazach utrzymują się przede wszystkim gatunki leśne.

Mszaki w trakcie sukcesji reprezentują gatunki charakterystyczne dla siedlisk otwartych oraz leśnych. Gatunkiem dominującym o wysokich walorach dynamiczno-sukcesyjnych na badanym obszarze, jak i w wielu innych ekosystemach piaszczystych, jest *Polytrichum piliferum*. Tworzy on miejscami jednolite wielkopowierzchnio-

we płyty, które mocno utrwalają powierzchnię i zapobiegają procesom eolicznym. Już pod koniec fazy 5. obserwuje się pojedyncze pojawianie się taksonów leśnych (tabela 8). W trakcie sukcesji na piaskach Pustyni Błędowskiej uczestniczy 13 gatunków mszaków, do fazy 5. biorą udział tylko gatunki inicjalne (np. *Ceratodon purpureus*, *Brachythecium albicans*) i pionierskie gatunki murawowe (*Polytrichum piliferum*, *Racomitrium canescens*). Wzrost gatunków higrofilnych następuje w fazie 5., osiągając maksimum w fazie 6. Od tego momentu systematycznie spada liczba gatunków, zwłaszcza psammofilnych, na rzecz gatunków borowych. Proces ostatecznego formowania się kombinacji gatunkowej łatwo można zaobserwować na rysunkach przedstawiających wzajemne relacje między czterema grupami systematycznymi.

Gatunki naczyniowe biorące udział w sukcesji serii borowej prezentowane są przez 28 rodzin.



Rys. 20. Liczba gatunków roślin naczyniowych w poszczególnych fazach sukcesji

Fig. 20. The number of vascular plants in particular phases of succession

Liczbę gatunków biorących ścisły udział w sukcesji przedstawia rys. 20. Do gatunków wczesnosukcesyjnych należą taksony z rodziny *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, a elementy późnosukcesyjne przedstawiają *Pyrolaceae* oraz *Ericaceae*. Należy podkreślić, iż nie ma ostrych granic pomiędzy fazami; czasem gatunki późnosukcesyjne mogą się pojawiać już w stadium inicjalnym.

Większość gatunków sukcesyjnych jest charakterystyczna dla klas *Vaccinio-Piceetea* (9), *Sedo-Scleranthetea* (5) oraz rzędu *Corynephoretalia* (14) i związku *Dicrano-Pinion* (15). Gatunki charakterystyczne dla rzędu *Corynephoretalia* to taksony zaliczane do wczesno- i środkowosukcesyjnych. W większości są to jednoroczne psammofilne gatunki murawowe. Związek *Dicrano-Pinion* obejmuje gatunki późnosukcesyjne, do których należą przede wszystkim gatunki leśne (tabela 8, 9).

6.4. Wpływ wybranych gatunków krzewów i drzew na zróżnicowanie składu florystycznego podczas sukcesji

Pinus sylvestris

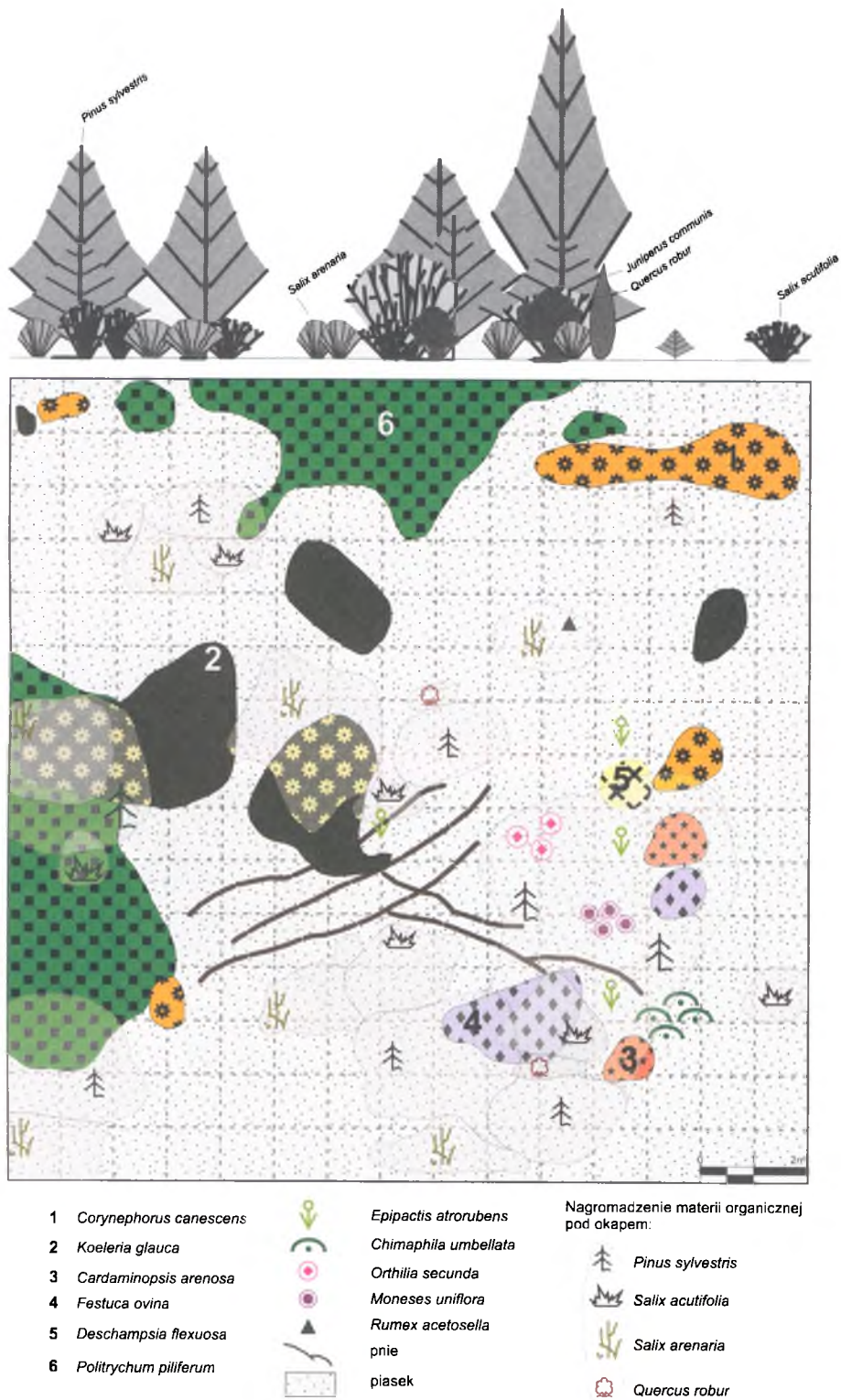
Analizowana biogrupa sosnowa składa się z 7 okazów, które różnią się pod względem wiekowym, licząc od 9 do 23 lat. W centralnej części powierzchni znajdują się obumarłe pnie *Salix acutifolia*, której wiek oszacowano na 29 lat. W tym samym miejscu rozwija się obecnie 9-letni okaz tego gatunku. Wysokość najstarszej sosny

dochodzi do 8 m, a pozostałe okazy tego gatunku skupiają się wokół niej. Pod okapem sosny autor zaobserwował wyraźnie ograniczony obszar wyróżniający się obecnością nierozłożonej lub słabo rozłożonej substancji organicznej. Są to igły, kora, szyszki i drobne gałązki sosnowe (rys. 21, fot. 11 a, b).

W strefach oddziaływania okapów sosnowych rosną grupy *Juniperus communis*, zajmując wschodnią część poletka (rys. 21). W granicach okapowych występują pojedynczo około 10-letnie okazy *Quercus robur*. Z gatunków borowych, w postaci kęp składających się z kilku okazów znajdujących się blisko siebie, występują: *Chimaphila umbellata*, *D. flexuosa* oraz pojedynczo *V. vitis-idea*, *Orthila secunda*, *Moneses uniflora*. Zachodnie i północno-zachodnie części poletka zajmują okazy *Salix arenaria*, tworzące małe pagórki fitogeniczne. W obrębie jej kęp porastają pojedynczo płaty *Polytrichum piliferum* oraz pojedyncze okazy *Koeleria glauca*. Obszary luźnych piasków zasiedla *Corynephorus canescens* wraz z innymi gatunkami psammofilnymi. Na badanym poletku w skrajnych częściach okapu obserwuje się odnawianie sosny zwyczajnej pod własnym okapem. Należy podkreślić, iż na Pustyni Błędowskiej sosna odnawia się przede wszystkim pod *Salix acutifolia* oraz na piaskach utrwalonych glonami, gdzie nasiona łatwo przyczepiają się do ziemi dzięki śluzowi glonowemu.

Quercus robur

Kolejne szczegółowe badania nad zróżnicowaniem florystycznym przez ułatwienie wkraczania innym gatunkom roślin prowadzono pod dębem szypułkowym. Wysokość badanego okazu, którego wiek oszacowano na 25 lat, dochodziła do 3 m, a średnica okapu wynosiła powyżej 4 m, zarówno w kierunku N-S, jak i W-E (rys. 22). Wokół pnia nagromadził się piasek, tworząc lekko pagórkowate powierzchnie (wysokość ok. 15 cm). Obszar okapowy w postaci mikromozajki pokrywały liście dębu szypułkowego oraz rzadziej igliwie sosnowe mające częściowo charakter allochtoniczny. Obserwowano także liście przywiane z obszarów przyległych, które stanowią poten-

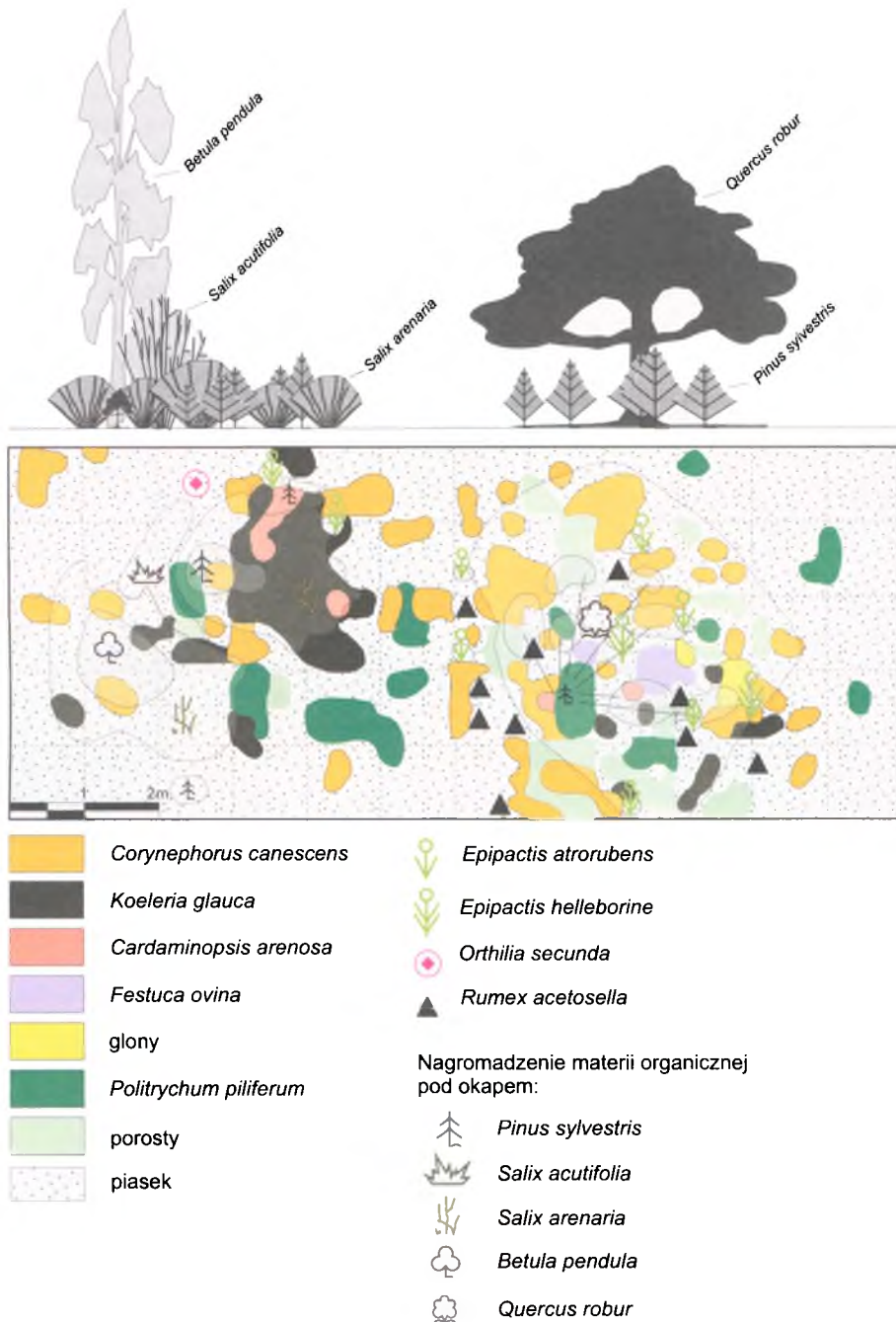


Rys. 21. Plan rozmieszczenia roślinności w biogrupie z dominacją sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

Fig. 21. The plan of plants distribution in biogroup with pine domination



Fot. 11 a, b. Brak roślinności pod okapami sosen (fot. autor)
Phot. 11 a, b. The lack of plants under pines canopies (phot. author)



Rys. 22. Plan rozmieszczenia roślinności pod okapem dębu i brzozy
Fig. 22. The plan of plants distribution under oak and birch canopies

cyjny materiał dla procesów humifikacji i tworzenia się próchnicy.

Na badanej powierzchni pod okapem dębu oraz wierzby ostrolistnej autor zaobserwował masowe odnawianie się sosny zwyczajnej, która w przy-

szłości stanie się ważnym gatunkiem lasotwórczym na tym terenie. Poza małymi fragmentami z nagim piaskiem cały obszar strefy okapowej jest kolonizowany przez gatunki naczyniowe, przeważnie psammofilne (*Corynephorus cane-*

scens, *Koeleria glauca*, *Cardaminopsis arenosa*, *Rumex acetosella*, *Orthila secunda*, *Epipactis atrorubens*, *E. helleborine*, *Festuca ovina*) oraz zarodnikowe (porosty z rodzaju *Cladonia*, *Coelocaulon aculeatum*, *P. piliferum*, *Ceratodon purpureus*). *Corynephorus canescens* i *Polytrichum piliferum* zajmują obszary poza okapem, a *Festuca ovina* bardziej preferuje obszary zacienione (rys. 22). W strefie okapowej rokrocznie obserwuje się prawie całkowity rozkład liści dębowych. Należy podkreślić, iż pod okapem bezpośrednio przy pniu zaobserwowano duże ilości materii organicznej (rozdz. 7).

Salix acutifolia* i *Betula pendula

Badania prowadzono w biogrupie zdominowanej przez dwa gatunki liściaste: *S. acutifolia* i *B. pendula* (fot. 8). Okapy tych gatunków wzajemnie nachodzą na siebie (rys. 23). Oba gatunki wykazują dużą żywotność. Brzoza ma 29 lat i około 8 m wysokości, natomiast wierzba ostrolistna — 25 lat i około 4 m wysokości, a jej najniższe pędy o charakterze płożącym znajdują się bezpośrednio na powierzchni piasku. Wierzba ostrolistna ma 4 pędy, z których odrastają gałązki przy szyjce korzeniowej, a także gałązki obumierające lub obumarłe. W okapie występuje wierzba piaskowa i mały okaz dębu szypułkowego. Na obrzeżach okapów obserwuje się okazy 9-letniej i młodszej sosny zwyczajnej. Średnica okapu budującego biogrupę w każdym kierunku wynosi około 7 m. Zarówno pod wierzbą, jak i pod brzozą zaobserwowano duże nagromadzenie świeżej materii organicznej pochodzenia miejscowego i obcego. Na obszarach otwartych pojedynczo rosnące sosny mają charakter przysadzysty. *Corynephorus canescens* kolonizuje nasłonecznione powierzchnie, a *Koeleria glauca* występuje częściej w kępach wierzbowych. *Polytrichum piliferum* zasiedla obszary zajęte wcześniej przez eupsammony. Obszary zaznaczone na poletku jako piaski często są zasiedlone i utrwalone przez glony. Z uwagi na późną porę kartowania terenu (środek czerwca) i niedostatki wilgoci nie były one dostrzegalne.

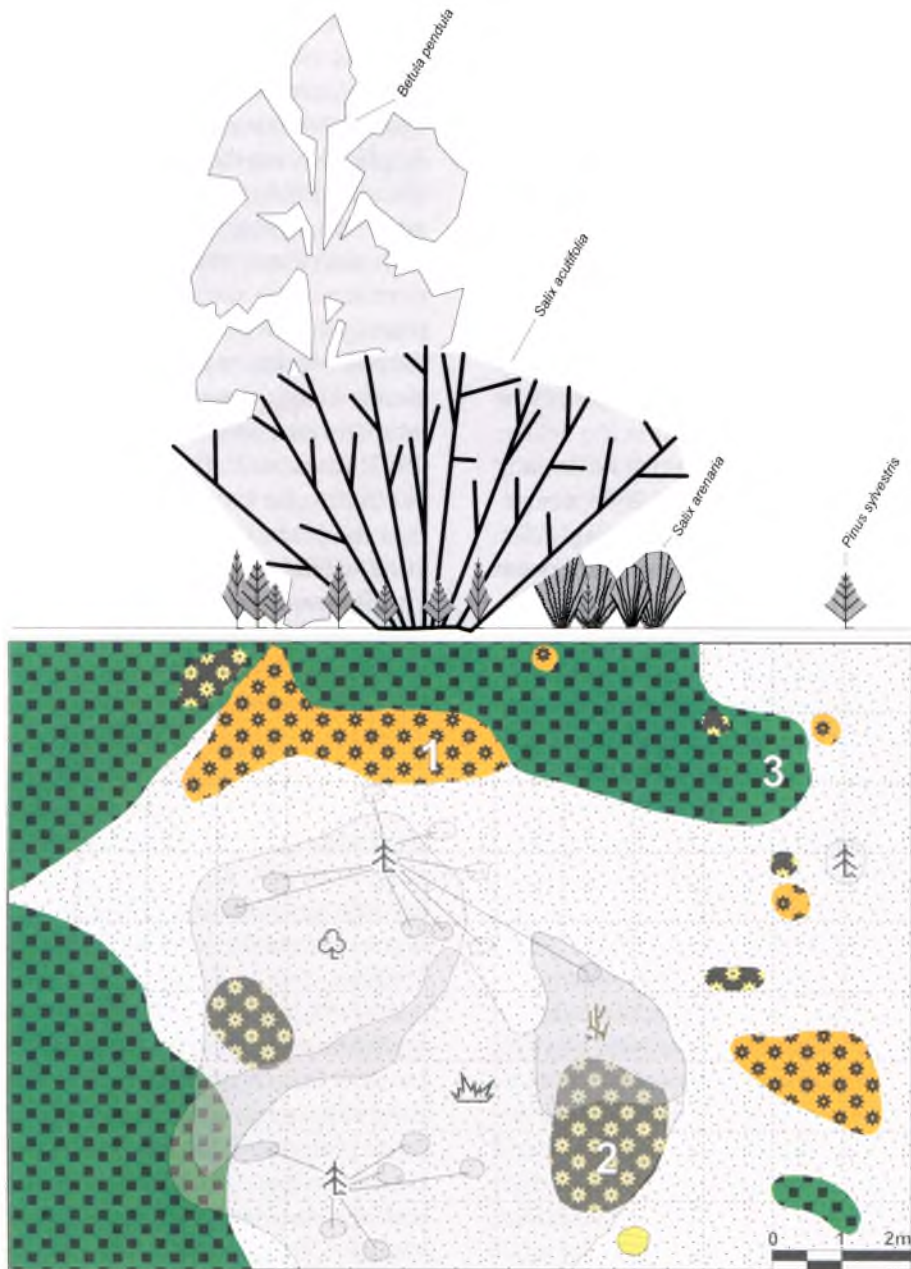
6.5. Podsumowanie i dyskusja






Mapy archiwalne są wartościowym źródłem informacji w badaniach rozwoju i zmian środowiska geograficznego. W większości zastosowań, aby określić wielkość zmian, jakie nastąpiły w określonym czasie, potrzebna jest znajomość stopnia dokładności mapy. Uzyskuje się to na podstawie porównania wybranych elementów mapy archiwalnej z odpowiednimi elementami mapy współczesnej (KONIAS, 1995, 2001).

Wykorzystane materiały kartograficzne, obejmujące obszar Pustyni Błędowskiej, dokumentują okres 1804—1933, istotny z punktu widzenia przeprowadzonych badań. Z treści przeanalizowanych map można wyodrębnić obszary pokryte roślinnością lub jej pozbawione. Istotne informacje dotyczą także przebiegu koryta równoleżnikowo płynącej przez pustynię Białej Przemszy oraz roślinności jej towarzyszącej. Materiały kartograficzne dotyczące obszaru badań mają różny stopień dokładności, wynikający chociażby ze skali lub stopnia generalizacji mapy oraz rozbieżności wynikających z użycia różnych technik kartograficznych. Jednak są to jedyne materiały, na podstawie których można było uzyskać historyczne informacje o sukcesji roślinności i jej tempie na tym terenie po średniowiecznym wykarczowaniu lasu.

Na mapach topograficznych z lat 1804, 1911, 1914 oraz 1933 obszar Pustyni Błędowskiej przedstawia się jako teren w większości pozbawiony roślinności. Potwierdzenie tego faktu można napotkać w pracy W. NAŁKOWSKIEGO (1888), J. LEWIŃSKIEGO (1914), K. PIECHA (1924). Spośród analizowanych map najbardziej wiarygodna wydaje się mapa z 1933 roku, gdyż można na niej wyraźnie odróżnić tereny z roślinnością borową i roślinnością związaną z obszarami wilgotnymi.

Od 1933 roku notuje się zwiększony udział roślinności w powierzchni Pustyni Błędowskiej oraz w jej okolicach. Na szczególną uwagę zasługuje część zachodnia. Obszar ten należy uznać za kluczowy na całym obszarze pustyni, gdyż przyczynił się do przyspieszenia procesów sukcesji i w efekcie zarastania Pustyni Błędowskiej.



- | | |
|--|---|
| 1 <i>Corynephorus canescens</i> | Nagromadzenie materii organicznej pod okapem: |
| 2 <i>Koeleria glauca</i> |  <i>Pinus sylvestris</i> |
| 3 <i>Politrychum piliferum</i> |  <i>Salix acutifolia</i> |
|  piasek |  <i>Salix arenaria</i> |
| |  <i>Betula pendula</i> |

Rys. 23. Plan rozmieszczenia roślinności w biogrupie wierzbowo-brzozowej
Fig. 23. The plan of plants distribution in willow-birch biogroup

W procesie inicjacji sukcesji na tym odcinku znaczącą rolę odgrywał człowiek, zakładając stawy hodowlane, które pośrednio przyczyniły się do stworzenia sprzyjających warunków siedliskowych. W pozostałych obszarach zachodniej części Pustyni Błędowskiej w tym czasie (lata 30. XX wieku) procesy formowania się układów ekologicznych zachodziły na drodze naturalnej. Przyczynił się do tego fakt istnienia zwartych kompleksów leśnych oraz powstanie tzw. efektu brzegowego, a pośrednio — zmniejszanie siły wiatru i w konsekwencji zahamowanie procesów eolicznych.

Ważnym czynnikiem wpływającym na zmiany w krajobrazie Pustyni Błędowskiej było dostarczanie i wylwanie do sztucznych zagłębień łągów posulfitowych. Obszary objęte wpływem tych łągów, podobnie jak sztuczne stawy hodowlane, stanowiły ważny element krajobrazu wpływający na proces sukcesji.

Kolejnym i zarazem najbardziej wiarygodnym źródłem informacji o przestrzennych zmianach roślinności są zdjęcia lotnicze z lat 1955, 1973 (czarno-białe) oraz 1996 (kolorowe). Podczas interpretacji zdjęć lotniczych korzystano ze stereoskopu i wcześniejszej znajomości terenu przez autora. Na podstawie zdjęć lotniczych oprócz dynamiki pokrywy roślinności analizowano także związane z nimi formy terenu, w tworzeniu się których brała bezpośrednio udział roślinność zarodnikowa oraz naczyniowa (RAHMONOV, SNYTKO, SZCZYPEK, 2005). Zmiany roślinności i form terenu są ze sobą ściśle związane, co wyraźnie widać na zdjęciach lotniczych. Tę korelację na podstawie badań terenowych stwierdzono jednoznacznie, co również dokumentują wyniki badań T. SZCZYPKA, J. WACHA i S. WIKI (1994).

Na podstawie map oraz zdjęć lotniczych wykonano szkice interpretacyjne. Ze szkiców fotointerpretacyjnych wynika, że teren ten był pokryty roślinnością w różnym stopniu, a w większości stanowił obszar nagich piasków. Występująca w małych skupieniach i rozproszonych roślinność zielna o charakterze psammofilnym nie mogła zostać zarejestrowana na zdjęciach lotniczych. Dodatkową trudność sprawił jej sino-siwy fototon, podobny do koloru piasku. Na takich obszarach zachodzi pierwotna sukcesja roślinna

i glebowa. Obszary te reprezentują zbiorowiska roślinne należące do stadium inicjalnego.

Dynamikę otwartych ekosystemów, a zwłaszcza muraw napiaskowych w Europie, utrzymywało głównie użytkowanie ziemi przez człowieka (TUXEN, 1960). Lasy były wycinane i karczowane, a łąki wypasane przez bydło i owce. W ostatnich stuleciach ekstensywny wypas owiec oraz przeznaczenie terenów na cele wojskowe i ich intensywne wykorzystywanie były najbardziej rozpowszechnionymi sposobami użytkowania ziemi, które utrzymywały kwaśne murawy oraz wrzosowiska (CZYŻEWSKA, 1992; CORDES i in., 1997; RAHMONOV, DZIERŁA, MALIK, 2002). Współcześnie suche kwaśne murawy na piasku, zdominowane przez *Corynephorus canescens*, są narażone w bardzo dużej części Europy na wyginięcie (BAUERNSCHMITT, GREBE, 1997). Na obszarach poligonów wojskowych występują obecnie resztki zbiorowisk rozpowszechnionych niegdyś w całej Europie. Jako przykład mogą służyć Borne Sulinowo i Pustynia Błędowska. Narastająca destrukcja siedliska dokonująca się w wyniku ekspansji obszarów miejskich i zmiany sposobu użytkowania ziemi, depozycji azotu atmosferycznego i innych czynników przyczyniły się do zmniejszenia lub nawet zaniku muraw napiaskowych (QUINGER, MEYER, 1995; SSYMANK i in., 1998).

Na wstępie, na drodze porównawczej, zostały wyróżnione 3 stadia i 9 faz sukcesji (0—8), a ich trend w fazach początkowych został częściowo zweryfikowany w rezultacie interpretacji zdjęć lotniczych oraz obserwacji na stałych powierzchniach w ciągu 10 lat. Autor we wcześniejszych pracach dotyczących sukcesji wyróżnił tylko 5 stadiów (RAHMONOV, 1998). Pomiędzy poszczególnymi stadiami i fazami nie ma ostrych granic. Należy podkreślić, iż na tak ubogich obszarach piaszczystych przy wzmożonych procesach eolicznych podłoże może być niezasiadłone przez wiele lat. Podobny sposób wyróżniania faz na drodze porównawczej w serii łąkowej zastosowała K. FALIŃSKA (1991), w serii borowej J.B. FALIŃSKI (1986a, b, 2003), a weryfikację ich przebiegu dokonano, prowadząc długoterminowe obserwacje. Zbliżonych wyróżnień dokonali J.S. OLSON (1958), N.N. KONONOVA (1986), K. PRACH (1989)

i A. WEIGELT (2001), a niektórzy badacze (KLIKA, 1936; KOPECKY, 1971; KORNAŚ, MEDWECKA-KORNAŚ, 1967; MICHALIK, 1967; STUHLIK, 1968; MEDWECKA-KORNAŚ, 1976; UZIĘBŁO, 1996) za kryterium wyodrębniania stadiów sukcesji przyjmują: fitosocjologiczną charakterystykę zbiorowisk roślinnych, zmianę liczby gatunków w poszczególnych latach oraz zmianę powierzchni pokrytej przez roślinność.

Na Pustyni Błędowskiej nie ma trudności w rozgraniczeniu sukcesji pierwotnej od wtórnej (rys. 16). Rozgraniczenie jest oparte na stanie siedliska. To właśnie kryterium zostało wykorzystane także przez innych badaczy (CLEMETS, 1916; COLLIER i in., 1978; CONNELL, SLATYER, 1977; FALIŃSKI, 1980, 1986; FALIŃSKA 1989a, b; WEST i in., 1981; WHITTAKER, 1970; ELGERSMA, 1998; WALKER, 1999). Ze względów czysto praktycznych celowe może być wyróżnienie szczególnego typu sukcesji wtórnej „wymuszonej”, związanej ze sztucznymi nasadzeniami drzew stymulującymi rozwój siedliska i roślinności w kierunku końcowego zbiorowiska roślinnego (FALIŃSKI, 1986a). Ten typ sukcesji był określony wcześniej przez autora (RAHMONOV, 1999) jako wtórna sukcesja wspomagana.

Spontaniczna sukcesja na obszarze Pustyni Błędowskiej zachodzi według klasycznego modelu sukcesji (CLEMETS, 1936), modelu zmieniających się współczynników zasobów D. TILMANA (1988) oraz modelu ułatwiania (CONNELL, SLATYER, 1977).

Ułatwianie jest procesem, w którego rezultacie gatunki pionierskie (wczesnosukcesyjne) zasiedlające teren ulepszają warunki siedliskowe dla gatunków późnosukcesyjnych. W procesie tym miejsce jednych gatunków zajmują inne. Mechanizm ułatwiania uznawany jest od dawna za jedną z głównych przyczyn sukcesji ekologicznej (CLEMETS, 1916; TANSLEY, 1920). Ta hipoteza była kwestionowana (DRURY, NISBET, 1973; CONNELL, SLATYER, 1977), ponieważ eksperymentalne studia wykazały, iż gatunki wczesnosukcesyjne raczej hamują niż ułatwiają wkraczanie gatunków późnosukcesyjnych (KEEVER, 1950; NIERING, GODWIN, 1974; HARCUMBE, 1977; SOUSA, 1979; VAN HULST, 1979; ARMESTO, PICKETT, 1986; WALKER, CHAPIN, 1986). Jednakże większość z wymienio-

nych badań była prowadzona na obszarach o wysokich zasobach środowiskowych, gdzie gleba była dobrze wykształcona i stąd mechanizm ułatwiania prawdopodobnie nie odgrywał znaczącej roli (VITOUSEK, WALKER, 1989; WALKER, CHAPIN, 1987). Przyjmuje się, że model ułatwiania jest ważnym mechanizmem sukcesji w surowych i ekstremalnych środowiskach, w których zasiedlające rośliny zwiększają dostępność zasobów pokarmowych do poziomu wymaganego przez rośliny późnosukcesyjne (CONNELL, SLATYER, 1977; TILMAN, 1985, 1993). Niski poziom składników pokarmowych (VIERECK, 1966; VAN CLEVE i in., 1971; JOHNSON i in., 1976; ROBERTSON, VITOUSEK, 1981; VITOUSEK i in., 1987; WALKER, 1989) i ich ograniczenie dla wzrostu roślin (SCHONENIKE, 1958; LAWRENCE i in., 1967; WALKER, CHAPIN, 1986; WOOD, DEL MORAL, 1987; DEL MORAL, WOOD, 1993) są czynnikami limitującymi kolonizację we wczesnej fazie sukcesji pierwotnej. Organizmy symbiotyczne i wiążące azot są często ważnym elementem (LAWRENCE i in., 1967; STEVENS, WALTER, 1970; GORHAM i in., 1979; BLUNDON, DALE, 1990) i mogą bezpośrednio wpływać na tempo wzrostu gatunków uczestniczących zarówno w sukcesji pierwotnej (BRADSHAW, 1983; BINKLEY i in., 1984; MORRIS, WOOD, 1989; DEL MORAL, WOOD, 1993), jak i w sukcesji wtórnej (TARRANT, TRAPE, 1971; SKOWNO i in., 1999). Wydaje się, że taką rolę odgrywają na Pustyni Błędowskiej sinice i glony.

Inicjacja sukcesji i przebieg pierwszych jej faz pozostaje pod wpływem sytuacji wyjściowej, na którą składa się charakter pokrywy glebowej i roślinnej. Stan wyjściowy stanowi skała macierzysta, którą tworzą ubogie piaski kwarcowe. Jest to faza zerowa sukcesji pierwotnej na Pustyni Błędowskiej. Sukcesję na badanym terenie, podobnie jak na innych obszarach, rozpoczynają bakterie. Niestety, flora bakteryjna tego obszaru nie doczekała się dotąd opracowania. O występowaniu bakterii można wnioskować na podstawie faktu, że glony glebowe potrzebują dla swego rozwoju odpowiednich grup bakterii (SHTINA, GOLLERBAKH, 1976). Kolejną grupą systematyczną, której autor nie badał, są grzyby. Arbuskularne grzyby mikoryzowe (*Glomales*, *Zygomycota*) Pustyni Błędowskiej zbadali J. BŁASZ-

KOWSKI, M. TADYCH i T. MADEJ (2002). Stwierdzili oni, że grzybami najczęściej występującymi na glebach Pustyni Błędowskiej są przedstawiciele z rodzaju *Scutellospora*, a najczęstszym i najliczniejszym gatunkiem jest *Scutellospora armenica*. Wszystkie gatunki grzybów mikoryzowych wykazano w ryzosferze wybranych gatunków roślin naczyniowych porastających piaszczyste obszary Pustyni Błędowskiej. Grzyby mikoryzowe przyspieszają rozwój roślin (ABBOTT, ROBSON, 1981) i mają znaczący udział w formowaniu się układów ekologicznych (REEVES, WAGNER, MOORMAN, KIEL, 1979).

Stadium inicjalne

Organizmami pionierskimi, które rozpoczynają sukcesję na badanym obszarze, były glony i sinice. Do gatunków najbardziej istotnych z punktu widzenia sukcesji należą przedstawiciele *Cylindrocapsa*. Na powierzchniach piasku *Cylindrocapsa* sp. często tworzył charakterystyczne watawate skupiska splecionych nitki grubości od 0,5 cm do 1 cm. Między nimi występowały najczęściej pojedyncze okazy innych glonów, głównie: *Chroococcus minor*, *Ch. minutus*, *Gloeocapsa atrata*, *Merismopedia glauca*, *Synoechococcus aeruginosus*, *Stichococcus chlorelloides*, *S. cf. fragilis* (CABAŁA, RAHMONOV, 2004). W większości prac dotyczących sukcesji na piaskach i jej przebiegu nie wspomina się o udziale glonów i sinic (COWLES, 1901; OLSON, 1958, CHADWICK, DALKE, 1965; SYMONIDES, 1979a, b; PIOTROWSKA, 1988; LICHTER, 1998a), choć są stałymi składnikami formujących się ekosystemów piaszczystych. W innych opracowaniach, jeśli jest mowa o glonach, to podaje się je tylko jako grupę systematyczną *Algae* (ZIELIŃSKA, 1967; PRACH, 1989; WEIGELT, 2001; JENTSCH i in., 2002; rys. 24 a, b). Pozostałe wyróżnione fazy sukcesji wykazują podobieństwo do faz przedstawionych w innych pracach (OLFF i in., 1993; FALIŃSKI, 1986a, b; POTT, 1992; FREY, HENSEN, 1995; HRŠAK, 2004), opisujących badania w zbliżonych warunkach.

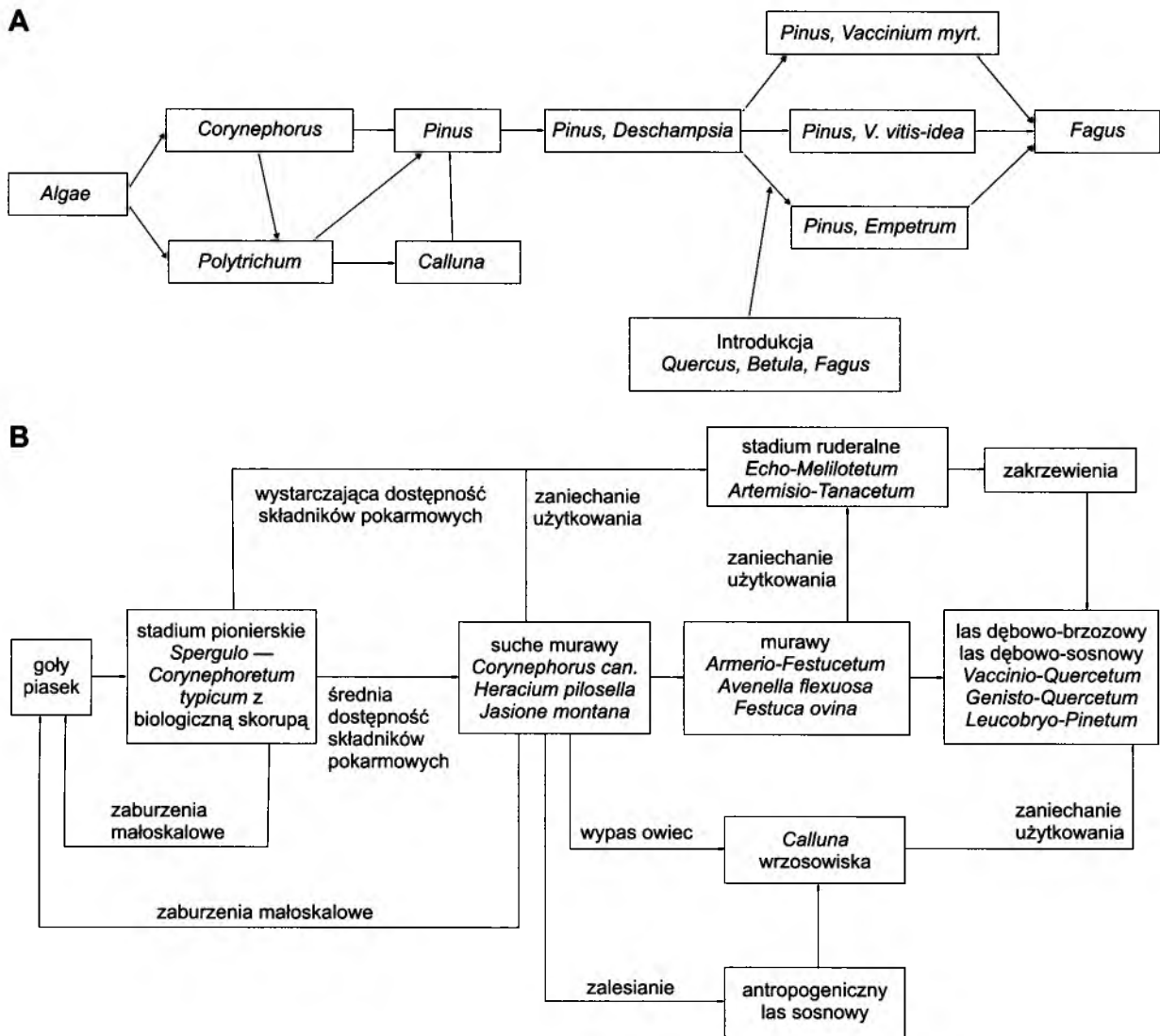
J. PICIŃSKA-FALTYNOWICZ (1997) stwierdziła, iż występowanie glonów na wydmach Słowińskiego Parku Narodowego jest uwarunkowane wil-

gotnością piasku oraz wysokim poziomem wód gruntowych. Obszary piaszczyste Pustyni Błędowskiej należą do wydm śródlądowych charakteryzujących się odmiennymi warunkami, dlatego obserwacja glonów na badanym obszarze jest ograniczona tylko do końca maja, w przeciwieństwie do wydm nadmorskich, gdzie badania można prowadzić przez cały okres wegetacyjny. Planując badania nad sukcesją na piaskach, aspekt ten należy koniecznie brać pod uwagę.

W niniejszej pracy autor wyróżnił fazy sukcesji wyłącznie z glonami i sinicami, określając ich gatunki. *Algae* i *Cyanophyta* mają najważniejszy udział w tempie sukcesji nie tylko roślinnej, lecz także glebowej (rozdz. 8.1). Ich rola polega przede wszystkim na utrwalaniu podłoża i dzięki temu ułatwianiu wkraczania innym gatunkom roślin, zarówno zarodnikowych jak i naczyniowych. W zależności od charakteru podłoża (ruchome czy stabilne) obserwuje się różny stopień jego zasiedlenia przez glony. Pokrywa glonowa na luźnym piasku składa się z pojedynczych gatunków lub kolonii osobników tego samego gatunku. Dopiero w dalszej części sukcesji roślinno-glebowej tworzy się zwarta i twarda pokrywa glonowa, składająca się przeważnie z nitkowatych glonów otaczających ziarna piasku, jakim jest na badanym obszarze gatunek z rodzaju *Cylindrocapsa* sp. (fot. 12 a, b).

Powstała skorupa glonowa z udziałem *Cylindrocapsa* sp. hamuje splukiwanie i deflację oraz stabilizuje podłoże. To z kolei ułatwia wkraczanie roślin naczyniowych zgodnie z modelem ułatwiania J.H. CONNELLA i R.O. SLATYERA (1977), którym luźny piasek nie stwarzał sprzyjających warunków ekologicznych dla rozwoju. Proces utrwalania piasku zachodzi z udziałem glonów przez wydzielanie substancji pozakomórkowej o charakterze galaretowatym, która w swym składzie zawiera tłuszcze i cukry zmieniające zasobność i charakter podłoża (TILMAN, 1988; NIEROP i in., 2001; MALAM i in., 2001). Wczesnowiosenne masowe pojawy glonów prowadzą do spajania powierzchniowej warstwy piasku przez tworzenie gęstej sieci zbudowanej z nitki glonowych.

Duża porowatość piasków wpływa na szybką infiltrację wód opadowych, które ze względu na



Rys. 24 A — Przebieg sukcesji roślinności na ruchomych piaskach Hulshorster Sand w centralnej Holandii (wg PRACH, 1989),

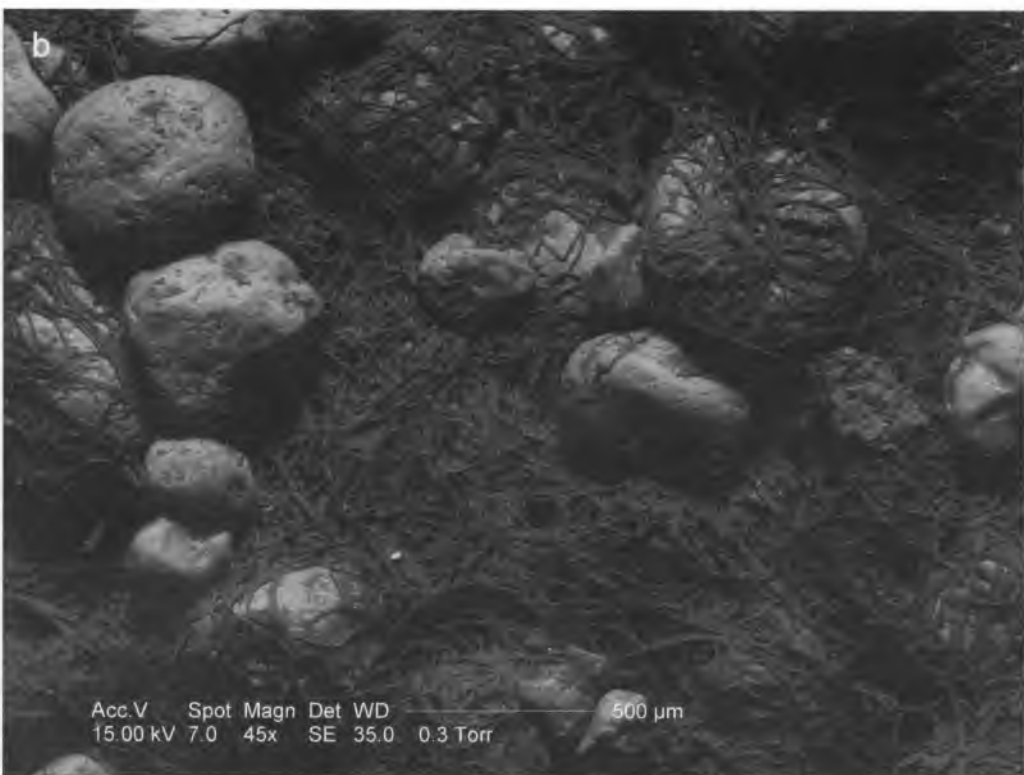
B — na wydmach śródlądowych na południu Niemiec (wg WEIGELT, 2001)

Fig. 24 A — The courses of plant succession in drive sand of Hulshorster Sand in Central Netherlands (after PRACH, 1989),

B — on inland sand of southern Germany (after WEIGELT, 2001)

głęboko leżący poziom wód gruntowych na badanym obszarze są jedynym źródłem wody dla porastającej ten obszar roślinności. Tkanki glonowe wchłaniają i zatrzymują wilgoć, zmieniają szybkość infiltracji i parowania wody na tym obszarze i w ten sposób poprawiają stosunki wodne w glebie w strefie korzeniowej roślin, sprzyjając wkraczaniu roślin naczyniowych. W wyniku zmian środowiska glebowego glony wpływają pośrednio także na cykle życiowe roślin naczyniowych. Zmieloną na proszek skoru-

pę glonową nanoszono na powierzchnię piasku w postaci warstwy grubości około 5 mm; obniżała ona szybkość infiltracji wody aż 3-krotnie w porównaniu z gołym piaskiem (YAIR, 2003). Istotną właściwością glonów glebowych jest ich efemeryczny charakter rozwoju, co przejawia się w ich zdolności do szybkiego przejścia ze stanu spoczynku do stanu aktywnej vegetacji i odwrotnie, bez tworzenia form przetrwalnikowych i specjalnego stadium (SHTINA, GOLLERBAKH, 1976). Nadziemna skorupa glonowa wysycha w okresie



Fot. 12 a — Fragment plechy glonu nitkowatego, **b** — siatka glonów nitkowatych utrwalająca piasek (fot. autor)
Phot. 12 a — The tallus fragments of filamentous alga, **b** — algal net to binding sand (phot. author)

bezdeszczowym i szybciej wchłania wilgoć niż obumarła materia organiczna. Te właściwości glonów przyczyniły się m.in. do inicjacji procesów tworzenia się gleby i zarastania Pustyni Błędowskiej. Łatwość rozwoju zbiorowisk glonowych na ubogich piaskach jest uwarunkowana ich fizjologią oraz przystosowaniem ekologicznym (PICKETT, COLLINS, ARMESTO, 1987; BELNAP, BÜDEL, LANGE, 2003).

Zjawiska eoliczne to jedne z podstawowych, które hamują lub osłabiają przebieg sukcesji roślinnej i rozwój gleb. Masowe pojawy glonów na nagim piasku i w konsekwencji jego utrwalanie powodują powstawanie materii organicznej i później poziomu próchnicznego. Fazę, w powstawaniu której oprócz glonów uczestniczą bakterie, grzyby, porosty, wątrobowce i mszaki, tworząc wyspecjalizowane zbiorowisko, nazwano w literaturze anglojęzycznej *biological soil crust* — biologiczną skorupą glebową (BELNAP, BÜDEL, LANGE, 2003).

J. BELNAP (1993) podaje, że biologiczną skorupę glebową można uznać za specyficzne i wyspecjalizowane zbiorowisko przystosowane do ekstremalnych warunków pustynnych. Skład gatunkowy biologicznej skorupy glebowej na Pustyni Błędowskiej nawiązuje do opisanych w większości obszarów suchych i półsuchych oraz spełnia podobną funkcję (SHTINA, GOLLERBAKH, 1976; WEST, 1990; JOHANSEN, 1993; BELNAP i in., 1994; EVANS, JOHANSEN, 1999).

W stadium inicjalnym duże znaczenie biocenotyczne ma *Polytrichum piliferum*, który jest dominującym elementem wśród gatunków zarodnikowych. Jego udział w procesie zarastania i utrwalania piasków był wielokrotnie podkreślany (ZIELIŃSKA, 1967; KOBENDZINA, 1969; LEACH, 1931; CZYZEWSKA, 1992). Jak już wspomniano, zasiedla on całe powierzchnie uprzednio zajęte przez glony. Gatunek ten przystosowuje się szybko do rozwoju w warunkach wzmoczonych procesów eolicznych. W przypadku zasypania piaskiem *P. piliferum* przebija jego warstwy i rośnie ku górze w postaci sztywnych bezlistnych łodyżek, a po osiągnięciu przez łodygi powierzchni nad piaskiem następuje rozwój listków. Jednolite płyty mszyste pokrywają szczelnie podłoże i utrudniają lub wręcz uniemożliwiają dopływ na-

sion roślin naczyniowych do banku. Płaty związane z tym mchem charakteryzują się utrzymywaniem dużej wilgotności, a ich zniszczone płyty chętnie zasiedlają rośliny naczyniowe. Kolonizacja płatów *P. piliferum* przez porosty, najczęściej z rodzaju *Cladonia*, prowadzi do zahamowania ich rozwoju i w efekcie do destrukcji roślin. E. SYMONIDES (1986), J. OSBORNOVA i in. (1990), J.B. FALIŃSKI (1986a, b), J.B. FALIŃSKI i in. (1993) sformułowali analogiczne wnioski po przeprowadzeniu badań terenów z podobnymi warunkami siedliskowymi.

Stadium z dominacją roślin zarodnikowych może być przez długi czas stabilne, jeśli do systemu nie będą dodawane składniki pokarmowe oraz jeśli podłoże nie zostanie zniszczone mechanicznie (TUXEN, 1975; KINDER i in., 1992; TISCHEW, MAHN, 1998; JENTSCH, BEYSCHLAG, 2003; FROMM i in., 2002). Dominująca rola roślin zarodnikowych, trwająca od fazy 1. do 5. na Pustyni Błędowskiej i do fazy 7. na niektórych nieużytkach porolnych, wyraźnie odróżnia borową serię sukcesji od serii grądowej i jest wyrazem potencjalnych właściwości siedliska (FALIŃSKI, 1986a). Pomimo przejściowego osłabienia roli roślin zarodnikowych w fazie 5. i całkowitej niemal wymiany gatunków w końcowych fazach w związku z przebudową struktury zbiorowiska sosnowo-wierzbowo-jałowcowo-brzozowego (biogrupa) na leśne (lasy sosnowe) staną się one ważnym składnikiem przyziemnej warstwy zbiorowiska leśnego (dotyczy to przede wszystkim mszaków, w mniejszej mierze porostów).

Istotną rolę w stadium inicjalnym, w fazach 1—3, wśród gatunków naczyniowych odgrywają odpowiednio *Corynephorus canescens*, *Koeleria glauca* i *Elymus arenarius*. Szczotlicha siwa ma kseromorficzną budowę pędów oraz bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy, dzięki czemu dobrze znosi procesy zasypywania (MARSHALL, 1965, 1967; RAHMONOV, 1999). Produkuje duże ilości lekkich nasion, które są łatwo przenoszone przez wiatr, a w sprzyjających warunkach może opanować nagie podłoże piaszczyste w ciągu 2—3 lat (KORNAŚ, 1972; CZYZEWSKA, 1992). Morfologia *Corynephorus canescens* jest ograniczona rodzajem podłoża i stopniem zwarcia roślinności (fot. 13).



Fot. 13. Zasypana piaskiem kępa *Corynephorus canescens* (fot. autor)
Phot. 13. Covering by sand tuft of *Corynephorus canescens* (phot. author)

Pojedyncze kępy są zwykle większe, bujniejsze i bardziej rozłożyste niż kępy, którym towarzyszą inne rośliny. Potwierdzeniem tego faktu są badania prowadzone na terenie Republiki Czeskiej (RYCHNOVSKÁ-SOUDKOVÁ, 1961), z których wynika, że eliminacja szczotliczy jest związana z opóźnieniem terenu przez inne gatunki, a więc z konkurencją międzygatunkową. Wyniki badań świadczą także, iż zmniejszenie przewodności gleby i nagromadzenie humusu są ważnymi czynnikami ograniczającymi rozwój szczotliczy siwej.

Z kolei *Koeleria glauca* to trawa kępkowa rosnąca na bardziej zasobnym podłożu niż siedliska szczotliczy siwej, dlatego też w fazie tej obserwuje się tylko pojedyncze jej okazy. Na akumulację piasku reaguje ona podobnie jak ta pierwsza trawa. Przysypane piaskiem liście i pędy ulegają rozkładowi i w ten sposób prowadzą do wzbogacenia podłoża. Zagrożeniem dla rośliny są warstwy piasku o dużej miąższości, gdyż

pędy nie są w stanie wydostać się na powierzchnię i obumierają. *Koeleria glauca* i *Corynephorus canescens* odgrywają znaczącą rolę w procesie formowania pagórków lub wałów wydmych na Pustyni Błędowskiej. W okresie wiosennym liście i pędy strzępicy sinej są chętnie zjadane przez sarny i zające, co wprawdzie ma wysoce negatywny wpływ na rozwój rośliny, lecz stymuluje proces jej powierzchniowego rozrastania (RAHMONOV, 1999).

Elymus arenarius to gatunek, który w stanie dzikim występuje na przybaltyckich piaskach nadbrzeżnych (PODBIELKOWSKI, 1968), skąd został wprowadzony na obszar Pustyni Błędowskiej (KRUTIKOW, 1961). Jest on dobrze przystosowany do rozwoju na luźnych piaskach. Świeżo nawiewane warstwy piasku przyczyniają się do ciągłego odnawiania rozległych rozłogów łodygowych i rozrastania się części naziemnych tej rośliny (ALEKHIN, 1951; KOBENDZINA, KOBENDZA,

1958). W przeciwieństwie do szczotlicy siwej i strzępicy sinej rozrastanie wydmuchrzycy piaskowej odbywa się w sposób poziomy. Sukcesywny rozwój podziemnych organów dobrze utrwala podłoże i ogranicza przebieg procesów eolicznych, przyspieszając sukcesję.

Stadium optymalne i terminalne

Znaczenie biocenotyczne w tym stadium mają wierzby (ostrolistna, piaskowa) dzięki rozrostowi i rozmnażaniu wegetatywnemu. Poszczególne ich polikormony mogą zajmować znaczne powierzchnie, zwiększając przy tym wilgotność podłoża, a w konsekwencji zasiedlanie coraz większych powierzchni i ułatwianie wkraczania innym gatunkom. Na fot. 14 dobrze widoczne są rozwijające się sosny pod wierzbą ostrolistną, które już w wieku 15—20 lat wypierają wierzby z biogrup.

Terminalne stadium sukcesji obejmuje 3 fazy. Można je traktować jak inicjalne stadium kształtowania się sosnowego zbiorowiska leśnego. Fazy 5., 6., 7. i 8. to początek wkraczania składników runa leśnego. Runo tworzącego się

boru sosnowego stanowią krzewinki, zioła, mchy, które z reguły pojawiają się znacznie później niż gatunki drzewiaste i stają się trwałym składnikiem dopiero po uformowaniu się zaczątku właściwej dla lasu struktury pionowej.

Z analizy zdjęć lotniczych Pustyni Błędowskiej oraz badań terenowych wynika, iż w ciągu niespełna 60 lat na fragmentach z glebami kopalnymi tworzy się bór chrobotkowy lub świeży wraz z charakterystyczną kombinacją gatunków. Na porzuconych obszarach porolnych zbiorowisko leśne boru sosnowego osiąga pełną dojrzałość po okresie mniej więcej 140 lat (FALIŃSKI, 1996). Proces ten na obszarze Pustyni Błędowskiej może być bardziej długotrwały z uwagi na skrajne ubóstwo podłoża. W obrębie świeżego boru sosnowego, porastającego wały wydmowe, najstarszy osobnik sosny zwyczajnej miał 120 lat, a gleba miała jeszcze charakter inicjalny. Świadczy to o tym, iż zbiorowisko nie osiągnęło jeszcze stanu dojrzałego ekosystemu. Dla czasu trwania pełnej sukcesji wtórnej duże znaczenie ma stan siedliska i dostępność diaspor w chwili inicjacji procesu. Obszar Pustyni Błędowskiej po okresie całkowitej nudacji pozostał w zasięgu potencjal-



Fot. 14. Wkraczanie sosny pod wierzbę ostrolistną (fot. autor)

Phot. 14. Pines encroachment under european violet willow (phot. author)

nej biochory zapewniającej dostawę propagul — w chwili inicjacji sukcesji dostawcą diaspor były okoliczne ekosystemy leśno-łąkowe. W każdym jednak przypadku odtworzenie charakterystycznej kombinacji gatunków wymaga mniej czasu niż uformowanie się właściwej dla danego typu ekosystemu leśnego struktury i podjęcia przez nią właściwej jej funkcji (FALIŃSKI, 1986b).

Na glebach piaszczystych, suchych, ubogich w składniki pokarmowe w terminalnym stadium sukcesji potencjalnie tworzą się lasy mieszane brzoźowo-dębowe z sosną, a zwłaszcza *Vaccinio vitis-idaee-Quercetum roboris* OBERD.57 (ELLENBERG, 1986; NEZADAL, RODER, 1994), bory sosnowe (POTT, 1992) oraz lasy dębowo-bukowe (RODE, 1995). Przez dziesięciolecia sosna preferowana była przez leśnictwo, tworzyły się lasy sosnowe z *Calluna vulgaris* w runie i przekształcały się w *Leucobryo-Pinetum*. Na obszarze badań i na wielu innych obszarach Polski o podobnym podłożu obserwuje się dominację *Leucobryo-Pinetum* lub *Cladonio-Pinetum*. Na suchych glebach piaszczystych o wyższej zawartości składników pokarmowych mogłyby się rozwijać lasy dębowo-bukowe z udziałem sosny. Lasy o podobnej strukturze nie należą do rzadkości nie tylko w Polsce, lecz także w całej Europie (ROO-ZIELIŃSKA, SOLON, 1998).

Sukcesja wymuszona/wspomagana

Sztuczne zalesienia doprowadziły do zmniejszenia obszaru lotnych piasków oraz przyczyniły się do zahamowania naturalnego przebiegu procesów sukcesyjnych. Gatunki liściaste produkują dużą ilość fitomasy, która prawie w całości rozkłada się w cyklu rocznym. Przyczynia się to do przyspieszenia procesów sukcesyjnych przez wzbogacanie podłoża w substancję organiczną i w efekcie do inicjacji procesów glebotwórczych i dalszego postępu sukcesji. Zmniejszanie powierzchni nagich piasków na rzecz innych zbiorowisk było w tym czasie uwarunkowane dwiema przyczynami. Po pierwsze — sztuczne nasadzenia zmniejszają siłę wiatru, co w dużej mierze umożliwia wzbogacanie gatunków i trwałość zbiorowiska roślinnego. Po drugie — następuje

zmiana gatunków światłolubnych na cienioznośne, zwiększanie powierzchni cienistych i zmiany warunków wilgotnościowych. Gęste sztuczne nasadzenia źle wpływają na warunki glebowe i wkraczanie innych gatunków w wyniku naturalnej sukcesji. W takich miejscach tworzy się wtedy w ciągu 30 lat uboga monokultura, np. sosnowa, nie mająca żadnego podobieństwa do naturalnego boru sosnowego. Konsekwencją tych procesów jest sztuczna plantacja sosny.

Rola gatunków iglastych i liściastych w sukcesji

Okap stwarza sprzyjające warunki życiowe dzięki tworzeniu mikrosiedliska, a w jego obrębie wpływa na zróżnicowanie warunków siedliskowych. Oddziaływania te są uwarunkowane głównie biologią gatunku i kształtem jego okapu, a zwłaszcza przy pełnym dostępie światła. Stąd do dwóch najważniejszych czynników ekologicznych warunkujących zróżnicowanie florystyczne pod okapami poszczególnych gatunków liściastych i iglastych należy zaliczyć światło i wodę. Energia świetlna nie dociera jednolicie pod strefę okapową. Korony badanych gatunków (*Salix acutifolia*, *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*) w różnym stopniu przepuszczają światło. W przypadku gatunków liściastych wczesną wiosną na powierzchnię gleby pod okapem dochodzi prawie połowa energii świetlnej. Sprzyja to rozwojowi gatunków psammofilnych, które są z natury światłoządne. Pod gatunkami liściastymi, a zwłaszcza pod wierzbą, obok gatunków zielnych masowo odnawia się sosna. Na obszarach o wysokim poziomie wód gruntowych i znacznej ilości frakcji ilastej proces wkraczania sosny zachodzi inaczej (CZYŁOK, RAHMONOV, 2004) niż na Pustyni Błędowskiej.

Gatunki psammofilne dzięki światłu i sprzyjającemu fitoklimatowi zaczynają vegetację wcześniej niż inne taksony porastające otwarte powierzchnie piaszczyste, narażone na bezpośrednią działalność wiatru. W miarę rozwijania liści w trakcie okresu vegetacyjnego i tworzenia się coraz większego cienia pod okapem gatunki podokapowe są chronione przed nadmiernym przegrzaniem, gdy temperatura na otwartych po-

wierzchniach piaszczystych dochodzi do 70°C w okresie letnim. Jest to pierwszy pozytywny efekt działania okapów analizowanych gatunków na badanym obszarze, który wpływa na zróżnicowanie florystyczne i stanowi efektywne ogniwo sukcesyjne. W ten sposób tworzą się wyspy sukcesyjne, ułatwiające dalszy rozwój sukcesji według modelu ułatwiania (CONNELL, SLATYER, 1977). Sosna, jako gatunek iglasty, przechwytuje światło w miarę jednolicie przez cały czas. Sosny mają kształt piramidalny, są przysadziste, dolne gałęzie najczęściej położone są bezpośrednio na powierzchni ziemi. To powoduje, że światło w bardzo małych ilościach dochodzi do gleby pod okapem.

Drugie pozytywne działanie okapów wspomnianych gatunków liściastych wiąże się z ich kształtem. Opady atmosferyczne, nawet w małych ilościach, dochodzą do powierzchni formującej się gleby w zasięgu strefy okapowej i doprowadzają do jej uwilgotnienia. W takich miejscach wilgotność utrzymuje się dłużej niż na sąsiednich obszarach otwartych. Wiatr wiejący przez całą wysokość korony, wysoka temperatura (+28°C w okapie — 25 czerwca 2003 roku) i wilgotność w gruncie przyczyniają się do systematycznej mineralizacji materii organicznej nagromadzonej pod analizowanymi gatunkami liściastymi, doprowadzając do heterogeniczności siedliska, która jest charakterystyczna dla obszarów suchych i półsuchych.

Układ gałęzi wierzby ostrolistnej, dębu szypułkowego i brzozy brodawkowatej sprawiają, iż woda dochodząca do gruntu może pochodzić bezpośrednio z opadu, może spływać po pniach/łodygach oraz przechodzić bezpośrednio przez rozrzedzone gałęzie. Takie miejsca są chętnie zasiedlane przez rośliny. Jest to ważny czynnik ułatwiający rozwój roślin i pośrednio sukcesję gleby.

W przypadku sosny obserwuje się inny wpływ okapu na wilgotność podłoża. Opady nie mają szansy na dotarcie do gleby rozwijającej się pod sosną, w przeciwieństwie do wspomnianych gatunków liściastych. Piramidalny kształt okapu sosny sprawia, iż woda spływa z gałęzi głównie poza strefę okapową. Dlatego też obszary te są bardzo suche i nie sprzyjają mineralizacji nagromadzonej materii organicznej, głównie pochodze-

nia sosnowego (fot. 11 a, b). Opad roślinny tworzy grubą warstwę o bardzo słabym stopniu rozkładu. Najczęściej jest on oddzielony od warstwy mineralnej. W takich siedliskach nie zasiedlają się gatunki psammofilne, pojawiają się natomiast pojedynczo gatunki borowe. Należy podkreślić, iż ma to miejsce pod osobnikami sosny, których wiek przekracza najczęściej 15 lat. Brak światła, wody i składników pokarmowych przyczynia się do tego, że na takich powierzchniach roślinność nie może rosnąć.

Jak wynika z przedstawionych faktów, gatunki liściaste na obszarze Pustyni Błędowskiej, w przeciwieństwie do gatunków iglastych, stanowią ważne ogniwo sukcesyjne i przyspieszają tempo procesów sukcesyjnych (rozdz. 7).

Pod okapem sosny w początkowym etapie nie ma żadnych gatunków roślin. Dopiero pod 25-letnią sosną wkraczają gatunki właściwe dla borów. O szybkości wkraczania gatunków pod sosną decyduje przede wszystkim kształt okapu, który w dużej mierze decyduje o warunkach siedliskowych. Poszczególne okazy sosny zwyczajnej skupiają się wokół obumarłego pnia *Salix acutifolia* i w zasięgu jej ówczesnego okapu, który potwierdza spostrzeżenie, iż sprzyja on rozwojowi siewek sosnowych przez użyźnianie podłoża i stwarzanie lepszych warunków mikrosiedliskowych. Gałęzie wierzby ostrolistnej są pokryte białym nalotem, odbijają promienie słoneczne i w ten sposób zmniejszają nieco temperaturę śródkoronową w porównaniu z koronami sosnowymi. Podobnych spostrzeżeń dokonano na drodze eksperymentalnej, potwierdzonej przez B. COLLINSA i G. WEINA (1998).

Zróżnicowanie florystyczne pod analizowanymi gatunkami liściastymi jest wyższe niż pod sosną zwyczajną. Obserwuje się tu przede wszystkim gatunki ze związku *Koelerion glaucae*, a w przypadku biogrupy sosnowej udział mają także taksony ze związku *Dicrano-Pinion*. Ważnym czynnikiem przyczyniającym się do bogactwa florystycznego pod dębem jest to, iż koło gatunków liściastych są nagromadzone osady eoliczne drobnofrakcyjne, które charakteryzują się lepszymi właściwościami wchłaniania i zatrzymywania wilgoci i mają one na tym terenie istotniejsze znaczenie niż żyzność podłoża.

7. Rozwój gleb na obszarze Pustyni Błędowskiej

Proces tworzenia się pokrywy glebowej na badanym obszarze zachodzi na dwa sposoby. Pierwszy z nich występuje na obszarach, na których ówczesna pokrywa glebowa została zniszczona i rozwiana w całości. Ten sposób tworzenia się gleby zachodzi w warunkach pierwotnej sukcesji. Drugi sposób występuje na powierzchniach z częściowo zniszczoną lub nienaruszoną dawną pokrywą glebową, gdzie ma miejsce wtórna sukcesja roślinna. Zgodnie z wydzielonymi już stadiami i fazami sukcesji roślinności (rozdz. 6) przeprowadzono badania glebowe w celu poznania relacji w układzie roślina — gleba — roślina.

7.1. Specyfika utworów macierzystych gleb

Charakterystyki cech materiału mineralnego budującego współczesne i kopalne gleby dokonano, analizując skład granulometryczny, mineralny oraz chemiczny utworu macierzystego.

Uziarnienie. Wyniki analizy nie wykazują zasadniczych różnic między badanymi glebami współczesnymi oraz glebami kopalnymi przykrytymi arenosolami. Jedyną różnicę obserwuje się w zawartości części szkieletowych w glebie I.10 (21%), przy niespełna 3% w pozostałych profilach. W profilu tym obserwuje się również przewagę piasku gruboziarnistego nad średnioziarnistym w stosunku do innych profili (tabele 10, 11). Pomimo różnic w procentowym udziale poszczególnych frakcji piasku i części szkieletowych materiał budujący gleby współczesne i kopalne

należy do tej samej grupy granulometrycznej (piasku luźnego).

W badanym materiale glebowym dominują ziarna frakcji 0,5—0,25 mm (piasek średnioziarnisty — średnio 52%), w następnej kolejności występuje frakcja 0,25—0,1 mm (piasek drobny — średnio 30%), 1,0—0,5 mm (piasek gruby — średnio 16%) oraz <0,1 mm (frakcja pyłowa i części spławialne — średnio 2%). Ostatnia frakcja występuje w największych ilościach w poziomach próchnicznych gleb współczesnych oraz w poziomach A, Ees, B w glebach kopalnych (tabele 10, 11). Uzyskane wyniki potwierdzają też wcześniejsze ustalenia dotyczące uziarnienia piasku na tym terenie prowadzone przez Z. KRAWCZYK i J. TREMBACZOWSKIEGO (1986).

Skład mineralny. W piaskach Pustyni Błędowskiej Z. ALEXANDROWICZOWA (1962) dokonała analizy mineralogicznej. Badania autorki wykazują, iż średnio 90% materiału piaszczystego stanowią ziarna kwarcu, a w małych ilościach występują: kwarcyt (7—14%), minerały ilaste (0,8—3,0%), skalenie (0,9—1,6%) i minerały ciężkie (0,7—2,0%). W materiałach piaszczystych autorka oznaczyła następujące minerały ciężkie: minerały nieprzezroczyste (24,0—38,0%), granat (26,0—43,6%), cyrkon (2,3—13,0%), turmalin (3,3—8,6%), staurolit (2,6—10,0%), epidot (2,3—8,6%), rutyl (0,6—2,0%), topaz (0,3—10%), cyanit (0,6—4,0%), andaluzyt (1,0—3,0%), sillimanit (0,6—3,0%), amfibol zwyczajny (1,0—4,0%) oraz piroksen (0,6—2,3%). Taki skład mineralny wyraźnie wskazuje na ubóstwo minerałów o charakterze odżywczym

Uziarnienie materiału budującego współczesne gleby Pustyni Błędowskiej i okolic

Grain size composition of material building of modern soil of Błędów Desert and neighbourhood

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Barwa wg Munsella w stanie		Udział procentowy frakcji				
		suchym	wilgotnym	>1 mm	1,0—0,5 mm	0,5—0,25 mm	0,25—0,1 mm	< 0,1 mm
I.1. Gleba pod glonami								
A	0,9—5,5	10YR 4/1	10YR 2/1	0,1	31,7	49,5	15,0	3,7
AC	5,6—10	10YR 6/6	10YR 5/6	0,1	11,0	63,4	24,7	0,8
C	11—60	10YR 7/3	10YR 6/4	0,7	27,0	57,6	14,5	0,2
I.2. Gleba pod <i>Polytrichum piliferum</i>								
A	3—7	10YR 4/2	10YR 3/1	0,0	14,8	60,2	22,2	2,8
I.3. Gleba pod biologiczną skorupą glebową								
A	3—7	10YR 5/2	10YR 3/1	0,1	38,2	49,5	9,7	2,5
I.4. Gleba pod <i>Salix arenaria</i>								
A	0—7	10YR 3/2	10YR 2/1	0,0	23,0	54,7	20,0	2,3
AC	8—22	10YR 5/4	10YR 4/5	0,1	17,3	61,9	20,0	0,7
C	23—35	10YR 7/3	10YR 6/4	0,1	16,2	58,1	24,4	1,2
I.5. Gleba pod <i>Salix acutifolia</i>								
A	0—13	10YR 4/2	10YR 3/1	0,1	20,8	55,2	21,5	2,4
B(fe)	14—27	10YR 5/4	10YR 4/3	0,4	20,3	58,7	20,2	0,4
BC	28—37	10YR 6/4	10YR 5/4	0,4	27,4	59,3	12,7	0,2
I.6. Gleba pod <i>Pinus sylvestris</i>								
A	0—11	10YR 5/2	10YR 3/2	0,0	25,1	58,9	14,2	1,8
AC	12—17	10YR 5/3	10YR 4/3	0,5	27,6	56,4	14,2	1,3
C	18—30	10YR 6/4	10YR 5/4	0,4	29,6	53,2	16,2	0,6
I.7. Gleba bielcowa w inicjalnym stadium rozwoju (stanowisko Przelom)								
AEes	6—10	10YR 5/1	10YR 4/1	0,0	1,2	42,5	52,7	3,6
B(fe)/C	11—40	10YR 5/2	10YR 4/2	0,0	0,7	38,1	60,3	0,9
I.10. Gleba bielcowa właściwa (stanowisko Sławków)								
A	0—4	—	—	0,3	38,4	26,8	28,7	5,8
AEes	5—15	10YR 6/1	10YR 4/1	3,6	50,0	23,1	21,2	2,1
Ees	16—40	10YR 7/1	10YR 6/1	3,7	53,1	22,4	18,7	2,1
Bhfe	41—62	10YR 5/6	10YR 4/6	6,9	59,7	28,8	3,3	1,3
Bfe	63—102	10YR 6/6	10YR 5/6	3,1	41,2	31,0	23,6	1,1
BC	103—122	10YR 6/6	10YR 5/6	2,4	45,1	35,0	16,4	1,1
C	123—130	10YR 7/6	10YR 6/6	1,0	34,3	44,3	19,1	1,3

w utworze macierzystym, który z kolei nie sprzyja szybkim procesom kolonizacji gatunków roślin.

W badanych próbkach dominującymi fazami są kwarc, skalenie i mullit oraz tlenki żelaza. Większość tlenków i innych związków żelaza, podobnie jak mullit, to fazy antropogeniczne, powsta-

łe w procesach wielkopieczowych oraz ze spalania węgla i przeniesione przez wiatr z huty „Katowice”, koksowni „Przyjaźń”, elektrociepłowni „Jaworzno” i z palenisk domowych otaczających Pustynię Błędowską. Zostały one wykazane za pomocą metody rentgenograficznej.

Uziarnienie materiału budującego młodsze (leżące nad glebami kopalnymi) i starsze gleby biellicowe Pustyni Błędowskiej

Table 11

Grain size composition of material building younger soil (lying on fossil soil) and older podzol soil in Błędów Desert

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Barwa wg Munsella w stanie		Udział procentowy frakcji				
		suchym	wilgotnym	>1 mm	1,0—0,5 mm	0,5—0,25 mm	0,25—0,1 mm	< 0,1 mm
II.1. Kopalna gleba biellicowa częściowo ogłowiona (stanowisko Centuria)								
AC	0—14	10YR 4/1	10YR 2/1	0,2	1,6	66,4	30,7	1,1
IIA1/C1... A15/C15b	15—104	10YR 6/2	10YR 5/2	0,1	3,8	72,0	23,9	0,2
III AEesb	105—117	10YR 5/2	10YR 4/2	0,3	5,7	71,9	20,9	1,2
III Bhfeb	118—134	10YR 5/6	10YR 4/6	0,2	7,7	73,3	18,0	0,8
III BCb	135—155	10YR 6/6	10YR 5/6	0,3	7,3	68,3	24,0	0,1
C	156—175	10YR 6/4	10YR 5/4	0,1	1,6	55,9	40,1	2,3
II.2. Kopalna gleba biellicowa częściowo ogłowiona (stanowisko Źródliko Białej)								
OA	0—8	10YR 5/2	10YR 4/1	0,0	6,4	50,1	41,3	2,2
IIA1/C1... A8/C8b	9—37	10YR 6/2	10YR 5/2	0,0	6,9	56,0	36,7	0,4
III Ab	38—40	10YR 6/2	10YR 4/2	0,0	0,3	51,1	47,5	1,1
C	41—47	10YR 6/2	10YR 5/2	0,0	5,5	71,6	22,8	0,1
IV Ab	48—54	7,5YR 5/1	7,5YR 4/1	0,2	5,9	66,8	23,5	3,6
C	55—80	10YR 6/3	10YR 5/2	0,0	11,1	65,7	22,8	0,4
V AEesb	81—90	10YR 5/2	10YR 3/2	0,7	73,7	20,1	5,2	0,3
V Bhfeb	91—110	10YR 5/1	10YR 4/1	0,0	15,0	55,6	26,9	2,5
V Bfeb	111—130	10YR 5/4	10YR 4/6	0,3	13,9	60,6	24,3	0,9
C	poniżej 130	10YR 7/3	10YR 6/4	0,0	6,0	65,7	28,3	0,0
III.1. Kopalna gleba biellicowa pełnoprofilowa (stanowisko Przelom)								
A	0—15	2,5Y 5/2	2,5Y 3/1	0,1	2,5	50,2	44,2	3,0
C	16—40	10YR 6/4	10YR 5/5	0,0	0,3	26,2	71,2	2,3
II AEesb	41—52	10YR 5/2	10YR 4/1	0,1	2,3	29,5	58,7	9,4
II Eesb	53—66	10YR 5/1	10YR 4/1	0,1	2,1	33,7	57,8	6,3
II Bhfeb	67—82	10YR 6/6	10YR 5/6	0,1	2,7	53,4	39,3	4,5
II Bfeb	83—102	10YR 6/6	10YR 5/8	0,0	1,8	50,2	43,8	4,2
II BCb	103—128	10YR 7/4	10YR 6/6	0,1	3,9	54,8	38,8	2,4
II C	129—160	10YR 7/2	10YR 7/4	0,3	6,2	54,0	39,3	0,2
III.2. Kopalna gleba biellicowa pełnoprofilowa (stanowisko Kuźnica Błędowska)								
A	3—10	10YR 3/2	10YR 2/2	0,2	1,5	59,1	36,9	2,3
AC	11—77	10YR 6/4	10YR 4/6	0,1	4,0	42,5	52,4	1,0
II AEesb	78—90	10YR 3/2	10YR 3/4	0,1	4,0	57,5	34,4	4,0
II Lesb	91—107	10YR 5/1	10YR 3/2	0,8	6,9	66,3	24,0	2,0
II Bhfeb	108—114	10YR 4/6	10YR 4/4	0,3	5,9	48,1	44,3	1,4
II Bfeb1	115—132	10YR 5/6	7,5YR 5/8	0,3	5,7	65,4	27,4	1,2
II Bfeb2	133—165	7,5YR 5/6	7,5YR 5/8	0,2	6,6	42,2	50,3	0,7
II BCb	166—211	7,5YR 6/8	7,5YR 5/8	0,2	3,9	43,9	50,5	1,5
II C	poniżej 212	7,5YR 6/6	7,5YR 5/8	0,1	7,7	67,5	23,9	0,8

Total content of Fe, Al, Ca, Mg, P, K, Mn, Na and Zn in selected soil profiles in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Zawartość ogółem [%]								
			Fe	Al	Ca	Mg	P	K	Mn	Na	Zn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I.8. Gleba bielocowa w inicjalnym stadium rozwoju (Pustynia Błędowska)	A	0—9	1,290	1,555	n.o.	n.o.	0,037	0,988	0,019	0,226	0,056
	AEes	10—17	0,227	0,954	n.o.	n.o.	0,026	0,899	0,004	0,369	0,013
	Bfe	18—46	0,188	0,931	n.o.	n.o.	0,013	0,954	0,004	0,221	0,008
	C	poniżej 47	0,170	0,851	n.o.	n.o.	0,027	0,972	0,004	0,256	0,006
I.9. Gleba bielocowa właściwa (Bukowno)	AEes	0—11	0,369	0,740	n.o.	n.o.	0,041	0,641	0,005	0,231	0,259
	Bhfe	12—24	0,779	1,171	n.o.	n.o.	0,050	0,906	0,007	0,407	0,026
	BfeC	25—54	0,265	1,109	n.o.	n.o.	0,026	0,933	0,006	0,232	0,005
	C	poniżej 55	0,161	0,964	n.o.	n.o.	0,032	0,896	0,005	0,225	0,007
II.1. Kopalna gleba bielocowa częściowo ogłowiona (Centuria)	AC	0—14	0,368	0,611	0,075	0,017	0,100	0,117	0,011	0,045	0,015
	II A1/C1... A15/C15b	15—104	0,201	0,456	0,060	0,014	0,010	0,192	0,009	0,068	0,008
	III AEesb	105—117	0,242	0,305	0,038	0,009	0,036	0,092	0,039	0,028	0,003
	III Bhfeb	118—134	0,568	0,703	0,041	0,019	0,034	0,204	0,030	0,059	0,018
	III BCb	135—155	0,394	0,623	n.o.	n.o.	0,024	0,197	0,023	0,071	0,004
	C	156—175	0,283	0,710	n.o.	n.o.	0,015	0,248	0,018	0,096	0,012
II.2. Kopalna gleba bielocowa częściowo ogłowiona (źródli-sko Białej)	OA	0—8	0,213	0,822	0,313	0,061	0,050	0,408	0,004	0,151	0,009
	II A1/C1... A8/C8b	9—37	0,115	0,679	0,523	0,053	0,030	0,359	0,004	0,142	0,012
	III Ab	38—40	0,114	0,578	0,449	0,059	0,120	0,328	0,004	0,125	0,009
	C	41—47	0,073	0,540	0,342	0,046	0,050	0,283	0,002	0,097	0,013
	IV Ab	48—54	0,149	0,633	0,436	0,067	0,120	0,256	0,006	0,107	0,005
	C	55—80	0,113	0,569	0,288	0,038	0,030	0,296	0,005	0,130	0,005
	V AEesb	81—90	0,149	0,558	0,387	0,052	0,040	0,262	0,005	0,106	0,004
	V Bhfeb	91—110	0,151	0,653	0,361	0,046	0,120	0,259	0,004	0,116	0,003
	V Bfeb	111—130	0,207	0,744	0,048	0,053	0,060	0,289	0,004	0,098	0,002
C	poniżej 130	0,103	0,559	0,053	0,042	0,040	0,195	0,003	0,093	0,008	
III.1. Kopalna gleba bielocowa pełnoprofilowa (Przełom)	A	0—15	0,757	1,040	n.o.	n.o.	0,030	0,901	0,012	0,237	0,053
	C	16—40	0,343	0,930	n.o.	n.o.	0,022	0,928	0,006	0,210	0,010
	II AEesb	41—52	0,295	0,623	n.o.	n.o.	0,013	0,719	0,005	0,174	0,010
	II Eesb	53—66	0,175	0,430	n.o.	n.o.	0,006	0,426	0,003	0,199	0,012
	II Bhfeb	67—82	0,807	1,230	n.o.	n.o.	0,134	0,862	0,004	0,206	0,017
	II Bfeb	83—102	0,598	0,960	n.o.	n.o.	0,044	0,894	0,005	0,383	0,029
	II BCb	103—128	0,317	0,820	n.o.	n.o.	0,032	0,911	0,006	0,243	0,016
	II C	129—160	0,209	0,660	n.o.	n.o.	0,030	0,839	0,003	0,390	0,019
III.2. Kopalna gleba bielocowa pełnoprofilowa (Kuznica Błędowska)	A	3—10	0,193	0,766	0,060	0,056	0,090	0,193	0,005	0,098	0,008
	AC	11—77	0,174	0,798	0,065	0,051	0,140	0,179	0,005	0,090	0,005
	II AEesb	78—90	0,218	0,743	0,039	0,039	0,090	0,174	0,010	0,078	0,004
	II Eesb	91—107	0,216	0,459	0,029	0,039	0,130	0,123	0,011	0,051	0,006

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	II Bhfeb	108—114	0,668	0,935	0,056	0,059	0,110	0,194	0,011	0,074	0,018
	II Bfeb1	115—132	0,538	0,723	0,067	0,055	0,090	0,184	0,015	0,073	0,010
	II Bfeb2	133—165	0,479	0,536	0,069	0,032	0,060	0,200	0,017	0,071	0,006
	II BCb	166—211	0,395	0,635	0,079	0,049	0,080	0,157	0,012	0,065	0,004
	II C	poniżej 212	0,347	0,601	0,090	0,023	0,040	0,165	0,024	0,062	0,008

Skład całkowity. Informacja o składzie chemicznym gleby jest bardzo istotna zarówno z punktu widzenia procesów glebotwórczych, jak i zawartości potencjalnych składników pokarmowych dla roślin. Taką analizę przeprowadzono w wybranych profilach gleb współczesnych (I.8, I.9), kopalnych ogłowionych (II.1, II.2) oraz gleb kopalnych pełnoprofilowych przykrytych współczesnymi arenosolami (III.1, III.2) (tabela 12).

Pierwiastki objęte analizą należą przede wszystkim do makroelementów, wśród których pod względem zawartości całkowitej w próbkach dominuje glin (tabela 12). Zakres jego zawartości w skale macierzystej waha się od 0,559% do 0,964%. Obserwuje się wyraźnie jego profilowe rozmieszczenie. Najczęściej duże wartości (średnio 0,841%) uzyskuje w poziomach i podpoziomach wzbogacania badanych gleb. Podobna prawidłowość jest widoczna w przypadku żelaza ogólnego. Zarówno w glebach współczesnych bielicowych właściwych, jak i w glebach kopalnych ogłowionych i pełnoprofilowych największe jego wartości zanotowano w poziomie wzbogacania. Zbliżonymi wynikami charakteryzują się gleby wytworzone z piasków, pochodzące z różnych obszarów Polski (*Album gleb Polski*, 1986).

Z pierwiastków (np. Ca, K, Na) stosunkowo duże zawartości stwierdzono w profilu II.2 gleb serii młodszej (arenosole). Ogólnie badane materiały glebowe są bardzo ubogie w pierwiastki odżywcze dla roślin.

7.2. Morfologia gleb współczesnych w relacji do sukcesji pierwotnej

Na wcześniej wytypowanych powierzchniach pod gatunkami dominującymi w lokalnej bioce-

nozie oraz pod zbiorowiskami roślinnymi wykonano profile glebowe, których podstawową charakterystykę (lokalizacja, roślinność, pozycja systematyczna) podano opisowo, a szczegółową morfologię zamieszczono w tabelach.

Stadium inicjalne

I.1. Gleba inicjalna luźna (regosol) pod zbiorowiskiem *Algae* i *Cyanophyta* (tabela 13)

Lokalizacja profilu: mało aktywna niecka deflacyjna (50°21'20"N, 19°28'01"E)

Roślinność: algocenozy wraz z sinicami zajmują przede wszystkim obszary pozbawione roślinności kwiatowej oraz zasiedlają otwarte powierzchnie piaszczyste w obrębie zbiorowisk murawowych. Dominującym gatunkiem jest *Cylindrocapsa* sp., tworzący skorupę na powierzchni podłoża o miąższości dochodzącej do 2 cm.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe inicjalne i słabo wykształcone, gleby inicjalne luźne (regosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

I.2. Gleba słabo wykształcona ze skał luźnych (arenosol) pod zbiorowiskiem *Polytrichum piliferum* (tabela 14)

Lokalizacja: mocno zadarniona powierzchnia w *P. piliferum* (50°20'19"N, 19°28'25"E).

Roślinność: płat *Polytrichum piliferum*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe inicjalne i słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

I.3. Gleba słabo wykształcona ze skał luźnych (arenosol) pod biologiczną skorupą glebową (tabela 15)

Morfologia gleby w profilu I.1

The soil morphology — profile I.1

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
O/A	0—0,8	poziom organiczno-próchniczny, pokrywa glonowa, wyraźnie zielony nalot wymieszany z piaskiem, a także igliwem sosnowym, pojedyncze drobne, obumarłe części <i>Corynephorus canescens</i> , <i>Koeleria glauca</i> i plechy porostów, stanowiące skorupę na powierzchni; barwa szara (10YR 6/2 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym)
A	0,9—5,5	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa ciemnoszara (10YR 4/1 w stanie suchym, 10YR 2/1 w stanie wilgotnym), drobne korzenie (< 1mm) <i>Corynephorus canescens</i> , <i>Koeleria glauca</i> , przejście stopniowe
AC	5,6—10	poziom przejściowy, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa ciemnożółta (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym), pojedyncze drobne korzenie <i>Salix acutifolia</i> (porasta 10 m na wschód od profilu), przejście ostre
C	11—60	skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty, barwa jasnożółta (10YR 7/3 w stanie suchym, 10YR 6/4 w stanie wilgotnym), wilgotny, pojedyncze korzenie <i>Salix acutifolia</i>

Morfologia gleby w profilu I.2

The soil morphology — profile I.2

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
O/A	0—2	poziom organiczno-próchniczny, zwarta darń mszysta, pomiędzy łodyżkami znajdują się: nawiany piasek, igliwie sosnowe oraz opad innych roślin; barwa brunatna (10YR 5/3 w stanie suchym, 10YR 4/3 w stanie wilgotnym)
A	3—7	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 4/2 w stanie suchym, 10YR 3/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, gołym okiem widoczne nieliczne ryzoidy

Morfologia gleby w profilu I.3

The soil morphology — profile I.3

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
O/A	0—2	poziom organiczno-próchniczny składający się z glonów, porostów i mszaków, tworzących biologiczną skorupę glebową (<i>Cladonia subulata</i> , <i>Cladina mitis</i> , <i>Coelocaulon aculeatum</i> , <i>Ceratodon purpurea</i> , <i>Brachycetum albicans</i> oraz inne nierozpoznawalne plechy porostów, pojedyncze okazy <i>Corynephorus canescens</i> i <i>Koeleria glauca</i> o słabej żywotności); powierzchnia mocno utrwalona, spojone ziarna piasku; barwa ciemnoszara (2,5Y 5/1 w stanie suchym, 2,5Y 4/1 w stanie wilgotnym)
A	3—7	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnobrunatna (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 3/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, pojedyncze korzenie <i>Corynephorus canescens</i> i <i>Koeleria glauca</i>

Lokalizacja: płaska powierzchnia (50°20'39"N, 19°29'50"E).

Roślinność: powierzchnia utrwalona przez skorupę glonowo-mszysto-porostową, zwaną biologiczną skorupą glebową. W skorupie znajdują

się także fragmenty częściowo rozłożonych liści wierzby ostroliśnej oraz igły sosnowe.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe inicjalne i słabo wykształcone ze skał

Morfologia gleby w profilu I.4

The soil morphology – profile I.4

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	4—3	podpoziom surowinowy zbudowany przede wszystkim z opadu <i>Salix arenaria</i> (liście, drobne gałązki), a także z pojedynczych liści <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Salix acutifolia</i> , <i>Betula pendula</i> oraz <i>Sorbus aucuparia</i> przetransportowanych przez wiatr; barwa brunatna (10YR 4/3 w stanie suchym, 10YR 3/3 w stanie wilgotnym)
Of (+Oh)	2—0	podpoziom butwinowo-epihumusowy, skład szczątków jak w podpoziomie Ol; górna część poprzeraściana grzybnią, złożenie luźne, silne rozdrobnienie szczątków; barwa ciemnobrunatna (10YR 4/2 w stanie suchym, 10YR 3/1 w stanie wilgotnym), ślady soczewki próchnicy bezpostaciowej, nieznaczna domieszka ziaren piasku, przejście do poziomu A ostre, układ pulchny
A	0—7	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa czarna (10YR 3/2 w stanie suchym, 10YR 2/1 w stanie wilgotnym), przerośnięty korzeniami <i>Salix arenaria</i> , przejście stopniowe
AC	8—22	poziom przejściowy, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa ciemnożółta (10YR 5/4 w stanie suchym, 10YR 4/5 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie <i>Salix arenaria</i> , przejście ostre
C	23—35	skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa jasnożółta (10YR 7/3 w stanie suchym, 10YR 6/4 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie wierzby

luźnych (arenosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

I.4. Gleba słabo wykształcona ze skał luźnych (arenosol) pod *Salix arenaria* (tabela 16)

Lokalizacja: płaska powierzchnia (50°20'41,3"N, 19°29'51"E).

Roślinność: kępa *Salix arenaria* (ok. 20 lat) o średnicy 1,5 metra. Jej gałęzie położone są na powierzchni gleby. W kępie rozwijają się okazy *Pinus sylvestris*, z których najstarszy ma 8 lat. Wiek okazów sosny w sąsiedztwie kępy oceniono na 14—15 lat.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

I.5. Gleba słabo wykształcona ze skał luźnych (arenosol) pod *Salix acutifolia* (tabela 17)

Lokalizacja: płaska powierzchnia (50°20'39,9"N, 19°28'49,2"E).

Roślinność: okap 28-letniej *Salix acutifolia* o pięciu pniach. Na obrzeżu jej kępy znajdują się okazy około 15-letniej *Pinus sylvestris*; po zachodniej stronie występuje także *Salix arenaria*. Obszar podokapowy, a szczególnie jego południowa część, jest zdominowany przez *Koeleria glauca*, której

towarzyszą *Festuca ovina* i *Corynephorus canescens*. W lukach pomiędzy kępami traw występuje biologiczna skorupa glebowa składająca się z glonów i szczątków nierozpoznawalnych plech porostów, przede wszystkim z rodzaju *Cladonia*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

I.6. Gleba słabo wykształcona ze skał luźnych (arenosol) pod *Pinus sylvestris* (tabela 18)

Lokalizacja: płaska powierzchnia (50°20'39"N, 19°29'50"E).

Roślinność: okap 35-letniej *Pinus sylvestris*; z głównego pnia, o średnicy 16 cm, odchodzi 5 innych pni o mniejszej średnicy. Sosna jest rozłożysta i płożąca na powierzchni gleby. Pod jej okapem występują jej pojedyncze siewki. Na obrzeżu okapu rosną pojedyncze okazy *Koeleria glauca*, *Cardaminopsis arenosa*, *Algae* i *Ceratodon purpurea*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe, słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosole), według FAO (1988): *Haplic Arenosols*, według WRB (1998): *Protic Arenosols*.

Morfologia gleby w profilu I.5

The soil morphology — profile I.5

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	4—2	podpoziom surowinowy zbudowany głównie z opadu <i>Salix acutifolia</i> (kora, drobne gałązki, liście) oraz z niewielkiej ilości obumarłych szczątków <i>Corynephorus canescens</i> , <i>Koeleria glauca</i> , igieł <i>Pinus sylvestris</i> , plechy porostów; pojedynczo występuje także opad <i>Salix arenaria</i> ; barwa brunatna (10YR 4/3 w stanie suchym, 10YR 3/3 w stanie wilgotnym)
Of	2—0	podpoziom butwinowy zbudowany z wyżej wymienionego opadu roślinnego, szczątki w większości trudne do rozpoznania, przerośnięte grzybnią w stropowej części, a w zaawansowanym stopniu mineralizacji w jego spągowej części, przejście ostre; barwa ciemnobrunatna (10YR 3/3 w stanie suchym, 10YR 2/1 w stanie wilgotnym)
A	0—13	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 4/2 w stanie suchym, 10YR 3/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, układ pulchny, poprzerastany dużą ilością korzeni <i>Salix acutifolia</i> o różnej średnicy, przejście ostre
B(fe)	14—27	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnobrunatna (10YR 5/4 w stanie suchym, 10YR 4/3 w stanie wilgotnym), z dużą zawartością żelaza, układ pulchny, przejście ostre
BC	28—37	poziom przejściowy, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotny, barwa ciemnożółta (10YR 6/4 w stanie suchym, 10YR 5/4 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie <i>Salix acutifolia</i> , przejście ostre
C	38—50	skała macierzysta, piasek luźny drobnoziarnisty, wilgotny, barwa jasnożółta, pojedyncze korzenie <i>Salix acutifolia</i>

Morfologia gleby w profilu I.6

The soil morphology — profile I.6

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	9—6	podpoziom surowinowy zbudowany głównie ze świeżego, nierozłożonego opadu <i>Pinus sylvestris</i> (igliwie, drobne gałązki, kora, szyszki) oraz z pojedynczych liści <i>Betula pendula</i> i <i>Salix acutifolia</i> , wyraźnie oddzielony od następnego podpoziomu; układ pulchny
Of	5—2	podpoziom butwinowy zbudowany ze szczątków roślinnych o różnym stopniu rozkładu, poprzerastany grzybnią, liczne drobne korzenie <i>Pinus sylvestris</i>
Oh	1—0	podpoziom epihumusowy wykształcony w postaci soczewek bezpostaciowej próchnicy, barwa czarno-brązowa, przejście stopniowe
A	0—11	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 3/2 w stanie wilgotnym), sypki, wysortowany, widoczne pojedyncze wybielone ziarna piasku, układ luźny, przejście stopniowe, korzenie kumulują się przede wszystkim w poziomie próchnicznym
AC	12—17	poziom przejściowy, piasek luźny średnioziarnisty, wilgotniejszy niż w poziomie próchnicznym, barwa ciemnożółta (10YR 5/3 w stanie suchym, 10YR 4/3 w stanie wilgotnym), mniej korzeni, przejście wyraźne
C	18—30	skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty, barwa jasnożółta (10YR 6/4 w stanie suchym, 10YR 5/4 w stanie wilgotnym), wilgotny, pojedyncze korzenie <i>Pinus sylvestris</i> o średnicy >1 cm

Stadium optymalne

I.7. Gleba bielnicowa w początkowym stadium rozwoju (Przełom) (tabela 19)

Lokalizacja: na północ od fragmentu dobrze zachowanego boru sosnowego (50°21'0"N, 19°28'25"E). Po południowej stronie wału eolicznego teren obniża się na północ.

Roślinność: początkowy bór świeży z dominacją *Vaccinium myrtillus*; drzewostan 40-letni.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby autogeniczne, bielicoziemne, gleby bielnicowe w początkowym stadium rozwoju

I.8. Gleba bielnicowa w początkowym stadium rozwoju (Pustynia Błędowska) (tabela 20)

Tabela 19

Morfologia gleby w profilu I.7

Table 19

The soil morphology — profile I.7

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	7—6	podpoziom surowinowy zbudowany głównie ze świeżego, nierozłożonego opadu <i>Pinus sylvestris</i> (drobne gałązki, szyszki, igliwie sosny i jałowca), pojedynczych liści <i>Salix acutifolia</i> , <i>S. arenaria</i> , <i>Polytrichum piliferum</i> , obumarłych części <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> i innych
Of	6—2	podpoziom butwinowy zbudowany z opadu roślinnego w różnym stopniu rozłożenia (zwłaszcza gatunki borowe), poprzerastany grzybnią, wilgotny, układ luźny, przejście ostre
Oh	2—0	podpoziom epihumusowy, mazista materia organiczna barwy ciemnoszarej
A	0—5	poziom próchniczny, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa ciemnoszara, wilgotny, poprzerastany korzeniami roślin zielnych i krzewinek, przejście nieostre
AEes	6—10	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny różnoziarnisty z przewagą drobnych frakcji, barwa czarna z wyraźnym odcieniem szarym (10YR 5/1 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), wybielone ziarna piasku świadczące o początkowej fazie bielnicowania, znaczna ilość korzeni, przejście stopniowe
B(fe)/C	11—40	poziom wzbogacania o charakterze początkowym, piasek luźny średnioziarnisty, na ciemnożółtym tle (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 4/2 w stanie wilgotnym) materiału macierzystego występują pojedyncze plamy żelaziste, wzdłuż korzeni <i>Pinus sylvestris</i> zaznaczają się kliny żelazisto-próchniczne, stopniowe przejście do skały macierzystej

Tabela 20

Morfologia gleby w profilu I.8

Table 20

The soil morphology — profile I.8

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	8—5	podpoziom surowinowy zbudowany głównie z igliwia <i>Pinus sylvestris</i> oraz szczątków <i>Vaccinium myrtillus</i> i <i>V. vitis-idaea</i> , dolna część przerośnięta grzybnią, układ pulchny, wilgotny, przejście ostre
Of	5—1	podpoziom butwinowy, opad roślinny w różnym stopniu rozkładu, poprzerastany drobnymi korzeniami i grzybnią
Oh	1—0	podpoziom epihumusowy, mazisty, silnie rozłożone nierozpoznawalne szczątki roślinne, barwa czarno-brunatna, stanowi strefę ryzosfery
A	0—9	poziom próchniczny, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa ciemnoszara, wilgotny, sypki w stropowej części poziomu, dużo korzeni o różnej średnicy
AEes	10—17	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa jasnoszara, wilgotny, widoczne wybielone ziarna kwarcu świadczące o procesie bielnicowania, niewielka ilość korzeni, przejście stopniowe
Bfe	18—46	poziom wzbogacania słabo wykształcony, piasek luźny różnoziarnisty, barwa jasnordzawa, wilgotny, widoczne rozproszone plamy żelaziste, pojedyncze korzenie, przejście ostre
C	poniżej 47	skała macierzysta, piasek średnio- i różnoziarnisty, barwa jasnożółta, układ zbity, brak korzeni

Lokalizacja: zachodnia część Pustyni Błędowskiej (50°19'45,9"N i 19°27'07"E), płaska powierzchnia.

Roślinność: inicjalny bór sosnowy o luźnym zwarcu (40-letni); w runie dominuje *Vaccinium myrtillus* i *V. vitis-idaea*, towarzyszą im: *Calamagrostis epigejos* oraz *Calluna vulgaris*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby autogeniczne, bielicoziemne, gleby bielcowe w inicjalnym stadium rozwoju.

Stadium terminalne

I.9. Gleba bielcowa właściwa (Bukowno) (tabela 21)

Lokalizacja: płaska powierzchnia — Bukowno (50°14'57,7" N, 19°25'38,9"E).

I.10. Gleba bielcowa właściwa (Sławków) (tabela 22).

Lokalizacja: Sławków, stok wydmy.

Roślinność: bór świeży z *Pinus sylvestris* ma około 140 lat. Podszyt tworzą *Quercus robur*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*. W runie dominuje: *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Festuca ovina*. W warstwie mchów i porostów występują przede wszystkim taksony charakterystyczne dla zbiorowisk borowych: *Dicranum undulatum*, *Entodon schreberi* oraz kilka gatunków porostów z rodzaju *Cladonia*. Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby autogeniczne, bielicoziemne, gleby bielcowe właściwe, według FAO (1988): *Orthic Podzols*, według WRB (1998): *Haplic Podzols*.

Tabela 21

Morfologia gleby w profilu I.9

Table 21

The soil morphology — profile I.9

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
O1	7—5	podpoziom surowinowy zbudowany głównie z nierozłożonego opadu <i>Pinus sylvestris</i> (igły, kora, szyszki, drobne gałązki), w dolnej części poprzerastany grzybnią
Of/Oh	5—0	podpoziom butwinowo-epihumusowy, szczątki roślin w różnym stopniu rozkładu, miejscami nierozpoznawalne
AEes	0—11	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa ciemnoszara, suchy, sypki, wyraźne efekty bielcowania, dużo korzeni
Bhfe	12—24	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, barwa rdzawo-zółta, zbity, rozproszone kongregacje żelaziste w strefie stropowej, brak korzeni, przejście stopniowe
BfeC	25—54	poziom przejściowy, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa rdzawa, stosunkowo wilgotny, zbity, występują pojedyncze korzenie, przejście stopniowe
C	poniżej 55	skała macierzysta, piasek luźny, barwa jasnożółta, wilgotny, zbity, brak korzeni

Roślinność: bór sosnowy świeży — swym składem gatunkowym zbliżony do śródładowego boru chrobotkowego. Wiek najstarszego okazu *Pinus sylvestris* to 130 lat. W runie stopień pokrycia dla *Vaccinium vitis-idaea* wynosi 5.5. Pojedynczo występuje *Deschampsia flexuosa*, *Vaccinium myrtillus* i *Chimaphila umbellata*. Liczne są porosty z rodzaju *Cladonia* i *Cladina*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby autogeniczne, bielicoziemne, gleby bielcowe właściwe, według FAO (1988): *Orthic Podzols*, według WRB (1998): *Haplic Podzols*.

Gleby tworzące się na obszarze Pustyni Błędowskiej i na terenach bezpośrednio do niej przylegających wykazują zróżnicowanie budowy profilowej oraz barwy poszczególnych poziomów genetycznych (tabele 10, 11, 12—22) w zależności od stopnia rozwoju i zwarcia zbiorowisk roślinnych. Autor zaobserwował też systematyczne formowanie się kolejnych poziomów lub podpoziomów w miarę postępu sukcesji roślinno-glebowej serii borowej. Rozwijające się gleby związane z fazami i stadiami sukcesji charakteryzują się następującą budową profilową: O/A-A-AC-C

Morfologia gleby w profilu I.10

The soil morphology — profile I.10

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	8—7	podpoziom surowinowy zbudowany głównie z nierozłożonego opadu roślinnego: drobne gałązki, szyszki, igliwie <i>Pinus sylvestris</i> i <i>Juniperus communis</i> , liście <i>Quercus robur</i> i mech <i>Caleragonella cuspidata</i> (obumarłe części), układ luźny, przejście stopniowe
Of	7—3	podpoziom butwinowy, słabo rozłożony opad roślinny, poprzerastany grzybnią, wilgotny, układ pulchny, przejście stopniowe, barwa brunatna (10YR 4/3 w stanie suchym, 10YR 3/3 w stanie wilgotnym)
Oh	3—0	podpoziom epihumusowy, amorficzna materia organiczna, barwa czarno-brunatna (10YR 3/1 w stanie suchym, 10YR 1,7/1 w stanie wilgotnym), poprzerastany korzeniami <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Quercus robur</i> oraz roślin trawiastych, wilgotny, układ pulchny
A	0—4	poziom próchniczny, piasek luźny drobno- i różnoziarnisty, barwa czarna (10YR 4/1 w stanie suchym, 10YR 2/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, mocno poprzerastany korzeniami o różnej grubości (najczęściej <i>Pinus sylvestris</i>), układ pulchny, przejście stopniowe — miejscami wchodzi klinowato do poziomu próchniczno-eluwialnego
AEes	5—15	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny gruboziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 6/1 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, mniej korzeni niż w poziomie A, przejście stopniowe
Ees	16—40	poziom wymywania, piasek luźny gruboziarnisty, wilgotny, barwa jasnoszara (10YR 7/1 w stanie suchym, 10YR 6/1 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie <i>Pinus sylvestris</i> , przejście stopniowe w postaci ostrych klinów
Bhfe	41—62	poziom wzbogacania, piasek scementowany gruboziarnisty, barwa rdzawo-brunatna (10YR 5/6 w stanie suchym, 10YR 4/6 w stanie wilgotnym), tworzy się orsztyń, układ zbity, przejście stopniowe, miejscami kliny o długości 65 cm w całym solum, brak korzeni
Bfe	63—102	poziom wzbogacania, piasek luźny grubo- i średnioziarnisty, barwa brunatno-rdzawa (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym), układ zbity, przejście stopniowe
BC	103—122	poziom przejściowy, piasek luźny grubo- i średnioziarnisty, barwa rdzawo-żółta (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym), układ zbity
C	123—130	skała macierzysta, piasek luźny warstwowany, jasnożółty (10YR 7/6 w stanie suchym, 10YR 6/6 w stanie wilgotnym) z szarawymi plamami, układ zbity

(I.1), O/A-A (I.2, I.3), Ol-Of(+Oh)-A-AC-C (I.4), Ol-Of-A-B(fe)-BC-C (I.5.), Ol-Of-Oh-A-AC-C (I.6), Ol-Of-Oh-A-AEes-B(fe)/C (I.7), Ol-Of-Oh-A-AEes-Bfe-C (I.8), Ol-Of/Oh-AEes-Bhfe-Bfe-C-C (I.9), Ol-Of-Oh-A-AEes-Ees-Bhfe-Bfe-BC-C (I.10). Miąższość solum w regosolach i arenosolach wynosi średnio od 10 cm do 25 cm, a w przypadku gleb biellicowych w inicjalnym stadium rozwoju dochodzi do około 50 cm. Badane gleby biellicowe właściwe mają różną miąższość solum, co jest uwarunkowane przede wszystkim ukształtowaniem terenu.

W obrębie badanych profilów istotne różnice morfologiczne, zwłaszcza w poziomie organicznym, obserwuje się pod sosną oraz w glebach

biellicowych w inicjalnym stadium rozwoju. Charakteryzują się one stosunkowo dużą miąższością poziomu organicznego złożonego z igliwia, kory, suchych gałązek i szyszek oraz słabym procesem biellicowania. Miąższość poziomu O (maksymalnie 9 cm) jest uwarunkowana przewagą opadu igliwia sosny nad tempem jego rozkładu. Igliwie jest bogate w substancje garbnikowe — woski i smoły (PONOMAREVA 1964; PONOMAREVA, PLOTNIKOVA, 1980; ALEKSANDROVA, 1980), które ograniczają procesy rozkładu. Prawie nierozłożona górna część poziomu organicznego i słabo rozłożona jego dolna część świadczą o niedostatecznej rozwiniętej florze grzybowej, która jest niezbędna do rozkładu materii organicznej pocho-

dzącej z sosny zwyczajnej. Mała miąższość poziomu próchnicznego i słabe bielcowanie w tym stadium spowodowane są dwoma czynnikami:

- małą dostawą kwasów organicznych (szczególnie fulwowych) do warstwy mineralnej,
- stosunkowo krótkim okresem, w którym zachodziły procesy glebotwórcze (35—40 lat).

Te dwa czynniki mają również istotny wpływ na proces tworzenia się poziomu wzbogacania *spodic*.

Gleba rozwijająca się pod *Salix acutifolia* ma odmienną budowę od gleby pod *Pinus sylvestris*, mimo że oba profile znajdowały się w niewielkiej odległości od siebie. Pod okapem wierzby obserwuje się masowe odnawianie sosny zwyczajnej, czego nie stwierdzono pod okapem samej sosny. Na tej podstawie można wnioskować, że wierzba tworzy sprzyjające siedlisko dla sievek sosny. Profil glebowy kształtujący się pod wierzbą ostrolistną różni się od profilu pod sosną następującymi cechami morfologicznymi: niewielką miąższością poziomu organicznego; większym stopniem jego rozkładu — szczególnie w dolnej części poziomu O; bardziej miąższym poziomem próchnicznym; brakiem morfologicznych cech procesu bielcowania i wyraźnym nagromadzeniem związków żelaza.

7.3. Właściwości gleb współczesnych

Odczyn gleb

Kwaśny odczyn jest cechą charakterystyczną dla rozwijającej się pokrywy glebowej w kierunku gleb bielicoziemnych. Odczyn gleby w poziomie A w miarę postępu sukcesji wykazuje zróżnicowanie (tabela 23) pod gatunkami dominującymi we wszystkich stadiach i fazach sukcesji roślinności serii borowej. W zbiorowiskach dążących w kierunku borowienia obserwuje się wyraźnie spadek pH. Badane gleby można uznać za kwaśne i bardzo kwaśne. We wszystkich profilach obserwuje się wzrost pH wraz z głębokością, za wyjątkiem poziomu B (I.9., I.10.), gdzie wartości pH są niższe niż w poziomie AEes i C

(tabela 23). Poszczególne poziomy można podzielić pod względem odczynu na dwie grupy:

- kwaśne i bardzo kwaśne — są to przede wszystkim poziomy organiczne, w których pH kształtuje się w granicach 3,4—6,0 (w H₂O) i 2,9—5,3 (w KCl),
- od lekko kwaśnych do bardzo kwaśnych — są to najczęściej poziomy próchniczne, charakteryzujące się wartościami 4,7—6,6 (w H₂O) i 3,9—5,8 (w KCl).

Skała macierzysta odznacza się odczynem lekko kwaśnym lub kwaśnym, co może sugerować docieranie do stosunkowo płytkich poziomów C pewnych ilości kwaśnych związków organicznych z poziomów powierzchniowych i słaby rozwój procesów glebotwórczych.

Współczesna kwasowość pod badanymi zbiorowiskami roślinnymi, w szczególności w poziomie organicznym i próchnicznym (O i A), może być spowodowana kwasami organicznymi produkowanymi przez rozkładający się opad roślinny, zwłaszcza sosnowy. Stwierdzone różnice między glebami pod wierzbą i sosną wynikają z odmiennych procesów biochemicznych zachodzących w ich profilach. Wiąże się to ze składem chemicznym opadu tych gatunków, który wpływa na proces kształtowania właściwości gleby. O ile odczyn gleby pod wierzbami w poziomach organicznych ma charakter lekko kwaśny (tendencje do alkalizacji) — 5,1, o tyle w glebach pod sosnami (pH — 3,5) występują odwrotne relacje, co ma znaczący wpływ na tempo rozkładu.

Odczyn gleby w skałe macierzystej wskazuje na brak węglanów w obrębie analizowanych warstw piasków wodno-lodowcowych lub proluwialno-rzecznych pochodzących z okresu zlodowacenia środkowopolskiego i bałtyckiego (SZCZYPEK, WACH, 1989; SZCZYPEK, WACH, WIKI, 1994). Uzyskane wyniki są bardzo zbliżone do wyników z siedlisk ze zbiorowiskami roślinnymi znajdującymi się w podobnych stadiach sukcesji serii borowej z różnych części Polski (CZYŻEWSKA, 1992; JANKOWSKI, BEDNAREK, 2000, 2002) i Europy Zachodniej (NIEROP i in., 2001; JENTSCH i in., 2003; ISERMANN, 2005).

Niektóre właściwości chemiczne gleb współczesnych tworzących się pod różnymi zbiorowiskami roślinnymi na Pustyni Błędowskiej

Some chemical properties of modern soils forming under various type of vegetation

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Straty prażenia [%]	Corg [%]	Nt [%]	C/N	P _{przys.} [mg · 100 g ⁻¹]	pH	
								H ₂ O	KCl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.1. Gleba pod glonami	O/A	0—0,8	2,87	1,10	0,060	18	0,74	5,1	4,5
	A	0,9—5,5	1,29	0,41	0,025	16	0,22	5,9	4,9
	AC	5,6—10	0,39	0,17	0,011	15	0,12	5,7	4,9
	C	11—60	0,33	0,19	0,010	19	0,28	5,9	5,1
I.2. Gleba pod <i>Polytrichum piliferum</i>	O/A	0—2	14,80	8,49	0,292	29	4,14	4,9	4,1
	A	3—7	1,39	0,62	0,029	21	0,08	5,5	4,7
I.3. Gleba pod biologiczną skorupą glebową	O/A	0—2	15,40	8,04	0,381	21	4,32	4,9	4,2
	A	3—7	1,97	1,25	0,043	29	0,43	6,3	5,4
I.4. Gleba pod <i>Salix arenaria</i>	Ol	4—3	70,30	37,00	1,280	29	7,06	5,8	5,2
	Of(+ Oh)	2—0	24,00	12,30	0,492	25	3,61	5,6	4,9
	A	0—7	1,98	1,42	0,072	20	0,14	5,6	4,6
	AC	8—22	0,48	0,33	0,015	22	0,12	5,5	4,8
	C	23—35	0,33	0,17	0,006	28	0,27	5,8	5,0
I.5. Gleba pod <i>Salix acutifolia</i>	Ol	4—2	82,50	49,20	1,560	32	6,45	5,5	5,1
	Of	2—0	21,90	11,50	0,558	20	6,89	5,8	5,2
	A	0—13	1,45	0,59	0,040	15	0,26	6,1	5,4
	B(fe)	14—27	1,01	0,34	0,022	15	0,19	5,9	5,2
	BC	28—37	0,58	0,17	0,007	24	0,25	5,8	5,2
I.6. Gleba pod <i>Pinus sylvestris</i>	Ol	9—6	96,00	49,40	0,903	54	5,32	3,9	3,2
	Of	5—2	62,10	32,12	0,615	52	6,49	4,4	3,7
	Oh	1—0	44,20	19,51	0,508	38	6,52	4,1	3,6
	A	0—11	0,77	0,43	0,015	29	0,31	5,5	4,8
	AC	12—17	0,63	0,27	0,008	34	0,52	5,4	4,7
	C	18—30	0,63	0,22	0,005	44	0,34	5,4	4,8
I.7. Gleba bielnicowa w inicyjalnym stadium rozwoju (Przełom)	Ol	7—6	93,00	46,51	1,160	40	n.o.	4,5	3,9
	Of	6—2	71,40	36,22	0,890	41	n.o.	3,4	2,9
	Oh	2—0	46,20	23,40	0,850	28	n.o.	3,8	2,9
	A	0—5	3,85	1,83	0,081	23	1,02	4,8	4,1
	AEes	6—10	1,41	0,54	0,022	25	0,15	5,7	4,8
	B(fe)/C	11—40	0,81	0,35	0,020	18	0,66	5,9	4,9
I.8. Gleba bielnicowa w inicyjalnym stadium rozwoju (Pustynia Błędowska)	Ol	8—5	94,00	49,53	0,720	69	0,48	3,9	3,2
	Of	5—1	70,10	37,28	1,240	30	n.o.	4,1	3,1
	Oh	1—0	60,00	29,42	0,930	32	n.o.	3,9	3,1
	A	0—9	4,70	2,11	0,110	19	0,53	4,7	3,9
	AEes	10—17	1,51	0,65	0,031	21	0,11	5,1	4,3
	Bfe	18—46	0,43	0,30	ślad	—	0,33	5,6	4,6
	C	poniżej 47	0,32	0,17	ślad	—	0,31	5,9	4,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.9. Gleba bielnicowa właściwa (Bukowno)	Ol	7—5	86,00	46,01	1,300	35	2,32	3,7	3,1
	Of/Oh	5—0	42,00	21,02	0,811	26	n.o.	4,3	4,1
	AEes	0—11	2,30	1,11	0,049	23	1,43	5,9	5,2
	Bhfe	12—24	1,50	0,65	0,030	22	3,53	5,0	4,6
	BfeC	25—54	0,67	0,20	0,011	18	0,84	5,6	4,8
	C	poniżej 55	0,34	0,15	śląd	—	0,37	6,1	5,0
I.10. Gleba bielnicowa właściwa (Sławków)	Ol	8—7	88,30	44,91	0,953	47	4,19	4,7	4,2
	Of	7—3	46,30	24,40	0,637	38	4,99	4,8	4,0
	Oh	3—0	28,30	11,72	0,520	23	14,99	6,0	5,3
	A	0—4	4,68	1,96	0,110	18	0,15	6,6	5,8
	AEes	5—15	1,70	0,89	0,037	24	0,07	6,3	5,9
	Ees	16—40	0,31	0,10	0,003	33	śląd	5,8	5,7
	Bhfe	41—62	1,50	0,65	0,030	22	0,05	5,1	4,6
	Bfe	63—102	0,99	0,42	0,009	47	0,04	4,7	4,7
	BC	103—122	0,63	0,20	0,011	18	0,19	5,5	5,1
	C	123—130	0,43	0,11	0,003	37	0,39	5,1	4,9

Zawartość węgla organicznego (Corg) i azotu ogółem (Nt)

Zawartość węgla organicznego w glebach Pustyni Błędowskiej w miarę postępu sukcesji roślinności, zarówno w poziomach organicznych jak i mineralnych ulega zmianom. W profilach I.1, I.2 i I.3 obserwuje się tworzenie poziomów mieszanych organiczno-mineralnych, spowodowane zasypywaniem roślin przez piasek i rozwojem roślin ze słabo zasypnym aparatem asymilacyjnym. Piasek wchodzi pomiędzy tkanki glonowe tworząc w ten sposób skorupę o charakterze organiczno-mineralnym.

Pod roślinnością naczyniową wyraźnie wydzielają się podpoziomy organiczne. Zawartość węgla organicznego w podpoziomie Ol mieści się w granicach 37% (profil I.4) — 49,53% (profil I.8). Ilość węgla organicznego w podpoziomach poziomu organicznego maleje wraz z głębokością i wzrostem stopnia humifikacji materiału organicznego. W poziomie A największe wartości Corg w inicjalnych stadiach sukcesji roślinności stwierdzono pod kępami *Salix arenaria* (1,42%) i biologiczną skorupą glebową (1,25%). W glebach bielnicowych słabo wykształconych zawartość Corg osiąga lub przekracza 2% (tabela 23).

W pozostałych poziomach zawartość tego pierwiastka maleje wraz z głębokością, z wyjątkiem poziomu Bhfe i Bfe (I.10), gdzie ilość Corg jest nieco większa niż w sąsiednich poziomach genetycznych (tabela 23).

Zawartość azotu (Nt) w badanych profilach wykazuje wyraźne zróżnicowanie i zależność od zawartości węgla organicznego. Największą zawartość tego pierwiastka stwierdzono odpowiednio w kolejnych podpoziomach poziomu organicznego w następującej kolejności: Ol>Of>Oh, za wyjątkiem profilu I.8. Wartości w tych podpoziomach kształtują się w granicach 0,492—1,560%. Azot jest po węglu głównym składnikiem próchnicy glebowej i wykazuje te same prawidłowości w profilowym rozmieszczeniu, co węgiel organiczny. W poziomach mineralnych zawartość azotu ogólnego też wykazuje zróżnicowanie: poziom A — 0,015—0,110%; Ees — 0,003%, Bhfe — 0,030%; Bfe — od wartości śladowych do 0,022%; skała macierzysta — od wartości śladowych do 0,010%.

Stosunek węgla do azotu zależy od jakości opadu roślinnego, a zmiany C/N w profilu wskazują na kierunek i tempo procesów mineralizacji (aktywność biologiczną) i humifikacji. Stosunek ten wykazuje wyraźne zróżnicowanie w bada-

nych glebach. C/N w poziomach organicznych i mineralnych gleb rozwijających się pod zbiorowiskami roślinnymi (I.1, I.2, I.3, I.4) mieści się w zakresie 15—29. W stadium terminalnym (I.6, I.7, I.8, I.9) zakres ten jest bardzo szeroki i w profilu I.8 wynosi od 19 do 69. Przy wysokich wartościach C/N azot, a także niektóre inne pierwiastki pokarmowe są bardzo słabo dostępne dla roślinności z powodu niskiego stopnia zaawansowania mineralizacji substancji organicznej. Podobne tendencje były stwierdzone przez M. JAN-KOWSKIEGO i R. BEDNAREK (2000, 2002) w glebach inicjalnych formujących się na piaskach wydmych Kotliny Toruńskiej, w fitocenozach *Spergulo morisonii-Corynephorretum* z różnych części Polski (CZYŻEWSKA, 1992) oraz na terenie Niemiec (JENTSCH i in., 2003).

Zawartość fosforu przyswajalnego ($P_{\text{przys.}}$)

W badanych glebach Pustyni Błędowskiej zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin wykazuje wyraźne zróżnicowanie (tabela 23). Największe jego wartości związane są z poziomami organicznymi, co wynika z mineralizacji szczątków roślinnych, a zanotowano je w glebach pod *Salix arenaria* — $7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. W poziomach mineralnych ilość fosforu jest bardzo niska, zwłaszcza w zbiorowiskach roślinnych w stadium inicjalnym i optymalnym. Podobne prawidłowości zostały stwierdzone przez W. DZIĘCIOŁOWSKIEGO (1976) na dojrzałej glebie bielcowej w rezerwacie „Bielice Gackie”. Fosfor potrzebny dla procesów życiowych oraz mineralnego odżywiania roślin pochodzi przede wszystkim z krótkiego obiegu, jakim jest opad samej rośliny oraz opad pochodzenia allochtonicznego w postaci szczątków roślinnych z sąsiednich obszarów.

Właściwości sorpcyjne gleb

Informacja o kationach wymiennych oraz o odczynie gleby jest podstawą w badaniach nad rozwojem i skutecznym zagospodarowaniem systemów biocenotycznych o małych zdolnościach sorpcyjnych (POKOJSKA, 1992; LUDWIG, KHANNA,

ANURUGSA, FÖLSTER, 2001; BEDNAREK, DZIADOWIEC, POKOJSKA, PRUSINKIEWICZ, 2004) i pozwala na odpowiedni dobór roślinności, która może mieć znaczący wpływ na rozwój biocenoz, przyspieszających powstawanie ekosystemów. Przedstawione w tabeli 24 właściwości sorpcyjne gleb pod dominującymi zbiorowiskami w trakcie sukcesji pierwotnej serii borowej dostarczają informacji o roli glebowej materii organicznej w kształtowaniu zdolności sorpcyjnych gleb formujących się z piaszczystego materiału uboższego w koloidy mineralne oraz o zmianach w środowisku glebowym. Kationy wymienne znajdujące się w kompleksie sorpcyjnym są ważnymi składnikami pokarmowymi dla roślin, zwłaszcza Ca, Mg, K, a także NH^+ i niektóre pierwiastki śladowe (Cu, Zn, Mn, Sr, Li). Są one na tyle związane, że woda przesiąkająca przez profil glebowy wymywa je tylko w niewielkim stopniu. Mogą one być usunięte z kompleksu sorpcyjnego siłami osmotycznymi włosków korzeniowych (DOBROVLSKI, 1968). Kationy występujące w strukturze minerałów w miarę wietrzenia mogą się stać stopniowo dostępne dla roślin. Uwolnione w tym procesie kationy są wiązane przez kompleks sorpcyjny gleby lub przechodzą do roztworu, o ile nie zostaną związane w strukturach minerałów wtórnych.

W składzie wymiennych kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) we wszystkich analizowanych na Pustyni Błędowskiej profilach i ich poziomach glebowych dominuje wapń, a następnie kationy magnezu, potasu i sodu. Udział kationów zasadowych jest zdecydowanie większy w poziomach organiczno-próchnicznych (O/A) profili I.1—I.3 oraz w podpoziomach organicznych profili I.4—I.10 niż wymiennych kationów kwasowych (tabela 24). W bardziej zaawansowanych fazach sukcesji roślinności (I.6—I.10) w kształtowaniu kwasowości w poziomach organicznych istotną i decydującą rolę odgrywają kationy wodoru wymiennego (H^+), a w poziomach mineralnych większości profili najczęściej dominującym kationem kwasowym jest glin wymienny (Al^{3+}).

Sumy kationów wymiennych zasadowych (S) generalnie są niewielkie. Najwyższymi wartościami charakteryzują się poziomy organiczne we

Sorpcyjne właściwości badanych gleb Pustyni Błędowskiej

Sorptions properties of investigated soils in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Kationy wymienne [cmol (+) · kg ⁻¹]						Kwasowość hydroli-tyczna (H _h) [cmol (+) · kg ⁻¹]	S	PWK _{pot.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	PWK _{rzzcz.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	V [%]
			zasadowe				kwasowe						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I.1. Gleba pod glonami	O/A	0—0,8	0,62	0,06	0,09	0,09	0,21	0,03	1,63	0,86	2,49	1,10	35
	A	0,9—5,5	0,55	0,06	0,02	0,10	0,08	0,15	0,96	0,73	1,69	0,96	43
	AC	5,6—10	0,25	0,03	0,01	0,05	0,06	0,12	0,49	0,34	0,83	0,52	41
	C	11—60	0,27	0,03	0,01	0,05	0,05	0,11	0,32	0,36	0,68	0,52	53
I.2. Gleba pod <i>Polytrichum piliferum</i>	O/A	0—2	3,08	0,24	0,60	0,22	0,35	0,83	6,53	4,14	10,67	5,33	39
	A	3—7	0,39	0,04	0,02	0,07	0,08	0,15	0,96	0,52	1,49	0,75	35
I.3. Gleba pod biologiczną skorupą glebową	O/A	0—2	2,88	0,22	0,44	0,19	0,15	0,24	7,54	3,73	11,27	4,12	33
	A	3—7	1,28	0,07	0,05	0,08	0,09	0,08	0,98	1,48	2,46	1,65	60
I.4. Gleba pod <i>Salix arenaria</i>	Ol	4—3	30,56	2,79	1,66	0,31	0,90	0,90	22,68	35,32	58,00	37,12	61
	Of (+Oh)	2—0	11,63	0,90	0,51	0,10	0,25	0,28	6,92	13,14	20,06	13,67	66
	A	0—7	0,80	0,08	0,06	0,08	0,28	0,11	1,80	1,02	2,82	1,41	36
	AC	8—22	0,30	0,04	0,01	0,05	0,09	0,14	0,64	0,40	1,04	0,63	38
	C	23—35	0,23	0,03	0,01	0,04	0,09	0,09	0,39	0,31	0,70	0,49	44
I.5. Gleba pod <i>Salix acutifolia</i>	Ol	4—2	38,85	2,58	1,97	0,35	0,90	0,48	26,43	43,75	70,18	45,13	62
	Of	2—0	21,41	1,04	0,62	0,22	0,17	0,14	7,05	23,29	30,34	23,60	77
	A	0—13	0,89	0,07	0,05	0,08	0,09	0,08	0,83	1,09	1,92	1,26	57
	B(fe)	14—27	0,47	0,04	0,02	0,04	0,08	0,12	0,92	0,57	1,49	0,77	38
	BC	28—37	0,29	0,03	0,01	0,04	0,08	0,14	0,53	0,37	0,90	0,59	41
I.6. Gleba pod <i>Pinus sylvestris</i>	Ol	9—6	11,86	0,70	1,04	0,34	1,77	1,26	50,92	13,94	64,86	16,97	21
	Of	5—2	7,21	0,40	0,26	0,28	0,25	2,24	16,38	8,15	24,53	10,64	33
	A	0—11	0,72	0,07	0,03	0,10	0,09	0,17	1,07	0,92	1,99	1,18	46
	AC	12—17	0,31	0,03	0,01	0,05	0,06	0,32	0,69	0,40	1,09	0,78	37
	C	18—30	0,26	0,03	0,01	0,05	0,09	0,66	0,53	0,35	0,88	1,10	40
I.7. Gleba biel-cowa w inicjal-nym stadium rozwoju (Prze-lom)	Ol	7—6	22,10	3,42	3,28	0,23	8,57	0,83	n.o.	29,03	—	38,43	—
	Of	6—2	19,05	2,22	1,17	0,19	4,53	1,90	n.o.	22,63	—	29,06	—
	Oh	2—0	12,32	1,49	0,74	0,14	2,93	1,21	n.o.	14,65	—	18,79	—
	A	0—5	2,32	0,59	0,21	0,06	0,23	3,08	16,08	3,12	19,26	6,49	17
	AEes	6—10	0,95	0,14	0,02	0,01	0,27	0,12	1,63	1,12	2,75	1,51	41
	B(fe)/C	11—40	0,80	0,08	0,01	0,01	0,32	0,14	1,16	0,90	2,06	1,36	44
I.8. Gleba biel-cowa w inicjal-nym stadium rozwoju (Pustynia Błędowska)	Ol	8—5	26,19	2,69	1,03	0,28	5,12	2,75	32,40	30,19	62,59	38,06	48
	Of	5—1	19,68	2,29	0,93	0,19	4,63	1,94	n.o.	23,09	—	29,66	—
	Oh	1—0	15,56	1,62	0,67	0,16	3,60	1,52	n.o.	18,01	—	23,13	—
	A	0—9	3,70	0,30	0,12	0,07	1,46	0,30	11,47	4,19	15,66	5,95	27
	AEes	10—17	1,25	0,18	0,04	0,05	0,44	0,15	1,93	1,52	3,45	2,11	44

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Bfe	18—46	0,25	0,05	0,02	0,02	0,32	0,09	0,86	0,34	1,20	0,75	28
	C	poniżej 47	0,21	0,05	0,01	0,02	0,21	0,11	0,56	0,29	0,85	0,61	34
I.9. Gleba bielicowa właściwa (Bukowno)	Ol	7—5	12,12	1,95	0,72	0,20	2,54	1,21	9,64	14,99	24,63	18,74	61
	Of/Oh	5—0	11,11	1,29	0,67	0,11	2,59	1,09	n.o.	13,18	—	16,86	—
	AEes	0—11	1,86	0,21	0,03	0,06	0,20	0,12	1,61	2,16	3,77	2,48	57
	Bhfe	12—24	0,14	0,07	0,02	0,03	0,71	0,17	3,23	0,26	3,49	1,14	7
	BfeC	25—54	0,16	0,04	0,01	0,02	0,32	0,11	1,03	0,23	1,26	0,66	18
	C	poniżej 55	0,16	0,04	0,01	0,03	0,09	0,18	0,47	0,24	0,71	0,51	34
I.10. Gleba bielicowa właściwa (Sławków)	Ol	8—7	28,54	2,61	1,55	0,37	1,50	0,42	37,87	33,07	70,94	34,99	47
	Of	7—3	15,47	1,26	0,99	0,29	0,18	0,61	21,90	18,01	39,91	18,80	45
	Oh	3—0	25,85	1,25	0,25	0,31	0,21	0,27	5,91	27,66	33,57	28,14	82
	A	0—4	6,80	0,34	0,06	0,13	0,14	0,14	1,52	7,33	8,85	7,61	83
	AEes	5—15	1,54	0,08	0,02	0,05	0,08	0,02	0,45	1,69	2,14	1,79	79
	Ees	16—40	0,48	0,04	0,01	0,05	0,08	0,02	0,26	0,58	0,84	0,68	69
	Bhfe	41—62	0,83	0,09	0,03	0,09	0,09	0,73	2,70	1,04	3,74	1,86	28
	Bfe	63—102	0,50	0,06	0,03	0,10	0,08	0,27	1,37	0,69	2,06	1,04	33
	BC	103—122	0,40	0,04	0,01	0,06	0,06	0,14	0,62	0,51	1,13	0,71	45
C	123—130	0,20	0,02	0,01	0,04	0,08	0,14	0,17	0,27	0,44	0,49	61	

wszystkich badanych glebach, gdzie wartości S przekraczają nawet kilkudziesięciokrotnie wartości z pozostałych poziomów genetycznych (tabela 24). Obserwuje się, iż wartości te maleją wraz ze wzrostem głębokości.

Pojemność wymiany kationowej potencjalnej (PWK_{pot}) poziomów O/A nie jest wysoka, podczas gdy w poziomach próchnicznych tych profili (I.1—I.3) jest jeszcze mniejsza (tabela 24). Wskaźnik ten osiąga znaczne wartości w glebach formujących się pod gatunkami krzewiastymi (I.4, I.5) i drzewiastymi (I.6—I.10). W podpoziomach poziomu organicznego są one zdecydowanie większe niż w poziomach próchnicznych. Mięszce poziomy organiczne z odrębnymi podpoziomami zawierającymi bardzo mało domieszki mineralnej mają nieporównywalnie większą pojemność sorpcyjną niż poziomy A, w których procentowa zawartość materii organicznej jest niewielka. Analogiczne prawidłowości profilowe stwierdzono w stosunku do pojemności kationowej wymiennej rzeczywistej (PWK_{rzecz}), przy czym PWK_{pot} wykazuje większe wartości we wszystkich poziomach genetycznych (tabela 24). Pojemność kationów wymiennych jest

większa tam, gdzie jest większe nagromadzenie materii organicznej gleb. Wszystkie zmiany związane z sorpcyjnymi właściwościami gleby są uwarunkowane tempem i stadiami sukcesyjnymi, a zwłaszcza formą gatunków (krzewów, drzew), ich wzrostem i produkcją materii organicznej w tym czasie.

Kolejnym istotnym wskaźnikiem jakości gleby jest jej stopień wysycenia kationami wymiennymi o charakterze zasadowym, co oznacza, że ich zawartość w poszczególnych poziomach decyduje o zróżnicowaniu wskaźnika V. W poziomach mineralnych (A i C) profili I.1 (43 i 53) i I.3 (60) wskaźnik ten ma większe wartości niż w poziomach O/A (odpowiednio 35 i 33). Podpoziomy organiczne w pozostałych profilach w związku ze znacznym udziałem kationów zasadowych (zwłaszcza Ca) charakteryzują się większymi wartościami wskaźnika V — od 21 do 82 (tabela 24).

Dominacja Ca^{2+} na badanym obszarze jest wyraźna w stosunku do pozostałych kationów. Podobne wyniki pochodzą z innych obszarów piaszczystych porośniętych borami sosnowymi (MATUSZKIEWICZ, 2001), choć obejmują one gleby

w pełni dojrzałe. Niska pojemność wymiany kationowej w całym profilu glebowym wynika z bardzo małej zawartości frakcji ilastej, a nawet jej braku w utworach piaszczystych, dlatego funkcję tworzenia kompleksu sorpcyjnego w glebie spełnia głównie próchnica stanowiąca zasadnicze źródło składników pokarmowych dla roślin oraz regulująca warunki wilgotnościowe (PUCHALSKI, PRUSINKIEWICZ, 1975; POKOJSKA, 1992).

Główne formy żelaza (Fe) i glinu (Al)

W celu poznania tempa rozwoju i kierunku procesów glebotwórczych zbadano różne formy występowania w glebie Fe i Al. Związki żelaza i glinu odgrywają ważną rolę w procesie formowania się gleby oraz w dalszym kształtowaniu jej właściwości. Mimo że barwa gleby zależy przede wszystkim od tlenków i wodorotlenków żelaza, we wszystkich niemal badanych poziomach obserwuje się przewagę glinu nad żelazem (tabela 25). Brak charakterystycznego zabarwienia powoduje, że nagromadzenia i przemieszczanie tlenków Al nie uwidaczniają się w morfologii gleb i bez specjalistycznych analiz mogą być niezauważane i niedoceniane w przebiegu procesów glebotwórczych. Jak wynika z uzyskanych rezultatów dotyczących materiału macierzystego, z którego wykształcone są gleby, jest on ubogi w półorotlenki Fe i Al, a informacje na temat ich niskich zawartości w glebach bielicoziemnych znajdują się w literaturze przedmiotu (*Album gleb Polski*, 1986; BEDNAREK, 1991; MELKURED i in., 2000). Wyniki dotyczące form żelaza zinterpretowano za Schwertmannem (SCHWERTMANN, 1964; BEDNAREK, POKOJSKA, 1996).

Żelazo wolne (Fe_d) jest identyfikowane z żelazem uwolnionym w wyniku wietrzenia z sieci krystalicznej krzemianów zawierających Fe i występujących głównie w postaci tlenków (tzw. pedogeniczne tlenki żelaza). Zawartość Fe_d wskazuje zarówno na stopień przeobrażenia minerałów pierwotnych, jak i na stopień zaawansowania procesów glebowych (MOKMA, BUURMAN, 1982; BEDNAREK, 1991; BEDNAREK, POKOJSKA, 1996; MELKE, 1997). W profilach regosoli (I.1)

i arenosoli (I.2—I.6) największe zawartości żelaza wolnego występują w poziomie O/A i A (tabela 25). Podobne prawidłowości obserwuje się w glebach bielcowych w inicjalnym stadium rozwoju (I.7, I.8). Z kolei w glebach bielcowych właściwych (I.9, I.10) największe wartości Fe_d zanotowano w poziomie wzbogacania (0,312% — I. 9; 0,299% — I.10). Zawartość Fe_d w skale macierzystej wszystkich badanych profili waha się od 0,022% do 0,057%. Jak wynika z tabeli 25, wolne żelazo gromadzi się we wszystkich profilach głównie w powierzchniowych poziomach glebowych, a jego spadek następuje wraz z głębokością. Większe nagromadzenie żelaza w poziomie wzbogacania jest uwarunkowane procesem bielcowania (BEDNAREK, POKOJSKA, 1996). Podobne prawidłowości obserwowano w glebach bielicoziemnych środkowej i północnej Europy (DEGÓRSKI, 2002).

- Amorficzne formy żelaza (Fe_o) i glinu (Al_o) — zawartość żelaza i glinu amorficznego, występującego głównie w postaci amorficznych tlenków — wykazują prawidłowości w rozmieszczeniu profilowym podobne do żelaza wolnego (Fe_d). Wyższe zawartości tych form (Fe_o i Al_o) obserwuje się w poziomach O/A (I.1—I.3), A (I.4, I.6, I.8), podczas gdy w profilu I.5 pod *Salix acutifolia* i w glebach bielcowych właściwych (I.9, I.10) największe nagromadzenie obserwuje się odpowiednio w poziomach B(fe) i Bhfe. W profilu I.7 większe wartości glinu amorficznego (Al_o) występują w skale macierzystej niż w nadległych poziomach glebowych. Jest to prawdopodobnie spowodowane silniejszym zwietrzeniem wyżej położonych poziomów i mobilnością glinu, jak twierdzi U. POKOJSKA (1976, 1979). We wszystkich analizowanych glebach ogólnie obserwuje się spadek zawartości amorficznego żelaza (Fe_o) i glinu (Al_o) wraz ze wzrostem głębokości. Podobne tendencje stwierdzili również wcześniej M. JANKOWSKI i R. BEDNAREK (2000, 2002) w inicjalnych glebach piaszczystych o różnym stopniu rozwoju w Kotlinie Toruńskiej.
- Żelazo związane w krzemianach (Fe_t - Fe_d) — wskaźnik ten wyznacza zawartość żelaza w krzemianach, które może być uwalniane w miarę rozwoju gleby (BEDNAREK, 1991; BED-

**Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników
w badanych glebach Pustyni Błędowskiej**

Content of various forms of iron and aluminium and values some indexes in soils in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Fe _t	Fe _d	Fe _o	Fe _e -Fe _d	Fe _d -Fe _o	Fe _d /Fe _t	Fe _o /Fe _d	Al _t	Al _o
			[%]							[%]	
I.1. Gleba pod glonami	O/A	0—0,8	0,311	0,094	0,078	0,217	0,016	0,30	0,83	n.o.	0,082
	A	0,9—5,5	0,500	0,083	0,066	0,417	0,017	0,17	0,79	n.o.	0,072
	AC	5,6—10	0,139	0,049	0,010	0,090	0,039	0,35	0,20	n.o.	0,057
	C	11—60	0,123	0,022	0,014	0,101	0,008	0,18	0,64	n.o.	0,048
I.2. Gleba pod <i>P. piliferum</i>	O/A	0—2	0,418	0,160	0,094	0,258	0,066	0,38	0,59	n.o.	0,099
	A	3—7	0,545	0,173	0,064	0,372	0,109	0,32	0,37	n.o.	0,097
I.3. Gleba pod biologiczną skorupą glebową	O/A	0—2	0,710	0,294	0,168	0,416	0,126	0,41	0,57	n.o.	0,107
	A	3—7	0,418	0,138	0,058	0,280	0,080	0,33	0,42	n.o.	0,030
I.4. Gleba pod <i>Salix arenaria</i>	A	0—7	0,456	0,125	0,068	0,331	0,057	0,27	0,54	n.o.	0,068
	AC	8—22	0,143	0,042	0,024	0,101	0,018	0,29	0,57	n.o.	0,078
	C	23—35	0,168	0,028	0,012	0,140	0,016	0,17	0,43	n.o.	0,074
I.5. Gleba pod <i>Salix acutifolia</i>	A	0—13	0,319	0,094	0,028	0,225	0,066	0,29	0,29	n.o.	0,059
	B(fe)	14—27	0,217	0,095	0,068	0,122	0,027	0,44	0,72	n.o.	0,171
	BC	28—37	0,148	0,030	0,020	0,118	0,010	0,20	0,67	n.o.	0,103
I.6. Gleba pod <i>Pinus sylvestris</i>	A	0—11	0,213	0,047	0,034	0,166	0,013	0,22	0,72	n.o.	0,013
	AC	12—17	0,171	0,030	0,002	0,141	0,028	0,18	0,07	n.o.	0,000
	C	18—30	0,142	0,041	0,022	0,101	0,019	0,29	0,54	n.o.	0,000
I.7. Gleba bielico-wa w początkowym stadium rozwoju (Przełom)	A	0—5	n.o.	0,452	0,012	—	0,440	—	0,03	n.o.	0,033
	AEes	6—10	n.o.	0,098	0,034	—	0,064	—	0,35	n.o.	0,028
	B(fe)/C	11—40	n.o.	0,032	0,030	—	0,002	—	0,94	n.o.	0,042
I.8. Gleba bielico-wa w początkowym stadium rozwoju (Pustynia Błędowska)	A	0—9	0,590	0,351	0,128	0,239	0,223	0,59	0,36	1,555	0,160
	AEes	10—17	0,227	0,078	0,038	0,149	0,040	0,34	0,49	0,954	0,027
	Bfe	18—46	0,188	0,031	0,008	0,157	0,023	0,16	0,26	0,931	0,037
	C	poniżej 47	0,170	0,023	0,002	0,147	0,021	0,14	0,09	0,851	0,083
I.9. Gleba bielico-wa właściwa (Bukowno)	AEes	0—11	0,369	0,128	0,066	0,241	0,062	0,35	0,52	1,740	0,097
	Bhfe	12—24	0,778	0,312	0,134	0,466	0,178	0,40	0,43	1,171	0,160
	BfeC	25—54	0,264	0,070	0,016	0,194	0,054	0,27	0,23	1,109	0,163
	C	poniżej 55	0,161	0,033	0,016	0,128	0,017	0,20	0,48	0,964	0,033
I.10. Gleba bielico-wa właściwa (Sławków)	A	0—4	0,654	0,279	0,144	0,375	0,135	0,43	0,52	n.o.	0,105
	AEes	5—15	0,126	0,041	0,034	0,085	0,007	0,33	0,83	n.o.	0,023
	Ees	16—40	0,119	0,027	0,008	0,092	0,019	0,23	0,30	n.o.	0,018
	Bhfe	41—62	0,451	0,299	0,160	0,152	0,139	0,66	0,54	n.o.	0,324
	Bfe	63—102	0,136	0,112	0,038	0,024	0,074	0,82	0,34	n.o.	0,188
	BC	103—122	0,187	0,077	0,032	0,110	0,045	0,41	0,42	n.o.	0,118
	C	123—130	0,158	0,057	0,040	0,101	0,017	0,36	0,70	n.o.	0,064

NAREK, POKOJSKA, 1996; BEDNAREK, 2001; DE-GÓRSKI, 2002). Zawartość wskaźnika Fe_T-Fe_d w większości profili charakteryzuje się wartościami malejącymi wraz z głębokością, jedynie w przypadku gleb biellicowych właściwych (I.9, I.10) tendencja ta zostaje zakłócona z powodu wyższych wartości tego wskaźnika w poziomach B_{hf}.

- Formy krystalicznych tlenków żelaza (Fe_d-Fe_o) — udział tej formy jest znacznie mniejszy od pedogenicznych tlenków żelaza w formie amorficznej, zwłaszcza w regosolach i arenosolach (I.1—I.6). Wskaźnik ten świadczy o względnej młodości gleby (BEDNAREK, POKOJSKA, 1996) i o tym, że są to gleby rozwijające się także pod inicjalnymi zbiorowiskami roślinnymi znajdującymi się w stadiach I i II sukcesji serii borowej.
- Stopień aktywności tlenków żelaza (Fe_o/Fe_d) — świeżo strącone tlenki żelaza, najczęściej bezpostaciowe lub słabo krystaliczne, ulegają stopniowo procesom starzenia, polegającym na odwodnieniu i krystalizacji (BEDNAREK, POKOJSKA, 1996). Wskaźnik aktywności SCHWERTMANN (1964), jakim jest Fe_o/Fe_d , wskazuje na stopień krystalizacji wolnych tlenków żelaza. Im większe wartości tego wskaźnika, tym większa jest aktywność żelaza w procesie glebotwórczym oraz mniejszy stopień krystalizacji. W większości analizowanych gleb największe wartości tego wskaźnika zanotowano w poziomie próchnicznym i próchniczno-eluwialnym (tabela 25), ponieważ próchnica utrudnia krystalizację.
- Stopień zwietrzenia materiału glebowego (Fe_d/Fe_t) — o stopniu zaawansowania procesów glebotwórczych oraz zwietrzenia materiału glebowego świadczą zawartości różnych form żelaza i glinu, a nasilenie rozkładu krzemianów określają stosunki omawianych wskaźników. Wskaźnik Fe_d/Fe_t został obliczony we wszystkich profilach, poza I.7 (tabela 25). Najwyższe wartości tego wskaźnika (0,82) zanotowano w poziomie B_{fe} gleby biellicowej właściwej (I.10), z kolei niskie jego wartości w większości profili świadczą o słabo zaawansowanym procesie glebowym.

7.4. Morfologia gleb kopalnych w relacji do sukcesji wtórnej

Na badanym obszarze zachowały się do tej pory gleby kopalne. Część z nich ma charakter ogłowiony, natomiast część charakteryzuje się pełną budową profilową.

II.1. Kopalna gleba biellicowa częściowo ogłowiona, przykryta arenosolami (Centuria) (tabela 26)

Lokalizacja: centralna część wydmy (50°20'18,8"N, 19°28'57,8"E).

Roślinność: *Festuco-Koelerietum glaucae* na stokach i u podnóża pagórka, *Spergulo-Corynephorum* porasta szczytowe partie wydmy. U podstawy wydmy rosną także: *Salix arenaria*, *S. acutifolia* i *Pinus sylvestris*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosol).

Nazwa opisowa: kopalne gleby biellicowe częściowo ogłowione, przykryte arenosolami.

II.2. Kopalna gleba biellicowa częściowo ogłowiona, przykryta arenosolami (Źródliko Białej) (tabela 27)

Lokalizacja: centralna część wydmy (50°20'37" N, 19°31'48"E).

Roślinność: *Festuco-Koelerietum glaucae* na stokach i u podnóża wydmy, murawa szczotlichowa *Spergulo-Corynephorum* porasta szczytowe partie wydmy, a u jej podstawy rosną także: *Salix arenaria*, *S. acutifolia* i *Pinus sylvestris*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosol).

Nazwa opisowa: kopalne gleby biellicowe częściowo ogłowione przykryte arenosolami.

III.1. Kopalna gleba biellicowa pełnoprofilowa przykryta arenosolami (Przełom) (tabela 28)

Lokalizacja: wierzchovina wału wydmowego (50°21'0" N, 19°28'25"E)

Roślinność: *Leucobryo-Pinetum*. Z gatunków drzewiastych dominuje *Pinus sylvestris*. Runo stanowią gatunki borowe, a przeważa *Vaccinium myrtillus*.

Morfologia gleby w profilu II.1

The soil morphology — profile II.1

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
AC	0—14	poziom próchniczny o cechach przejściowych, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 4/1 w stanie suchym, 10YR 2/1 w stanie wilgotnym) w stropowej części i jasnożółta w spągowej, liczne korzenie <i>Corynephorus canescens</i> i <i>Koeleria glauca</i>
II A1/C1/... A15/C15 b	15—104	kopalne poziomy próchniczne i skały macierzyste, piasek wydmowy średnioziarnisty, barwy żółtej z naprzemianległymi smugami (15) jasnoszarymi (10YR 6/2 w stanie suchym, 10YR 5/2 w stanie wilgotnym); poziom najniżej leżący jest najgrubszy (ok. 10 cm); próbę pobrano jako mieszaninę wszystkich poziomów
III AEesb	105—117	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa brunatno-szara (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 4/2 w stanie wilgotnym), wilgotny, nad nim bezpośrednio leży skała macierzysta pochodzenia eolicznego (C15), brak korzeni, przejście stopniowe; pozostałość poziomu A (zanik w wyniku rozwiewania)
III Bhfeb	118—134	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, barwa rdzawo-brunatna (10YR 5/6 w stanie suchym, 10YR 4/6 w stanie wilgotnym), wilgotny, zbity, stosunkowo duży udział drobnych korzeni
III BCb	135—155	poziom przejściowy, piasek luźny średnioziarnisty, barwa ciemnożółta (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym); w przejściu do skały macierzystej występują liczne drobne korzonki <i>Salix acutifolia</i> ; ślady gryzoni (nory)
C	156—175	skała macierzysta, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty barwy brunatnej (10YR 6/4 w stanie suchym, 10YR 5/4 w stanie wilgotnym), wilgotny, bez laminacji

Morfologia gleby w profilu II.2

The soil morphology — profile II.2

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
1	2	3
OA	0—8	poziom organiczno-próchniczny składający się z plechy glonów i porostów, część mineralną stanowi piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty, barwa szara (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), liczne korzenie gatunków psammofilnych
II A1/C1/... ...A8/C8 b	9—37	kopalne poziomy próchniczne i skały macierzyste, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty, barwa jasnoszara z ciemnymi smugami próchnicznymi (10YR 6/2 w stanie suchym, 10YR 5/2 w stanie wilgotnym), wilgotny, korzenie <i>Koeleria glauca</i> pionowo w dół dochodzą do gleb kopalnych
III Ab	38—40	kopalny poziom próchniczny, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty o barwie szarobrunatnej (10YR 6/2 w stanie suchym, 10YR 4/2 w stanie wilgotnym), wilgotny, przejście ostre
C	41—47	kopalna skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty o barwie jasnej szarobrunatnej (10YR 6/2 w stanie suchym, 10YR 5/2 w stanie wilgotnym), wilgotny, przejście ostre
IV Ab	48—54	kopalny poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty o barwie ciemnoszarej (7,5YR 5/1 w stanie suchym, 7,5YR 4/1 w stanie wilgotnym), sypki, przejście wyraźne
C	55—80	kopalna skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty o barwie jasnej szarobrunatnej (10YR 6/3 w stanie suchym, 10YR 5/2 w stanie wilgotnym), wilgotny
V AEesb	81—90	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny gruboziarnisty o barwie brunatnoszarej (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 3/2 w stanie wilgotnym), zbity, duża ilość korzeni, w przeciwieństwie do wyżej leżących poziomów przejście stopniowe, stropowa warstwa poziomu próchnicznego w większości rozwiana w wyniku procesów eolicznych

1	2	3
V Bhfeb	91—110	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, próchniczno-żelazisty o barwie ciemnoszarej (10YR 5/1 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, korzenie <i>Pinus sylvestris</i> , przejście stopniowe
V Bfeb	111—130	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, barwa rdzawo-brunatna (10YR 5/4 w stanie suchym, 10YR 4/6 w stanie wilgotnym), wilgotny, dużo korzeni (w tym <i>Koeleria glauca</i> porastająca pagórek)
C	poniżej 130	skała macierzysta, piasek średnioziarnisty o barwie żółtej (10YR 7/3 w stanie suchym, 10YR 6/4 w stanie wilgotnym), wilgotny, pojedyncze korzenie

Tabela 28

Morfologia gleby w profilu III.1

Table 28

The soil morphology — profile III.1

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Ol	8—4	podpoziom surowinowy, składa się głównie ze świeżego, słabo rozłożonego opadu <i>Pinus sylvestris</i> (igły, szyszki), przejście ostre
Of (+Oh)	4—0	podpoziom butwinowy/epihumusowy, szczątki <i>Pinus sylvestris</i> i innych gatunków zielnych o różnym stopniu rozkładu, silnie przerośnięty drobnymi korzeniami, lokalnie występują soczewki epihumusu (Oh)
A	0—15	poziom próchniczny, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty, barwa ciemnoszara (2,5Y 5/2 w stanie suchym, 2,5Y 3/1 w stanie wilgotnym), sypki, liczne korzenie hemikryptofitów, przejście ostre
C	16—40	skała macierzysta, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa rdzawa (10YR 6/4 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym), widoczne smugi i plamy próchniczne występujące wokół korzeni roślin, suchy, sypki, przejście wyraźne
II AEesb	41—52	kopalny poziomy próchniczno-eluwialny, piasek luźny drobnoziarnisty, barwa ciemnoszara (10YR 5/2 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), wilgotny, duża ilość korzeni roślin borowych, przejście stopniowe
II Eesb	53—66	poziomy wymywania, piasek luźny drobnoziarnisty, sypki, barwa szara (10YR 5/1 w stanie suchym, 10YR 4/1 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie, przejście stopniowe
II Bhfeb	67—82	poziomy wzbogacania, piasek luźny drobnoziarnisty, miejscami scementowany i zorsztynowany, barwa brunatno-rdzawa (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/6 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie, stopniowe przejście do następnego poziomu
II Bfeb	83—102	poziomy wzbogacania, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty o barwie rdzawej (10YR 6/6 w stanie suchym, 10YR 5/8 w stanie wilgotnym), wilgotny, silnie scementowany, liczne korzenie, przejście stopniowe
II BCb	103—128	poziomy wzbogacania o cechach przejściowych, piasek luźny średnioziarnisty o barwie rdzawo-żółtej (10YR 7/4 w stanie suchym, 10YR 6/6 w stanie wilgotnym), wilgotny, liczne korzenie
II C	129—160	skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty o barwie jasnożółtej (10YR 7/2 w stanie suchym, 10YR 7/4 w stanie wilgotnym), wilgotny, brak korzeni

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe, słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosole).

Nazwa opisowa: kopalne gleby bielicowe pełnoprofilowe przykryte arenosolami.

III.2. Kopalna gleba bielicowa przykryta arenosolami (Kuznica Błędowska) (tabela 29)

Lokalizacja: południowy stok wydmy (50°29'59"N, 19°28'24,7"E).

Roślinność: *Quercus robur-Pinetum* — przeważa dąb nad sosną. W podroście występują

Morfologia gleby w profilu III.2

The soil morphology — profile III.2

Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Opis profilu
Od	8—0	składa się głównie z darni <i>Festuca ovina</i> , porośnięty także korzeniami innych roślin zielnych i drzewiastych, układ pulchny, wilgotny, próchnica typu <i>mull</i> , związana systemem korzeniowym roślin zielnych
A	3—10	poziom próchniczny, piasek luźny średnioziarnisty, pylasty, sypki, barwa czarna (10YR 3/2 w stanie suchym, 10YR 2/2 w stanie wilgotnym), porośnięty korzeniami roślin zielnych, przejście stopniowe
AC	11—77	poziom przejściowy, piasek luźny drobno- i średnioziarnisty, barwa żółto-rdzawa (10YR 6/4 w stanie suchym, 10YR 4/6 w stanie wilgotnym), wilgotny, niewielki udział korzeni, ostra granica
II AEesb	78—90	poziom próchniczno-eluwialny, piasek luźny drobno- i średnioziarnisty, barwa ciemnobrunatna (10YR 3/2 w stanie suchym, 10YR 3/4 w stanie wilgotnym), pojedyncze korzenie <i>Pinus sylvestris</i> i <i>Quercus robur</i> , przejście stopniowe
II Eesb	91—107	poziom eluwialny, piasek luźny średnioziarnisty, barwa szara (10YR 5/1 w stanie suchym, 10YR 3/2 w stanie wilgotnym), mało zwięzły, pojedyncze korzenie, przejście stopniowe
II Bhfeb	108—114	poziom wzbogacania, piasek luźny średnio- i drobnoziarnisty, barwa brunatno-rdzawa (10YR 4/6 w stanie suchym, 10YR 4/4 w stanie wilgotnym), układ zbity, występują kongregacje żelaziste, ślady nor, duży udział korzeni w stosunku do poziomu II Eesb, które występują w postaci klinu przechodzącego do następnego poziomu, przejście stopniowe
II Bfeb1	115—132	poziom wzbogacania, piasek luźny średnioziarnisty, barwa rdzawo-żółta (10YR 5/6 w stanie suchym, 10YR 5/8 w stanie wilgotnym), zbity, maleje ilość korzeni, przejście stopniowe
II Bfeb2	133—165	poziom wzbogacania, piasek luźny drobno- i średnioziarnisty, wilgotny, barwa rdzawa (7,5YR 5/6 w stanie suchym, 7,5YR 5/8 w stanie wilgotnym), mniej korzeni, przejście stopniowe
II BCb	166—211	poziom przejściowy, piasek luźny drobno- i średnioziarnisty, barwa rdzawa (7,5YR 6/8 w stanie suchym, 7,5YR 5/8 w stanie wilgotnym), wilgotny, pojedyncze korzenie, przejście stopniowe
II C	poniżej 212	skała macierzysta, piasek luźny średnioziarnisty, barwa rdzawa (7,5YR 6/6 w stanie suchym, 7,5YR 5/8 w stanie wilgotnym), wilgotny, widoczne struktury sedymentacyjne, laminy zapadające się z upadem gleby kopalnej

krzewy liściaste: *Padus serotina*, *Frangula alnus*, a z roślin zielnych: *Festuca ovina*, *Deschampsia flexuosa*, *Polygonatum multiflorum*, *Mycelis muralis*, *Vaccinium myrtillus* i inne. Swoim składem gatunkowym częściowo nawiązuje do klasy *Querco-Fageteae*.

Nazwa gleby według *Systematyki gleb Polski* (1989): gleby litogeniczne, mineralne bezwęglanowe słabo wykształcone ze skał luźnych (arenosol).

Nazwa opisowa: kopalne gleby bielcowe pełnoprofilowe przykryte arenosolami.

Przedstawiona budowa profili glebowych wykazuje wyraźne zróżnicowanie i składa się z gleb generacji starszej i młodszej. Gleby starsze stanowią kopalne gleby bielcowe właściwe,

które zachowały się w całości (III.1, III.2) lub zostały częściowo rozwiane i mają charakter ogłowiony (II.1, II.2). Na powierzchni tych ostatnich zachodzi bardzo szybko wtórna sukcesja glebowa. W wyniku procesów eolicznych gleby te systematycznie zasypywał piasek. Transportowany przez wiatr piasek został zatrzymany przez roślinność porastającą gleby, co spowodowało powstanie pagórków fitogenicznych (wydm) z udziałem roślin zielnych, a zwłaszcza *Corynephorus canescens*. Jednocześnie z dostawą materiału i zmianą morfometrii tych form zwiększał się także areal roślinności. Proces agradacji piasków przebiegał etapami przerywanymi tworzeniem się poziomów akumulacji materii organicznej o niewielkiej miąż-

szości (tabele 26, 27). Efektem tego jest horyzontalne warstwowanie osadów, składające się z warstw mineralnych i warstw ze zhumifikowaną substancją organiczną (RAHMONOW, 1998; fot. 15, 16). W miarę upływu czasu i rozwoju procesów glebowych warstewki te ulegają zatarceniu, mają więc charakter okresowy.

W profilach młodszej generacji (II.1, II.2) stwierdzono występowanie naprzemianległych warstw cienkich smug (poziomów) próchnicznych i czystego piasku, co zostało oznaczone jako: A1/C1/...A15/C15 oraz A1/C1/...A8/C8 (fot. 16). Nad glebami kopalnymi pełnoprofilowymi nie zaobserwowano naprzemianległych warstewek, co jest uwarunkowane ich lokalizacją poza obszarami o wzmożonych procesach

eolicznych. Warstewki próchniczne powstają z rozkładu przysypanych piaskiem nadziemnych części roślin trawiastych i innego detrytus organicznego o różnym pochodzeniu. Na podstawie ich liczby można stwierdzić, że roślinność wkraczała na te powierzchnie kilkanaście razy (15 w pierwszym przypadku, 8 — w drugim), doprowadzając do utrwalenia formujących się nad nimi wydm lub pagórków. Największą miąższością cechuje się zawsze poziom próchniczny nad skałą macierzystą leżącą bezpośrednio nad starszymi generacjami gleby. Korzenie roślin penetrują tylko warstewki próchniczne (fot. 16, 17), czerpiąc z nich substancje pokarmowe, nie wnikają do piaszczystej skały macierzystej.



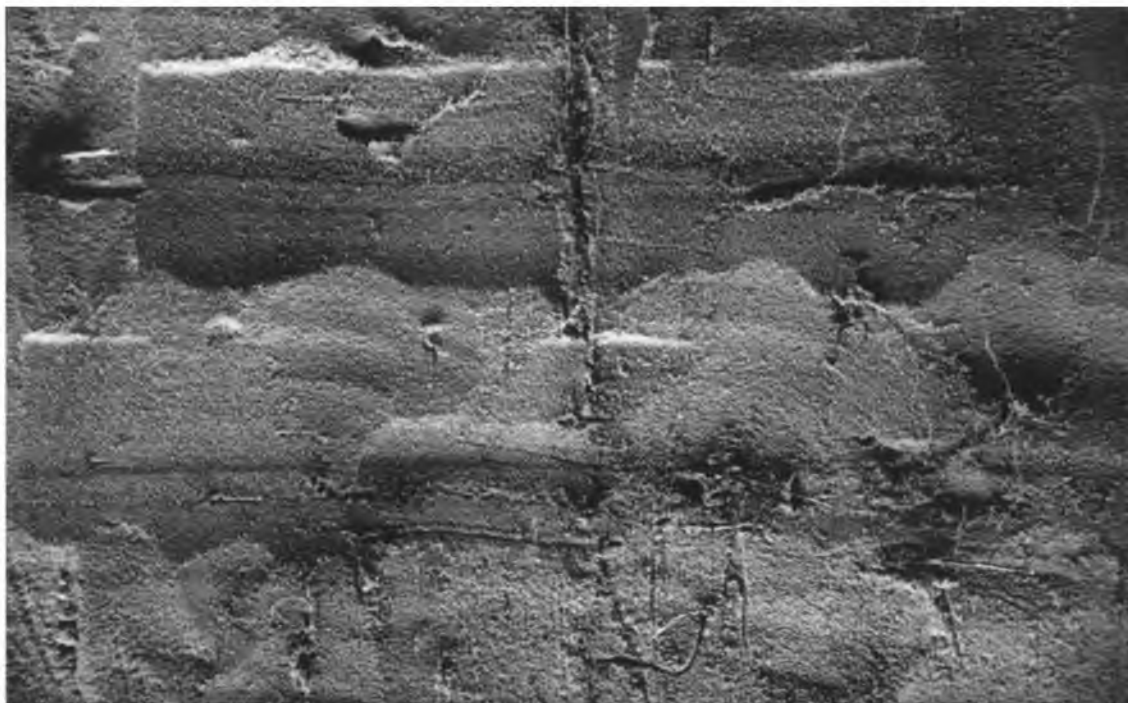
Fot. 15. Przykład wtórnej sukcesji glebowej i jej cykliczność nad glebami kopalnymi ogłowionymi (fot. autor)

Phot. 15. The example of secondary soil succession and their cyclicity on fossil soil without humus horizon (phot. author)



Fot. 16. Przykład wtórnej sukcesji glebowej i jej cykliczność nad glebami kopalnymi częściowo ogłowionymi (fot. autor)

Phot. 16. The example of secondary soil succession and their cyclicity on fossil soil with partly humus horizon (phot. author)



Fot. 17. Korzenie penetrujące warstewki próchniczne (fot. autor)

Phot. 17. Roots penetrating small humus layers (phot. author)

7.5. Właściwości gleb kopalnych

Odczyn gleb

Kopalna gleba bielnicowa częściowo ogłowiona przykryta arenosolem (II.1) wykazuje odczyn kwaśny zarówno w H_2O (5,2—5,9), jak i w KCl (4,5—5,2). Odczyn lekko kwaśny ma próba mieszana z głębokości 15—104 cm (6,3 w H_2O i 5,8 w KCl). W profilu II.2 większość poziomów ma odczyn lekko kwaśny (tabela 30). Wiąże się to z dostawą materiałów allochtonicznych podczas formowania się gleby, najczęściej szczątków organicznych i minerałów alkalizujących, jak np. kalcyt, które działają buforująco.

W glebach kopalnych pełnoprofilowych (III.1, III.2) wszystkie poziomy są bardzo kwaśne lub kwaśne (tabela 30). Ich zakres pH mieści się pomiędzy 4,5—5,8 w H_2O i 3,9—5,1 w KCl. Gleba młodszej generacji rozwijająca się nad kopalnymi glebami bielnicowymi (III.1) charakteryzuje się odczynem od bardzo kwaśnego do kwaśnego, podczas gdy ta sama generacja gle-

by w profilu III.2 ma charakter przede wszystkim kwaśny. W przypadku profili III.1 i III.2 kwasowość jest uwarunkowana opadem roślinnym, przede wszystkim pochodzenia miejscowego zespołu *Leucobryo-Pinetum* oraz *Pino-Quercetum*.

Zawartość węgla organicznego (Corg) i azotu ogółem (Nt)

Zawartość węgla organicznego (Corg) w profilach II.1 i II.2, a zwłaszcza w kopalnych poziomach gleb bielnicowych ma zbliżone wartości (tabela 30), najczęściej rzędu 0,3%. Wyższą zawartością odznaczają się, z wyraźną akumulacją próchnicy, poziomy IIIAEesb (0,79%), OA (0,75%) i AC (0,52%). W porównaniu z glebami współczesnymi (rozdz. 7.3) są to wartości niewielkie, uwarunkowane zmianami diagenetycznymi zachodzącymi w glebach kopalnych (BEDNAREK, 1991, 2002). Zawartość azotu ogółem wykazuje zróżnicowanie profilowe zbliżone do zróżnicowania węgla. Stosunek C/N waha się od 10 do 30.

Niektóre właściwości chemiczne gleb kopalnych ogłowionych i pełnoprofilowych przykrytych arenosolami
na Pustyni Błędowskiej

Some chemical properties of fossil soils without humus horizon and with humus horizon covered by arenosole
in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Straty prażenia [%]	Corg. [%]	N _t [%]	C/N	P _{prós.} [mg · 100 g ⁻¹]	pH	
								H ₂ O	KCl
II.1. Kopalna gleba bielnicowa częściowo ogłowiona (Centuria)	AC	0—14	1,12	0,52	0,021	25	3,3	5,9	5,2
	II A1/C1...A15/C15b	15—104	0,35	0,05	ślad	—	1,7	6,3	5,8
	III AEesb	105—117	1,73	0,79	0,041	19	3,6	5,9	4,9
	III Bhfeb	118—134	0,84	0,27	0,012	23	37,9	5,2	4,5
	III BCb	135—155	0,71	0,27	ślad	—	16,6	5,7	4,9
	C	156—175	0,50	0,25	ślad	—	9,5	5,8	5,0
II.2. Kopalna gleba bielnicowa częściowo ogłowiona (źródłisko Białej)	OA	0—8	1,02	0,75	0,031	24	2,4	5,9	4,9
	II A1/C1...A8/C8b	9—37	0,31	0,17	0,015	11	1,7	6,2	5,8
	III Ab	38—40	0,33	0,25	0,014	18	1,9	6,3	5,8
	C	41—47	0,28	0,18	0,011	16	1,5	6,1	5,8
	IV Ab	48—54	0,41	0,31	0,015	21	1,3	6,2	5,9
	C	55—80	0,30	0,14	0,010	14	2,0	6,2	5,9
	V AEesb	81—90	0,32	0,32	ślad	—	1,5	6,4	6,0
	V Bhfeb	91—110	0,82	0,30	0,021	14	2,0	5,8	4,5
	V Bfeb	111—130	0,65	0,31	0,031	10	4,7	6,0	5,2
	C	poniżej 130	0,40	0,30	0,010	30	3,5	6,2	5,6
III.1. Kopalna gleba bielnicowa pełnoprofilowa (Przełom)	Ol	8—4	88,2	46,10	1,672	28	4,3	4,2	3,5
	Of (+Oh)	4—0	64,0	34,25	1,241	28	4,1	4,1	3,9
	A	0—15	1,91	1,41	0,040	35	9,2	5,9	4,9
	C	16—40	0,85	0,44	ślad	—	15,2	6,0	4,9
	II AEesb	41—52	1,76	0,78	0,060	13	7,6	4,9	3,9
	II Eesb	53—66	0,72	0,44	ślad	—	1,3	5,4	4,4
	II Bhfeb	67—82	2,71	0,97	0,020	49	33,6	4,5	4,5
	II Bfeb	83—102	0,92	0,39	0,010	39	34,5	4,7	4,5
	II BCb	103—128	0,53	0,22	ślad	—	13,5	4,9	4,9
	II C	129—160	0,24	0,14	ślad	—	4,1	5,8	5,1
III.2. Kopalna gleba bielnicowa pełnoprofilowa (Kuznica Błędowska)	Od	8—0	60,0	28,70	1,140	25	8,7	5,3	4,5
	A	3—10	1,40	0,46	0,030	15	12,1	5,5	4,4
	AC	11—77	0,91	0,42	0,015	28	9,6	5,4	4,5
	II AEesb	78—90	1,85	0,73	0,020	37	5,7	5,2	4,1
	II Eesb	91—107	1,02	0,44	ślad	—	2,1	4,8	4,2
	II Bhfeb	108—114	1,25	0,59	0,020	30	56,6	4,9	4,9
	II Bfeb1	115—132	1,43	0,47	0,015	31	33,8	4,7	4,6
	II Bfeb2	133—165	0,84	0,30	0,012	25	13,5	4,7	4,6
	II BCb	166—211	0,58	0,25	ślad	—	6,4	4,9	4,7
II C	poniżej 212	0,39	0,21	ślad	—	2,2	5,7	4,7	

W glebach kopalnych pełnoprofilowych, przykrytych arenosolami, największą zawartość węgla organicznego odnotowano w podpoziomach poziomu organicznego gleb sekwencji młodej leżącej na starszej (28,7—46,1%). Są to poziomy utworzone ze stosunkowo słabo przetworzonego opadu roślinnego. W poziomach mineralnych zawartość Corg malała wraz z głębokością, jednak poziomy kopalne AEesb oraz Bhfeb wyróżniały się podwyższoną zawartością węgla, co odzwierciedla charakterystyczne dla gleb bielicych profilowe rozmieszczenie materii organicznej. Podobnie jak w przypadku węgla, najwyższe zawartości azotu odnotowano we współczesnych podpoziomach poziomu organicznego (1,140—1,672%). W poziomach mineralnych zawartość azotu nie przekracza 0,060%, a bardzo często wykazuje wartości śladowe. Stosunek węgla do azotu waha się od 13 do 49.

Zawartość fosforu przyswajalnego ($P_{\text{przys.}}$)

Zawartość fosforu przyswajalnego w badanych glebach kopalnych częściowo ogłowionych ogólnie jest bardzo niska, wyższe wartości zanotowano w poziomach IIIBhfeb (37,9 mg · 100 g⁻¹), IIIBCb (16,6 mg · 100 g⁻¹) i C (9,5 mg · 100 g⁻¹) profilu II.1. W pozostałych poziomach jego zakres oscyluje w przedziale 1,3—4,7 mg · 100 g⁻¹ gleby (tabela 30).

Kopalne gleby bielicych pełnoprofilowe przykryte arenosolami (III.1, III.2) charakteryzują się wartościami nieco wyższymi niż we wcześniej opisanych profilach. Największe wartości występują w poziomach wzbogacania gleb kopalnych (tabela 30). W tych poziomach, w profilach II.1 i II.2, stwierdzono duże ilości żywych korzeni gatunków krzewiastych (*Salix acutifolia*, *S. arena-ria*), z których rośliny czerpią składniki pokarmowe niezbędne dla rozwoju (fot. 15, 16). Po obumarciu dostarczają materii organicznej. Można wnioskować, że gleby przykryte arenosolami nie są całkowicie odcięte od obiegu materii, co może wpływać znacząco na zawartość azotu i węgla, tym samym biorą udział w procesach ekosystemowych. Powierzchnia gleb kopalnych, choć pokryta miększą warstwą arenosoli (80—

104 cm), jest zasiedlona przez inne gatunki roślin. Na takich powierzchniach badanego obszaru sukcesja charakteryzuje się wysokim stopniem zaawansowania. Należy podkreślić, że zawartość fosforu ogólnego w składzie całkowitym materiału glebowego też jest bardzo niska, a pierwiastek ten jest pobierany przez roślinność z cyklu biologicznego w wyniku rozkładu opadu roślinnego i zwierzęcego.

Właściwości sorpcyjne gleb

Zawartość wymiennych kationów zasadowych w badanych profilach wykazuje znaczne zróżnicowanie (tabela 31, 32). Wyraźne różnice zaś obserwuje się w arenosolach przykrywających kopalne gleby bielicych częściowo ogłowione oraz pełnoprofilowe. W profilach II.1 i II.2 arenosole są ubogie w materię organiczną, dlatego charakteryzują się niskimi wartościami PWK_{pot} i PWK_{rzec} oraz kationów wymiennych zasadowych i kwasowych (tabela 31). Z kolei w glebach młodych nad glebami kopalnymi pełnoprofilowymi (III.1, III.2) wykształciły się już odrębne poziomy organiczne, które charakteryzują się wysoką pojemnością sorpcyjną, wysyconą dużą ilością kationów zasadowych, w tym ważnych pierwiastków pokarmowych (Ca, Mg, K) (tabela 32). Wyraźnie uwidacznia się tu rola materii organicznej w procesie wzbogacania ubogich gleb piaskowych w składniki odżywcze. W obu grupach arenosoli funkcję tę pełnią też poziomy próchniczne. O kwasowości podpoziomów organicznych profilu III.1 decydują jony wodoru (H⁺), a w poziomach mineralnych dominującą rolę odgrywa glin (Al³⁺). W miarę zubażania się gleb w materię organiczną maleje pojemność sorpcyjna materiału glebowego, a tym samym zawartość kationów (zasadowych i kwasowych) (tabela 31, 32).

Istotnym elementem jest proporcja pomiędzy zawartością poszczególnych kationów wymiennych w kompleksie sorpcyjnym. Wśród wymiennych kationów o charakterze zasadowym dominują dwuwartościowe Ca²⁺ i Mg²⁺, natomiast K⁺ i Na⁺ są łatwiej wymienialne. Ich udział w sumie kationów zasadowych przekracza niekiedy nawet

Tabela 31

Sorpcyjne właściwości gleb kopalnych ogłowionych przykrytych arenosolami na Pustyni Błędowskiej

Table 31

Sorptions properties fossil soil without humus horizon covered by arenosole in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Kationy wymienne [cmol (+) · kg ⁻¹]						Kwasowość hydroli-tyczna (H _h) [cmol (+) · kg ⁻¹]	S	PWK _{pot.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	PWK _{rzecz.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	V [%]
			zasadowe				kwasowe						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺					
II.1. Gleba kopalna bielkowa częściowo ogłowiona (Centuria)	AC	0—14	0,74	0,09	0,02	0,01	0,05	0,04	0,84	0,86	1,70	0,95	51
	IIA1/C1... A15/C15b	15—104	0,44	0,06	0,01	0,01	0,05	0,00	0,36	0,52	0,88	0,57	59
	III AEesb	105—117	1,18	0,10	0,01	0,01	0,03	0,05	1,11	1,30	2,41	1,38	54
	III Bhfeb	118—134	0,23	0,05	0,01	0,01	0,03	0,31	1,95	0,30	2,25	0,64	13
	III BCb	135—155	0,21	0,05	0,01	0,01	0,03	0,13	0,90	0,28	1,18	0,44	24
	C	156—175	0,29	0,04	0,01	0,01	0,03	0,10	0,77	0,35	1,12	0,48	31
II.2. Gleba kopalna bielkowa częściowo ogłowiona (źródli-sko Białej)	OA	0—8	1,50	0,11	0,02	0,04	0,03	0,15	0,90	1,67	2,57	1,85	65
	II A1/C1... A8/C8b	9—37	0,21	0,04	0,01	0,02	0,02	0,05	0,38	0,28	0,66	0,35	42
	III Ab	38—40	0,19	0,04	0,01	0,01	0,02	0,05	0,38	0,25	0,63	0,32	40
	C	41—47	0,25	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0,30	0,32	0,62	0,37	52
	IV Ab	48—54	0,61	0,07	0,02	0,02	0,05	0,01	0,30	0,72	1,02	0,78	71
	C	55—80	0,16	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,28	0,21	0,49	0,28	43
	V AEesb	81—90	0,26	0,05	0,01	0,04	0,01	0,04	0,26	0,36	0,62	0,41	58
	V Bhfeb	91—110	0,28	0,06	0,01	0,01	0,01	0,21	1,20	0,36	1,56	0,58	23
	V Bfeb	111—130	0,79	0,09	0,01	0,02	0,03	0,08	0,90	0,91	1,81	1,02	50
C	ponizej 130	0,22	0,04	0,01	0,01	0,04	0,06	0,45	0,28	0,73	0,38	38	

Tabela 32

Sorpcyjne właściwości gleb kopalnych pełnoprofilowych przykrytych arenosolami na zachodnim skraju Pustyni Błędowskiej

Table 32

Sorptions properties fossil soil with humus horizon covered by arenosole in western part of Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Kationy wymienne [cmol (+) · kg ⁻¹]						Kwasowość hydroli-tyczna (H _h) [cmol (+) · kg ⁻¹]	S	PWK _{pot.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	PWK _{rzecz.} [cmol (+) · kg ⁻¹]	V [%]
			zasadowe				kwasowe						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III.1. Kopalna gleba bielkowa pełnoprofilowa (Przełom)	Ol	8—4	25,97	2,61	1,24	1,05	4,60	3,00	34,05	30,87	64,92	38,47	48
	Of (+Oh)	4—0	18,09	2,10	1,08	0,18	4,24	1,77	—	21,45	—	27,46	—
	A	0—15	2,07	0,18	0,03	0,02	0,04	0,11	1,73	2,30	4,03	2,45	57
	C	16—40	0,71	0,07	0,02	0,01	0,03	0,10	1,03	0,81	1,84	0,94	44
	II AEesb	41—52	0,50	0,07	0,02	0,01	0,04	0,43	2,72	0,60	3,32	1,07	18
	II Eesb	53—66	0,40	0,06	0,01	0,01	0,03	0,25	1,26	0,48	1,74	0,76	28
	II Bhfeb	67—82	0,25	0,06	0,02	0,02	0,12	1,01	3,00	0,35	3,35	1,48	10
	II Bfeb	83—102	0,13	0,03	0,01	0,01	0,11	0,44	1,29	0,18	1,47	0,73	12
	II BCb	103—128	0,17	0,04	0,01	0,01	0,11	0,30	0,83	0,23	1,06	0,64	22
	II C	129—160	0,18	0,04	0,01	0,01	0,11	0,14	0,43	0,24	0,67	0,49	36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III.2. Kopalna gleba bielnicowa pełnoprofilowa (Kuznica Błę-dowska)	Od	8—0	9,03	0,81	0,19	0,04	0,10	0,16	7,37	10,07	17,44	10,33	58
	A	3—10	1,45	0,17	0,03	0,02	0,04	0,24	1,89	1,67	3,56	1,95	47
	AC	11—77	0,39	0,06	0,02	0,01	0,03	0,38	1,39	0,48	1,87	0,89	26
	II AEesb	78—90	0,49	0,07	0,02	0,02	0,03	0,60	2,70	0,60	3,30	1,23	18
	II Eesb	91—107	0,52	0,07	0,01	0,02	0,04	0,40	1,84	0,62	2,46	1,06	25
	II Bhfeb	108—114	0,31	0,04	0,02	0,01	0,03	0,41	2,64	0,38	3,02	0,82	13
	II Bfeb1	115—132	0,25	0,04	0,01	0,01	0,03	2,23	2,01	0,31	2,32	2,57	13
	II Bfeb2	133—165	0,27	0,04	0,02	0,02	0,01	0,43	1,48	0,35	1,83	0,79	19
	II BCB	166—211	0,28	0,05	0,02	0,01	0,04	0,45	1,13	0,36	1,49	0,85	24
II C	poniżej 212	0,31	0,05	0,01	0,01	0,04	0,39	0,84	0,38	1,22	0,81	31	

95%. W kopalnych glebach bielnicowych częściowo ogłowionych i pełnoprofilowych pokrytych arenosolami udziały procentowe wapnia, magnezu, potasu i sodu można uszeregować następująco: Ca>Mg>K>Na.

Kwasowość hydrolityczna (H_h) wykazuje uzależnienie od stopnia rozwoju gleby. W badanych glebach tę relację obserwuje się wyraźnie w stopniu zróżnicowania się poziomu organicznego na podpoziomy. Jak wynika z przedstawionych wyników (tabela 31), gleby powierzchniowe (II.1, II.2) odznaczają się niskimi wartościami H_h , gdy tymczasem arenosole nad kopalną glebą bielnicową pełnoprofilową, w których wykształcone są podpoziomy organiczne, odznaczają się wysokimi wartościami (tabela 32). W starszych glebach wyższe wartości kwasowości hydrolitycznej zanotowano w poziomach: IIIAEesb, IIIBhfeb (II.1), VBhfeb (II.2), IIAEesb, IIBhfeb (III.1, III.2). Wartości H_h w profilach III.1 i III.2 są niekiedy kilkakrotnie większe niż w profilach II.1 i II.2

Główne formy żelaza (Fe) i glinu (Al)

Żelazo wolne (Fe_d) w glebach powierzchniowych wykazuje większe zawartości w poziomach organiczno-mineralnych (O/A) i próchnicznych (A), natomiast w glebach kopalnych wyższe wartości występują w podpoziomach poziomu wzbogacania (tabela 23, 24). W glebach współczesnych Fe_d występuje najczęściej przy powierzchni, a w glebach kopalnych charakteryzuje się

nagromadzeniem w poziomach iluwalnych, co jest uwarunkowane procesem bielnicowania (BEDNAREK, POKOJSKA, 1996).

Zawartość glinu amorficznego (Al_o) w ekstrakcji szczawianowej z reguły przewyższa zawartość Fe_o . Największe wartości glinu amorficznego stwierdzono w profilu II.1 (0,70%) w poziomie IIIBhfeb oraz w profilach III.1 i III.2 (0,95% i 0,75%) w poziomie IIBhfeb.

W większości przypadków tlenki krystaliczne żelaza (Fe_d-Fe_e) dominują nad żelazem amorficznym (Fe_o). Największe wartości wskaźników Fe_d-Fe_e zarówno w kopalnej glebie bielnicowej ogłowionej, jak i pełnoprofilowej zanotowano w podpoziomach poziomu wzbogacania (tabela 33, 34).

Generalnie obserwuje się przewagę żelaza związanego w krzemianach nad jego nagromadzeniem w postaci wolnych tlenków (Fe_d). Dotyczy to nawet większości poziomów iluwalnych wzbogaconych w wolne żelazo, co może świadczyć o słabo zaawansowanych procesach glebotwórczych, których dalszy postęp może doprowadzić do większego nagromadzenia pedogenicznych tlenków (zarówno Fe, jak i Al).

Żelazo związane w siatce krystalicznej krzemianów (Fe_t-Fe_d) wykazuje zróżnicowanie w badanych glebach zarówno młodszych, jak i starszych generacji (tabela 33, 34). Jeśli chodzi o żelazo, to najwyższe wartości uzyskano w poziomach wzbogacania gleb kopalnych (około 0,3—0,4%) oraz w poziomach próchnicznych gleb powierzchniowych (około 0,1—0,6%). Z kolei glin zawarty w glinokrzemianach w dosyć

Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników w badanych glebach kopalnych ogłowionych przykrytych arenosolami na Pustyni Błędowskiej

Table 33

Content of various forms of iron and aluminium and values some indexes in fossil soils without humus horizon covered by arenosole in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Fe _t	Fe _d	Fe _o	Fe _t -Fe _d	Fe _d -Fe _o	Fe _d /Fe _t	Fe _o /Fe _d	Al _t	Al _o
			[%]							[%]	
II.1. Kopalna gleba bielnicowa częściowo ogłowiona (Centuria)	AC	0—14	0,368	0,108	0,014	0,260	0,094	0,29	0,13	0,610	0,025
	IIA1/C1... A15/C15b	15—104	0,201	0,034	0,006	0,167	0,028	0,17	0,18	0,456	0,007
	III AEesb	105—117	0,242	0,094	0,080	0,148	0,014	0,39	0,85	0,304	0,041
	III Bhfeb	118—134	0,568	0,231	0,104	0,337	0,127	0,41	0,45	0,702	0,120
	III BCB	135—155	0,394	0,075	0,030	0,319	0,045	0,19	0,40	0,623	0,202
	C	156—175	0,283	0,040	0,016	0,243	0,024	0,14	0,40	0,710	0,041
II.2. Kopalna gleba bielnicowa częściowo ogłowiona (źródłisko Białej)	OA	0—8	0,213	0,109	0,010	0,104	0,099	0,51	0,09	0,822	0,023
	II A1/C1... A8/C8b	9—37	0,115	0,030	0,016	0,085	0,014	0,26	0,53	0,679	0,020
	III Ab	38—40	0,114	0,037	0,008	0,077	0,029	0,32	0,22	0,578	0,038
	C	41—47	0,073	0,026	0,018	0,047	0,008	0,36	0,69	0,540	0,027
	IV Ab	48—54	0,149	0,034	0,010	0,115	0,024	0,23	0,29	0,633	0,050
	C	55—80	0,113	0,031	0,016	0,082	0,015	0,27	0,52	0,569	0,035
	V AEesb	81—90	0,149	0,029	0,008	0,120	0,021	0,19	0,28	0,558	0,046
	V Bhfeb	91—110	0,151	0,058	0,012	0,093	0,046	0,38	0,21	0,653	0,036
	V Bfeb	111—130	0,207	0,135	0,028	0,072	0,107	0,65	0,21	0,744	0,135
C	poniżej 130	0,103	0,039	0,008	0,064	0,031	0,38	0,21	0,559	0,040	

Tabela 34

Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników gleb kopalnych pełnoprofilowych przykrytych arenosolami na zachodnim skraju Pustyni Błędowskiej

Table 34

Content of various forms of iron and aluminium and values some indexes in fossil soils with humus horizon covered by arenosole in Błędów Desert

Numer profilu	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Fe _t	Fe _d	Fe _o	Fe _t -Fe _d	Fe _d -Fe _o	Fe _d /Fe _t	Fe _o /Fe _d	Al _t	Al _o
			[%]							[%]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III.1. Kopalna gleba bielnicowa pełnoprofilowa (Przełom)	A	0—15	0,757	0,160	0,054	0,597	0,106	0,21	0,34	1,040	0,084
	C	16—40	0,343	0,127	0,044	0,216	0,083	0,37	0,35	0,930	0,109
	II AEesb	41—52	0,295	0,096	0,034	0,199	0,062	0,33	0,35	0,623	0,066
	II Eesb	53—66	0,175	0,023	0,010	0,152	0,013	0,13	0,43	0,430	0,035
	II Bhfeb	67—82	0,807	0,384	0,236	0,423	0,148	0,48	0,61	1,230	0,232
	II Bfeb	83—102	0,598	0,166	0,066	0,432	0,100	0,28	0,40	0,960	0,164
	II BCB	103—128	0,317	0,077	0,026	0,240	0,051	0,24	0,34	0,820	0,090
II C	129—160	0,209	0,119	0,110	0,090	0,009	0,57	0,92	0,660	0,038	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III.2. Kopalna gleba bielkowa pełnoprofilowa (Kuznica Błędownska)	A	3—10	0,193	0,093	0,020	0,100	0,073	0,48	0,22	0,766	0,044
	AC	11—77	0,174	0,078	0,020	0,096	0,058	0,45	0,26	0,798	0,055
	II AEesb	78—90	0,218	0,150	0,034	0,068	0,116	0,69	0,23	0,743	0,063
	II Eesb	91—107	0,216	0,045	0,014	0,171	0,031	0,21	0,31	0,459	0,044
	II Bhfeb	108—114	0,668	0,248	0,102	0,420	0,146	0,37	0,41	0,935	0,287
	II Bfeb1	115—132	0,538	0,188	0,060	0,350	0,128	0,35	0,32	0,723	0,226
	II Bfeb2	133—165	0,479	0,151	0,036	0,328	0,115	0,32	0,24	0,636	0,107
	II BCb	166—211	0,395	0,089	0,016	0,306	0,073	0,23	0,18	0,635	0,049
II C	poniżej 212	0,347	0,061	0,006	0,286	0,055	0,18	0,10	0,601	0,029	

dużych ilościach występujący w glebach powierzchniowych (arenosole) nad glebami kopalnymi ogłowionymi oraz pełnoprofilowymi świadczą może o słabo zaawansowanych procesach glebotwórczych, podczas których mogą się one uwalniać z siatki krystalicznej glinokrzemianów. Rozpatrując osobno młodsze i starsze generacje gleby, obserwuje się tendencję spadkową zawartości żelaza i glinu w glinokrzemianach wraz z głębokością.

Stosunkowo wysokie wskaźniki aktywności żelaza (Fe_o/Fe_d) w profilach II.1 i III.1 w poziomach IIIAEesb i IIBhfeb wskazują na mały stopień ich krystalizacji, co jest uwarunkowane obecnością związków organicznych. Uwolnione podczas wietrzenia tlenki żelaza w większości znajdują się w formie amorficznej, a znaczna zawartość próchnicy utrudnia proces ich krystalizacji (BEDNAREK, POKOJSKA, 1996; BEDNAREK, 2000). Wskaźniki aktywności żelaza (Fe_o/Fe_d) osiągają minimalne wartości w podpoziomach poziomu wzbogacania profilu II.2 (tabela 33), świadczące o wysokim stopniu ich krystalizacji.

Stopień zwietrzenia materiału glebowego wyraża wskaźnik Fe_o/Fe_t , który określa stosunek pedogenicznych form żelaza do ich całkowitej ilości. Wskaźnik ten ogólnie charakteryzuje się niskimi wartościami poza podpoziomami poziomu wzbogacania profili II.2 (0,65) i III.1 (0,48) oraz poziomem IIAEesb (0,69) profilu III.2. Wskazuje to na istnienie pewnych rezerw niezwiędniętego żelaza w krzemianach.

7.6. Podsumowanie i dyskusja

Tendencje rozwojowe i tempo zmian gleb na Pustyni Błędownskiej w relacji z sukcesją pierwotną

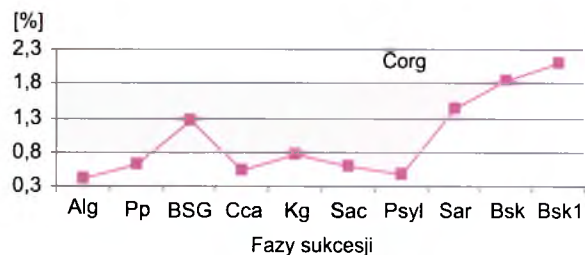
Gleby na terenie Pustyni Błędownskiej ze względu na swą dynamikę związaną z procesami eolicznymi oraz antropogeniczną eksploatacją terenu w większości należą do utworów młodych. Ich rozwój pozostaje obecnie pod wpływem sukcesji roślinności na obszarach już utrwalonych oraz w mniejszym stopniu pod wpływem procesów eolicznych. Wyraźną różnicę obserwuje się we wpływie poszczególnych zbiorowisk z dominującymi gatunkami na tempo procesów glebotwórczych. Zmiany te są widoczne zarówno w morfologii, jak i we właściwościach gleb. Na podstawie cech morfologicznych (miąższość poziomu próchnicznego) oraz akumulacji substancji organicznej na badanym obszarze zostały wyróżnione — zgodnie z sugestią R. BEDNAREK (1979) i M. JANKOWSKIEGO, R. BEDNAREK (2000, 2002) — trzy stadia rozwojowe gleb: początkowe (regosole), przejściowe (arenosole i w półdojrzałe — gleby bielkowe w inicjalnym stadium rozwoju) oraz dojrzałe (gleby bielkowe właściwe). Jak już wspomniano, proces formowania się gleby zachodzi na drodze sukcesji pierwotnej oraz wtórnej, podobnie jak w przypadku wkraczania zbiorowisk roślinnych. Przebieg ten przedstawia rys. 25.

Początkowy etap rozwoju gleb zachodzi na powierzchni nagiego piasku o cechach skały macierzystej, na obszarach uprzednio pokrytych glebą, która następnie została całkowicie zniszczona na skutek procesów eolicznych. Taką powierzchnię należy uznać za zerową (startową) fazę sukcesji zainicjowaną przede wszystkim przez *Algae* i *Cyanophyta* (por. rozdz. 6), które zapoczątkowują rozwój gleb inicjalnych luźnych (regosoli). Można tu obserwować gromadzenie substancji organicznej produkowanej przez algocenozy (po ich obumarciu), co nie zawsze jest widoczne gołym okiem.

Pierwszy efekt procesu glebotwórczego na obszarach piaszczystych stanowi formowanie się poziomu próchnicznego oraz nagromadzenie materii organicznej (PRUSINKIEWICZ, BIGOS, 1978; BEDNAREK, 1979; MCBRIDE, WILSON, 1991; CERTINI i in., 1998; RAHMONOW, 1998; JANKOWSKI, BEDNAREK, 2000, 2002), co jest wyraźne na badanym obszarze. Jak wynika z przedstawionego rysunku, poziom organiczny w profilu I.1 jest niewyraźny, a w przypadku profili I.2 i I.3 słabo wyraźny, w przeciwieństwie do wykształconych już poziomów próchnicznych A w tych profilach. Wyraźnie widoczne jest natomiast tworzenie się poziomu organicznego i jego zróżnicowanie pionowe na podpoziomy w pozostałych profilach (I.4—I.8).

Obserwuje się także zmiany we właściwościach chemicznych gleb, takich jak zawartość węgla organicznego (Corg), azotu ogólnego (Nt), odczyn (pH) oraz stosunek węgla do azotu (C/N) w trakcie postępującej sukcesji roślinnej.

Zawartość Corg w arenosolach jest zróżnicowana. Największymi wartościami cechuje się pod zbiorowiskami *Salix arenaria* (rys. 26), co jest uwarunkowane kształtem okapu tej wierzby. Wiejący wiatr nie ma możliwości wywiania stąd materii organicznej, dostarcza też dodatkowej porcji substancji allochtonicznej (fot. 18), dzięki czemu zawiera ona dużą ilość węgla organicznego. W miarę rozwoju struktury pionowej i poziomej zbiorowisk oraz większej produkcji biologicznej zachodzi dalsze zwiększanie się Corg pod inicjalnymi borami sosnowymi i formującymi się pod nimi słabo wykształconymi glebami biellicowymi (Bsk, Bsk1). Podobną



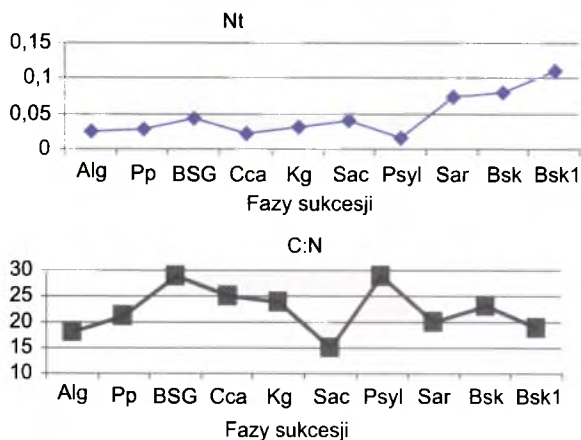
Rys. 26. Zmienność zawartości Corg w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji

Alg — glony, Pp — *Polytrichum piliferum*, BSG — biologiczna skorupa glonowa, Kg — *Koeleria glauca*, Sac — *Salix acutifolia*, Psyl — *Pinus sylvestris*, Sar — *Salix arenaria*, Bsk, Bsk1 — gleba biellicowa słabo wykształcona

Fig. 26. The changeability of Corg content in humus horizon during the succession

Alg — Algae, Pp — *Polytrichum piliferum*, BSG — biological algal crust, Kg — *Koeleria glauca*, Sac — *Salix acutifolia*, Psyl — *Pinus sylvestris*, Sar — *Salix arenaria*, Bsk, Bsk1 — weekly developed podzol

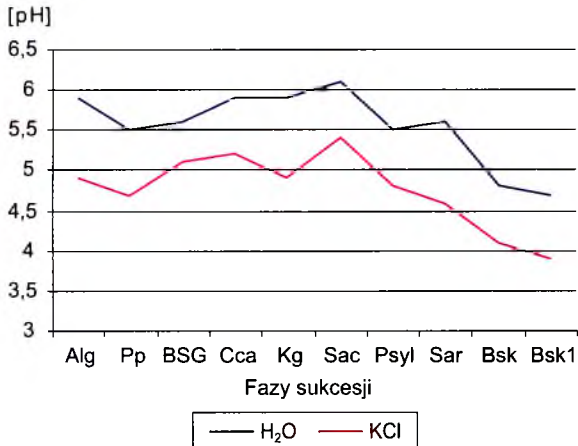
sytuację obserwuje się w przypadku zawartości azotu ogółem. Jeśli chodzi o stosunek C/N, to zaznacza się słabo ukierunkowana zmienność (rys. 27).



Rys. 27. Zmienność Nt i C/N w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji (objaśnienia skrótów — por. rys. 26)

Fig. 27. The changeability of Nt and C/N in humus horizon during the succession (explanation abbreviation — compare Fig. 26)

W toku sukcesji roślinnej widoczne są wyraźne zmiany w odczynie gleby (rys. 28). W miarę rozwoju gleby i zmiany pionierskich gatunków liściastych na rzecz sosny zwyczajnej w bardziej zaawansowanych zbiorowiskach roślinnych z dominacją borówki czernicy i śmiałka pogiętego spada wartość pH, gdyż gatunki te działają na środowisko glebowe zakwaszająco.



Rys. 28. Zmienność odczynu w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji (objaśnienia skrótów – por. rys. 26)

Fig. 28. The changeability of soil reaction in humus horizon during the succession (exp. abbr. com. Fig. 26)

Jednym z obserwowanych efektów procesów glebowych, jak wspomniano wcześniej, jest zmiana barwy i stosunkowo szybkie zwiększanie się grubości poziomu próchnicznego, szczególnie pod

wierzbą i dębem szypułkowym. Wszystkie właściwości gleby, wspólnie z materią organiczną gleb, zmieniają się szybko w miarę tworzenia cienia przez drzewa oraz akumulacji materii organicznej.

Istotna zmiana morfologiczna jest widoczna w obrębie słabo wykształconych gleb bielcowych (I.7 i I.8) pod inicjalnymi borami sosnowymi (40 lat) w postaci wybielonych ziaren kwarcowych, wskazujących na tworzenie się poziomu wymycia, charakterystycznego dla tych gleb (fot. 19). W wymienionych profilach obserwuje się też przemieszczanie pedogenicznych form żelaza i glinu. Są to bardzo ważne wskaźniki pokazujące bielcowy kierunek procesu glebotwórczego, które obok acidofilnych gatunków roślin (*Deschampsia flexuosa*, *Pyrola chlorantha*, *Moneses uniflora*, *Orthila secunda*, *Vaccinium myrtillus*) świadczą o formowaniu się zbiorowisk w kierunku borowym.

Proces kształtowania się poziomów organicznych i próchnicznych na Pustyni Błędowskiej można uznać za bardzo krótki. Czas zmian wła-



Fot. 18. Zatrzymywanie substancji allochtonicznej przez wierzbę piaskową (*Salix arenaria*) (fot. autor)

Phot. 18. The trapping of allochthonous by creeping willow (*Salix arenaria*) (phot. author)



Fot. 19. Tworzenie się poziomu wymycia pod inicjalnym borem sosnowym świeżym (fot. autor)
Phot. 19. The formation of ellivial horizon under initial fresh pine coniferous forest (phot. author)

ściwości gleb, podawany w literaturze, wykazuje duże zróżnicowanie. Dobrze rozwinięta próchnica typu mor, spadek pH w warstwie powierzchniowej gleby i wyraźne bielicowanie mogą się pojawić w ciągu 200 lat (BUBLINEC, 1971, 1973; PLICHTA, 1981). Także L.B. KHOLOPOVA (1972) udokumentowała zwiększenie poziomu wymycia (Ees) od 7 cm do 13 cm w ciągu 65 lat. W.B. BOLLEN (1969) wraz z zespołem zaobserwowali spadek pH z 8,7 do 6,7 w trakcie trzech lat na powierzchni podłoża pochodzącego z lawy przy braku pokrywy roślinnej. Powierzchnia ta prawdopodobnie była pokryta glonami, ale nie zostały one dobrze udokumentowane. Materiały pochodzące z lawy najczęściej są dogodnym siedliskiem dla organizmów pionierskich i są łatwo zasiedlane przez mikroorganizmy. Na badanym terenie pod 35-letnią sosną obserwuje się wybielone ziarna piasku oraz akumulację materii organicznej w strefie o miąższości do 12 cm i od 2 cm do 4 cm odpowiednio pod wierzszą piaskową i ostrolistną, które wyraźnie wpływają na kwasowość gleby (tabela 23).

Czas tworzenia się pełnego profilu gleby biellicowej jest zróżnicowany. Może on zachodzić w ciągu krótkiego, jak i dłuższego okresu. Poniżej przedstawiono kilka przykładów tempa i czasu rozwoju gleby. Powstanie dojrzałego profilu gleby biellicowej z dobrze wykształconymi poziomami E i B wymaga minimum 1000 lat (OLSON, 1958), a różnicowanie na poziomy w glebie biellicowej jest już widoczne po 100—150 latach (UGOLINI, 1968). Tempo tworzenia się bielicy badano w różnych środowiskach. Najczęściej zależy ono od lokalnych warunków klimatycznych, a także od skał macierzystych gleb. Wyniki badań pokazują, że proces ten może zachodzić w różnym tempie, np.: na kwaśnych piaskach wyspy Vancouver (Kolumbia Brytyjska) jest to 350 lat (SINGLETON, LAVKULISH, 1987), w piaskach wydmy Jutlandi — 100 lat (STUTZER, 1998), w centralnej Finlandii od 330 do 1000 lat (PETAJA-RONKAINEN i in., 1992), w Szwecji — około 1000 lat (TAMM, 1920, za LUNDSTROM i in., 2000), w Michigan słabe wykształcenie bielicy obejmuje czas od 300 do 1000 lat, a pełny roz-

wój profilu takiej gleby wymaga od 3000 do 10 000 lat (FRANZMEIER, WHITESIDE, 1963; BARETT, SCHAETZL, 1992; LICHTER, 1998b), natomiast w Kotlinie Toruńskiej morfologiczne i chemiczne cechy procesu bielcowania pojawiły się w glebach wydm po około 50 latach (JANKOWSKI, BEDNAREK, 2000, 2002).

Trwanie i tempo zmian właściwości gleby, uzależnione od struktury roślinności, są różne w różnych środowiskach (HOWARD, HOWARD, 1984). Na Pustyni Błędowskiej podobieństwo środowiska nie wpływa na zmiany właściwości i tempo rozwoju gleb, natomiast wyraźnie wpływa na nie tempo wzrostu gatunku, np. oddziaływanie wierzb jest szybsze niż sosen. Wynika to ze zróżnicowania składu gatunkowego roślin (pod okapem wierzb jest wyraźniejsze zróżnicowanie florystyczne i mikrosiedliskowe), zróżnicowania i właściwości siedlisk, a w szczególności od stopnia wietrzenia minerałów glebowych. Świeżo odsłonięta gleba może podlegać ponadto szybkim zmianom pod wpływem czynników atmosferycznych, a co za tym idzie, zmieniać się szybko nawet bez udziału zbiorowisk roślinnych (MILES, 1985).

Rozwój gleby w relacji z sukcesją wtórną

Inny, kontrastujący typ rozwoju gleb inicjalnych obserwuje się w tych miejscach, w których pod piaskiem wydmowym występują gleby kopalne. Gleby te są częściowo rozwiane lub pełnoprofilowe. W zerowej fazie sukcesji tego typu powierzchnie były przez roślinność preferowane do zasiedlenia, ponieważ cechowały się sprzyjającymi warunkami siedliskowymi. Porastająca omawiane powierzchnie roślinność w warunkach wzmoczonych procesów eolicznych była często zasypywana. Proces wkraczania roślinności i zasypywania jej piaskiem oraz związane z tym procesy glebotwórcze miały charakter cykliczny i są zapisane w profilu glebowym w postaci warstw jasnych (piasek o cechach skały macierzystej) i ciemnych (smugi próchniczne — fot. 15, 16). W ten sposób powstały pagórki fitogeniczne nad glebami kopalnymi. Proces formowania się profili gleb inicjalnych w trakcie sukcesji wtórnej

roślinnej łatwo obserwowany jest na zdjęciach lotniczych z lat 1956, 1973 oraz 1996 (rozd. 6). Ilość warstwowań i liczbę gleb kopalnych inicjalnych (opis makroskopowy) warunkuje rozmieszczenie gleb kopalnych na badanym obszarze. Należy podkreślić, że na tym terenie gleby kopalne występują w rozproszeniu i mają różne powierzchnie. Jeśli płyty związane z glebami kopalnymi mają małe powierzchnie (około 0,5 ara), a wokół nich są pola deflacyjne, to rośliny porastające gleby kopalne stanowią barierę dla piasków. Do takich gatunków roślin naczyniowych, które inicjują zasiedlanie, należą: szczytliha siwa *Corynephorus canescens* i strzęplica sina *Koeleria glauca*. Oba te gatunki charakteryzują się pionowym typem rozrastania. Podczas zasypywania kęp piaskiem trawy wypuszczają korzenie przybyszowe, które ze świeżo nawianego piasku czerpią składniki odżywcze i wypuszczają do góry dodatkowe pędy sięgające powierzchni terenu. Część osobników utrwalających pagórek może obumierać pod wpływem mechanicznego działania piasku transportowanego przez wiatr oraz w wyniku zasypywania piaskiem o dużej miąższości (RAHMONOW, 1998). Obumarłe tkanki rozkładając się, wzbogacają gleby zarówno w materię organiczną, jak i w składniki pokarmowe, uwolnione w wyniku mineralizacji tej materii. Ten cykl może się powtarzać kilka razy i w ten sposób tworzą się kolejne sekwencje gleb. Jest to klasyczny przykład relacji pomiędzy roślinnością i tworzeniem się gleby. Badania na wydmach piaszczystych pokazują, że koncepcja ekosystemu oznacza więcej niż asocjacje biologiczną i jej środowisko (OLSON, 1958). Koncepcja dynamiki systemu fizyczno-biologicznego ściśle wiąże się z interakcją roślinności z siłami fizycznymi, które na skutek procesów eolicznych budowały wydmy, pagórki fitogeniczne i związane z nimi gleby. Jest to ukazane zwłaszcza przez transformację chemiczną oraz krążenie pierwiastków w trakcie sukcesji i rozwoju gleby od luźnych piasków do ustabilizowanych powierzchni i w konsekwencji dobrze rozwiniętych poziomów glebowych.

W przypadku wielkopowierzchniowych obszarów z glebami kopalnymi (północna część Pustyy-

ni Błędowskiej) wspomniany proces zachodzi słabiej, ponieważ nawiany piasek akumulowany jest na dużej powierzchni.

Nad glebami kopalnymi, w zależności od ich powierzchni, występują bory sosnowe lub mura-wa szczotlichowa. Gdy są to małopowierzchnio-we gleby kopalne, wtedy u podnóża wydmy czy pagórków występuje wierzba piaskowa, a górną część stoków i wierzchołek wydmy zajmują mura-wy z udziałem szczotliczy siwej i strzęplicy sinej o luźnym zwarciu. Szczyty pagórków nad glebami kopalnymi często są niszczone przez opady atmosferyczne oraz w mniejszym stopniu przez wiatry. Tworzenie się gleby ma tu więc charakter cykliczny, a ewolucja gleb wydmo-wych, jak podaje Z. PRUSINKIEWICZ (1969), przed-stawia się jako cykl destrukcji i regeneracji. Jako przykład mogą służyć gleby kopalne ogłowione i rozwijające się nad nimi arenosole.

W południowej części Pustyni Błędowskiej występują liczne płyty gleb kopalnych, na któ-rych rozwija się bór sosnowy o charakterze ini-cjalnym, gdzie w drzewostanie dominuje *Pinus sylvestris*. Gatunek ten nie ma wysokich wyma-gań, jeśli chodzi o makropierwiastki, dlatego szybko zasiedla powierzchnie piasku i wpływa na kierunek procesu glebotwórczego. Niezbędne składniki pokarmowe sosna czerpie z gleb kopal-nych, opadu roślinnego (pochodzenia allo- i au-tochtonicznego) oraz rozkładających się obumar-łych części gatunków zielnych psamofitów. W przypadku zasiedlenia wydmy nad glebą ko-palną przez *Salix acutifolia* obserwuje się dobrze wykształcony poziom próchniczny. Może to wynikać z dobrze rozwiniętej flory bakteryjnej, która szybko rozkłada liście wierzbowe. Wystę-powanie bakterii jest uwarunkowane odczynem podłoża. Wapń (Ca), pochodzący z liści tego gatunku i obumarłych tkanek roślin zielnych, zmniejsza jego kwasowość. Dzięki temu pod wierzbami tworzy się próchnica, według klasy-fikacji Z. PRUSINKIEWICZA (1999), typu modermor, podtyp ksero-modermor lub droso-modermor oraz w odmianie proto-, haplo- i foliowej, pod-czas gdy pod sosnami formuje się próchnica typu mor, w podtypie ksero-mor/droso-mor, w odmia-nie proto-, haplo- i foliowej.

Po ustabilizowaniu piasku nadal występują gatunki o małych wymaganiach pokarmowych. Niektóre z nich cechują się na wydmach wysoką żywotnością, co związane jest z pobieraniem składników z rozkładającej się pogrzebanej ma-terii organicznej oraz z gleb kopalnych. Właśnie te sprzyjające warunki pozwalają na tworzenie się bardziej zaawansowanej i rozbudowanej struktury pionowej zbiorowisk roślinnych, która później będzie miała istotny wpływ na zachodzące pro-cesy glebowe. W większości wydmy czy pagór-ków gleby charakteryzują się większą zawarto-ścią składników pokarmowych. Można tu obser-wować wyraźne relacje między roślinnością i glebą (rys. 11 — rozdz. 6), które dostarczają argumentów wyjaśniających występowanie ga-tunków roślin na powierzchni o znacznej zasob-ności siedliska (np. gleby kopalne). Kontrasty czy mozaikowość rozwoju sukcesji roślinno-glebowej na badanym terenie są uwarunkowane zasobno-ścią substratu i jego nierównomiernym rozmiesz-czeniem w terenie, co wyraźnie uwidacznia się w sukcesji wtórnej zarówno roślinnej, jak i gle-bowej. Część tych różnic wiąże się z warunkami wilgotnościowymi, pokarmowymi, mikro- i topo-klimatycznymi. Wpływ promieniowania słonecz-nego i wiatru na zmiany warunków wilgotności-owych na pagórkach fitogenicznych i wydmach leżących na glebach kopalnych jest mniej efek-tywny, ponieważ wydmy te są zbudowane z pia-sków drobnoziarnistych, zawierają też sieć sys-temów korzeniowych roślin psamofilnych, któ-re również przyczyniają się do utrzymywania wil-goci. Tylko wierzchołki wydmy czy pagórków częściej podlegają działaniu opadów atmosf-eicznych, wpływowi wiatru, a także wysuszeniu przez promieniowanie słoneczne, a w konsek-wencji deflacji i splukiwaniu.

Wskaźniki wilgotności oraz pojemność polo-wa gleb kopalnych i wydmy nad nimi leżących są wystarczająco duże, aby zapewnić wodę roślinom o niskich wymaganiach, których nasiona mogą zacząć kiełkować, zwłaszcza przy dużej wilgotności wiosennej. Może to umożliwiać im przetrwanie suchego lata. W Polsce bardzo rzad-ko zdarza się suche lato. Na Pustyni Błędow-skiej miejscami występują wkładki pyłowych

piasków, które mają zdolność zatrzymywania wody. Na tych płatach jako pierwsza po glonach zasiedla się wierzba piaskowa — najczęściej na polach deflacyjnych. W miarę rozwoju tworzą się odizolowane pagórki i związane z nimi gleby. Takich pagórków może się tworzyć bardzo dużo. W obrębie kępy wierzbowej panują bar-

dziej korzystne warunki niż w jej otoczeniu, tym samym szybko są zasiedlane (jako pierwsze) przez sosny zwyczajne, a później pojedynczo przez dąb szypułkowy. Im większa jest produkcja różnorodnej materii organicznej, tym większe występuje zróżnicowanie składu mineralnego i zasobności gleby.

8. Rola roślinności w kształtowaniu gleby w inicjalnych fazach sukcesji

Występowanie podobnej skały macierzystej oraz warunków środowiskowych w poszczególnych fazach sukcesji sugerują, że wpływ zbiorowiska *Algae-Cyanophyta*, *Polytrichum piliferum*, biologicznej skorupy glebowej (skorupa organiczno-mineralna złożona z glonów, mszaków i porostów), *Salix arenaria*, *S. acutifolia* i *Pinus sylvestris* na procesy tworzenia się gleby jest zróżnicowany.

8.1. Glebotwórcze znaczenie roślin niższych

Nagie powierzchnie piaszczyste Pustyni Błędowskiej składają się głównie z okrągłych ziaren piasku, z bardzo małym udziałem frakcji drobnej, a powierzchnie piasku pokryte przedstawicielami *Cyanophyta* i *Algae* wykazują charakter siatkowaty, złożony z plechy sinic i glonów, która pokrywa zarówno pojedyncze ziarna piasku, jak i całą ich grupę (fot. 20 a, b). W niektórych miejscach siatka glonowa otacza ziarna piasku, zwłaszcza drobnego, natomiast bardzo drobne

frakcje wchodzą do siatki glonowej. W ten sposób ziarna piasku często są otoczone plechami glonowo-sinicowymi. W siatkach tych stwierdzono także obecność membran organicznych, które pochodzą z polimerów substancji pozakomórkowej (por. MALAM ISSA i in., 2001). Przechwytywane przez siatki glonowe drobne frakcje składają się z rozmaitych minerałów (rys. 29, 30). Pierwiastki wchodzące w ich skład mogą być pobierane przez roślinność zarówno niższą, jak i przez sukcesywnie wkraczające rośliny naczyniowe. Skorupa glonowa ma charakter mineralno-organiczny i jest stosunkowo bogata w pierwiastki pokarmowe dla roślin (tabela 35).

Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem świadczy o dużym udziale materiału mineralnego w skorupie glonowej. W badanej skorupie sinicowo-glonowej obserwuje się przede wszystkim nagromadzenie K, Ca, Na i Al (tabela 35). W literaturze przedmiotu można znaleźć informacje o nagromadzeniu wapnia, magnezu i siarki (TIKHOMIROV, 1957) oraz fosforu i azotu w skorupie glonowej (BELNAP, 2003). Glony rozkładają substrat mineralny, w tym glinokrzemiany, i pobierają z nich konieczne dla rozwoju pierwiastki,

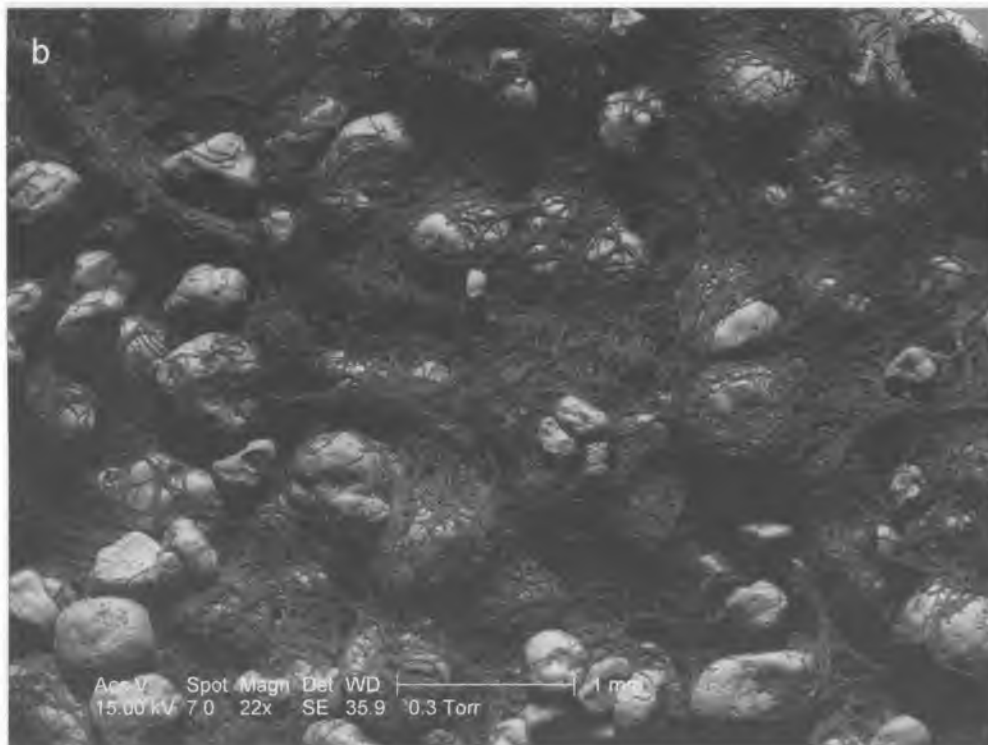
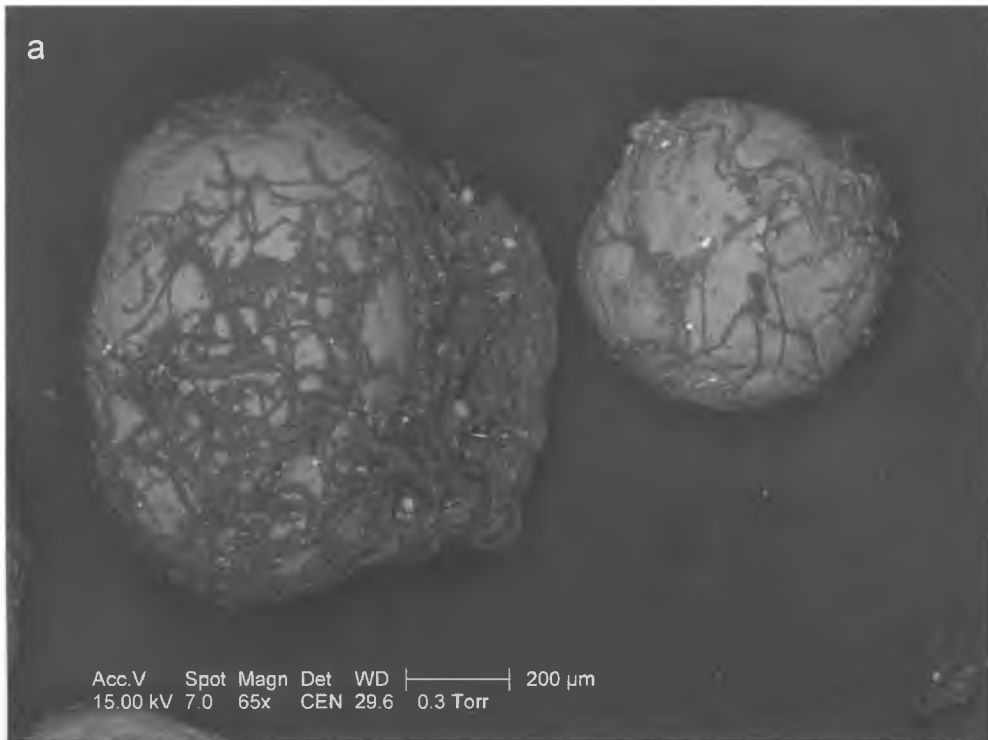
Tabela 35

Skład chemiczny skorupy glonowej — wybrane pierwiastki

Table 35

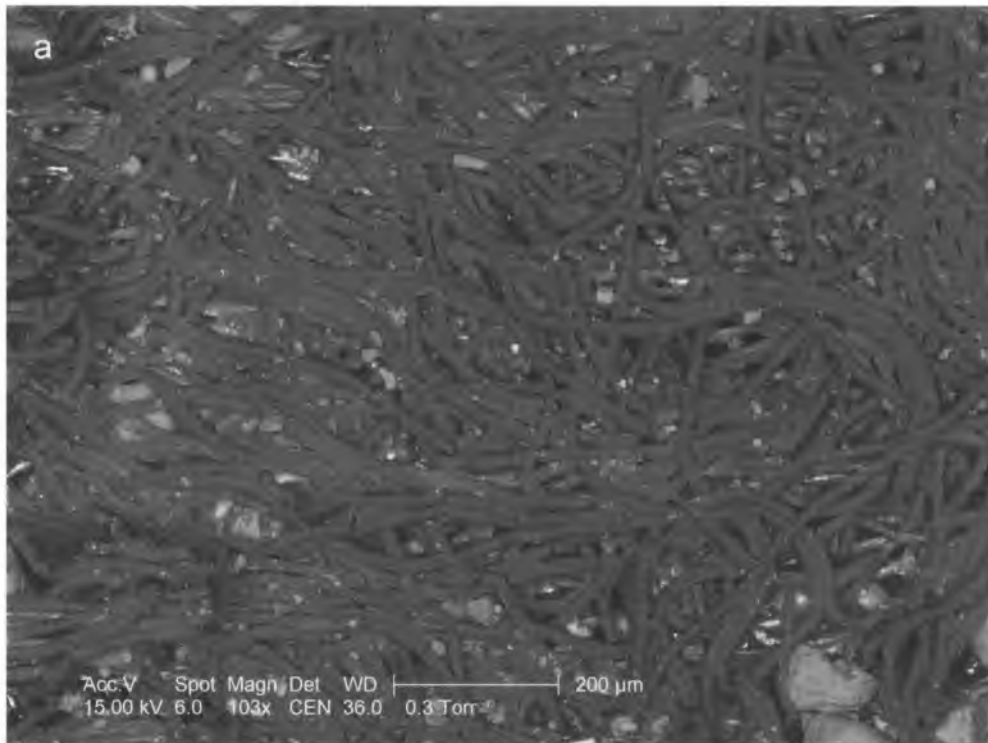
The chemical composition of algal crusts — selected elements

Nazwa próbki	Corg	Nt	C/N	Ca	Mg	K	Na	P	Fe	Al	Zn
	[%]			[mg · kg s.m. ⁻¹]							
Skorupa glonowa	8,83	0,139	63	3077	515	5113	1766	180	286	1090	97



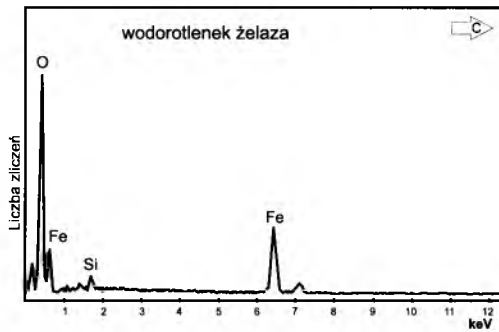
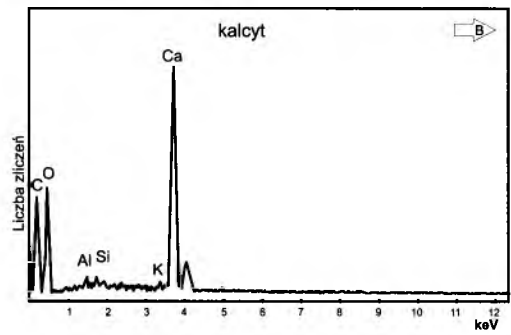
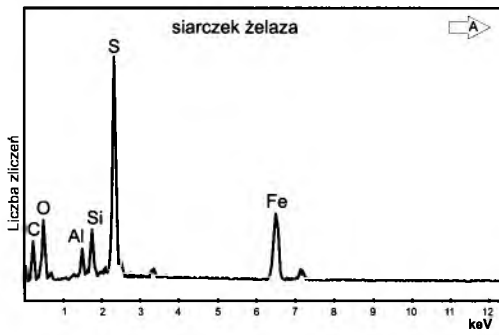
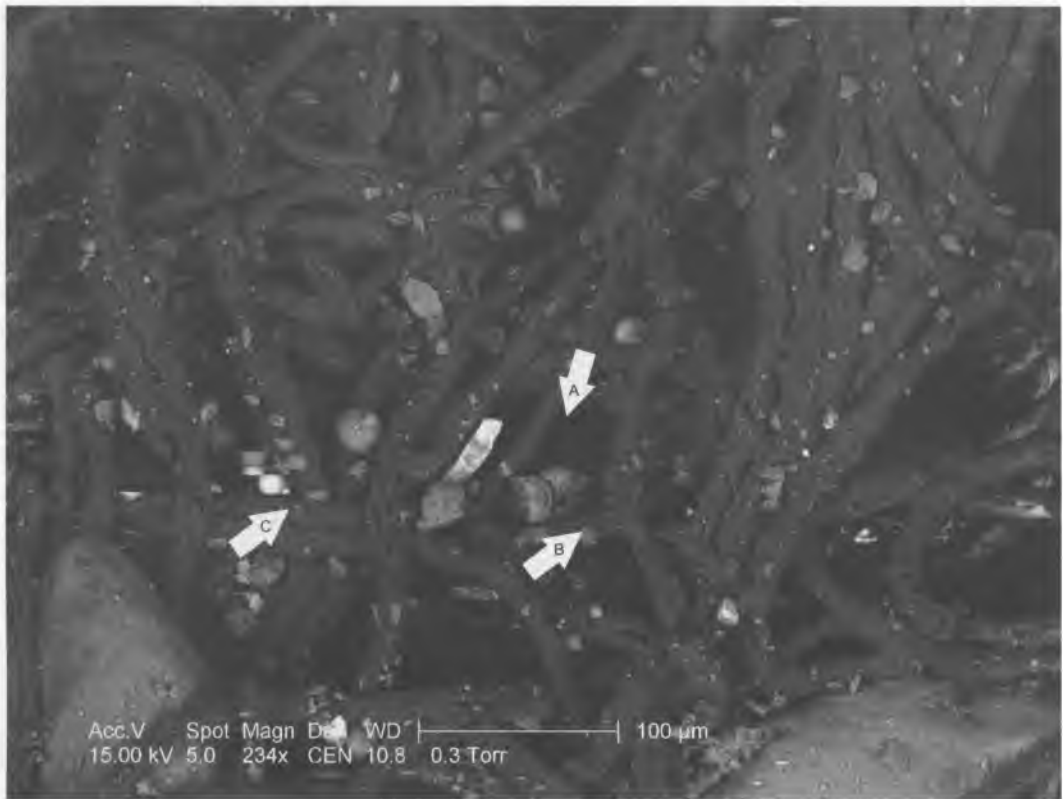
Fot. 20 a — Pojedyncze ziarna piasku oblepione przez glony i sinice, **b** — utrwalanie piasków przez glony nitkowate (fot. autor)

Phot. 20 a — The single grain sand coated by cyanophyta and algae, **b** — sand stabilization by filamentous alga (phot. author)



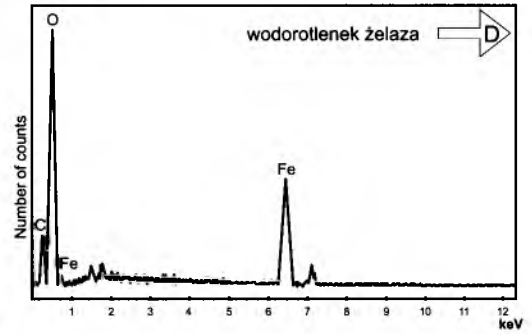
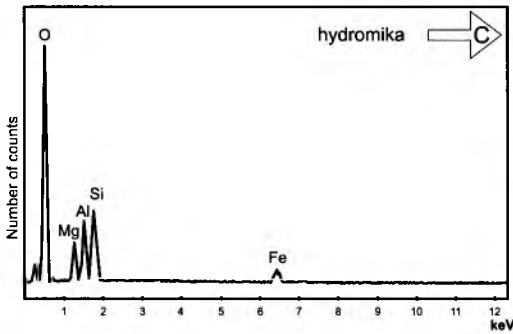
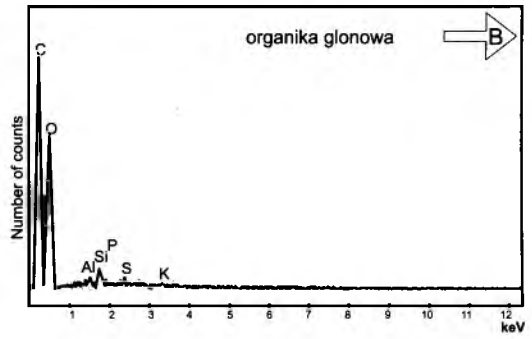
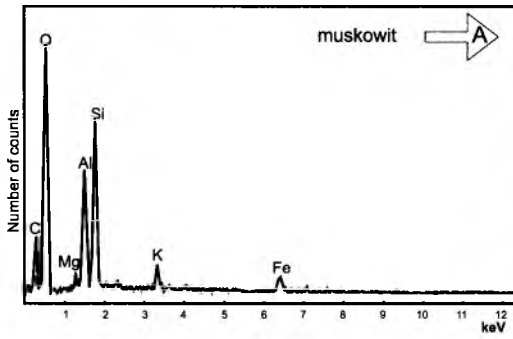
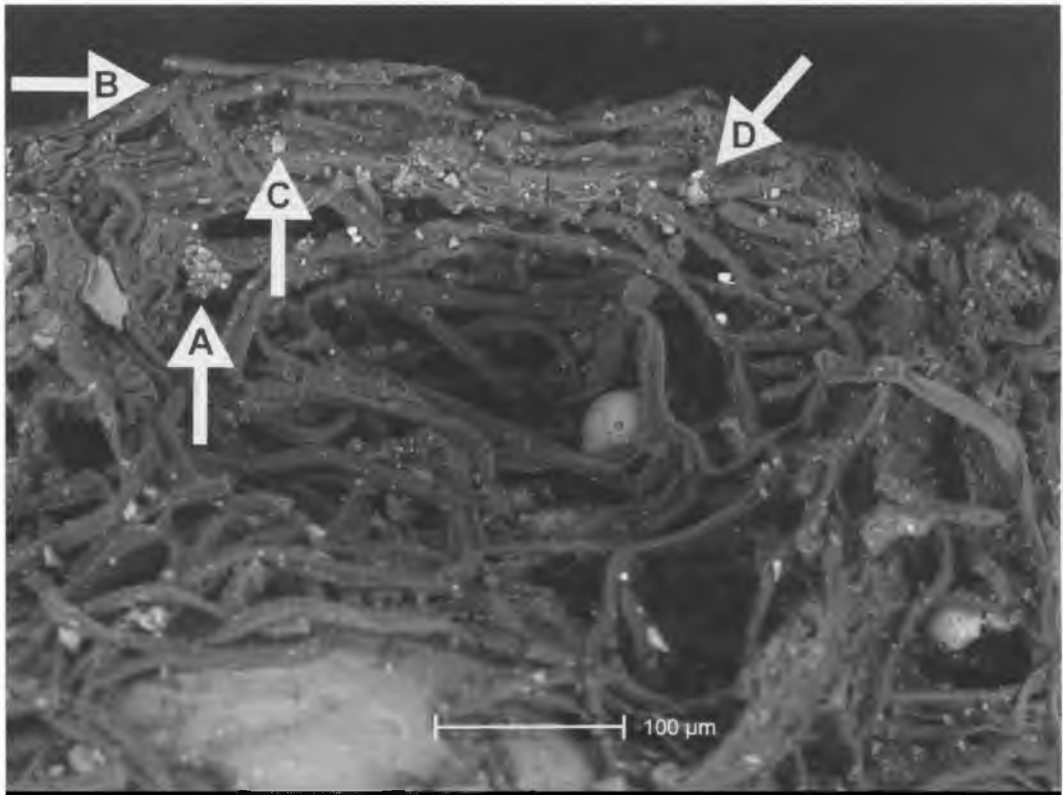
Fot. 21. Różny stopień zasiedlania piasków przez kolonie *Cylindrocapsa* sp.
a — tworzenie wojłoku, **b** — postać siatkowata (fot. autor)

Phot. 21. Various degree of sand colonization by colony of *Cylindrocapsa* sp.
a — creating of algal mats, **b** — net form of algal crust (phot. author)



Rys. 29. Skorupa glonowa jako siatka wychytująca różne drobne cząstki mineralne

Fig. 29. Algal crusts as trapping net for small fraction mineral



Rys. 30. Minerale przechwytywane przez sieć nitkowatych glonów
Fig. 30. The trapped minerals by net of filamentous algae

w tym glin (BOLYSHEV, 1967). W doświadczeniach prowadzonych przez M.A. GLAZOVSKĄ (1950) zaobserwowano, że glony aktywnie rozkładają muskowit, biotyt i inne minerały.

Na szczególną uwagę zasługują formy nitkowate glonów, które stabilizują znaczne obszary nagich piasków, tworząc na jego powierzchni skorupę glonową (fot. 21 a, b). Tym samym odgrywają ogromną rolę w procesie formowania się biogeocenozy w ekosystemach piaszczystych. Według podziału dokonanego przez B. BÜDELA (2003), dotyczącego sposobu formowania się skorupy glonowej, niektóre gatunki wchodzące w jej skład na Pustyni Błędowskiej należą do grupy tworzącej śluzowatą substancję międzykomórkową (*mucose growth type of crust formation*). Są to: *Chroococcus minor*, *Ch. minutus*. Reprezentowana jest także grupa z komórkami o lepkiej powierzchni (*glutinose growth type crust formation*), np. *Pinnularia borealis*. Gatunki należące do pierwszej grupy przylegają do powierzchni gleby i przynajmniej część ich cyklu życiowego zachodzi w glebie, w której panują sprzyjające warunki rozwoju (fot. 22 a, b). Ma to istotne znaczenie w procesie gromadzenia materii organicznej, jej mineralizacji i humifikacji. Jeśli powierzchnia ze skorupą glonową czy glonowo-mszystą zostanie zasypaana dużą ilością piasku, to nie ma możliwości rozwoju i po pewnym czasie rozkłada się, tworząc ciemne smugi próchniczne, nad którymi leży świeży piasek o cechach skały macierzystej (fot. 16). W zależności od ilości depozycji i redepozycji piasku tych warstewek może być od kilku do kilkunastu.

Proces powstawania skorupy mszystej jest bardzo złożony i utrudniony w porównaniu ze skorupą sinicowo-glonową. Luźny piasek nie stanowi sprzyjających warunków do zasiedlania i utwierdzenia się ryzoidów mszaków. Dlatego

zasiedlają one chętnie obszary uprzednio opanowane przez glony. *Polytrichum piliferum* ma duże ilości ryzoidów, które przytwierdzają się do podłoża przez wiązanie luźnego piasku (fot. 24 a, b). W miarę zwiększania się ich populacji coraz bardziej stabilizują one piasek oraz przyczyniają się do kontynuowania (bez przerw) procesów glebowych, m.in. hamując procesy eoliczne. Piasek wraz z innymi materiałami allochtonicznymi (zwłaszcza igłami sosny) zatrzymuje się także pomiędzy łądęgami tego mszaka. Podobnie jak w przypadku glonów, płyty mszyste mogą być zasypywane i obumierając stanowią źródło materii organicznej i mineralnej, niezbędnych do odżywiania się i funkcjonowania organizmów glebowych. Ryzoidy *Polytrichum piliferum* są ważnym źródłem materii organicznej w suchych i ubogich piaskach, gdzie ich biomasa podziemna może przeważać nad nadziemną (fot. 25). Zjawisko to jest charakterystyczne dla obszarów suchych i półsuchych (BAZILEVICH, 1955; RODIN, BAZILEVICH, 1965). Skład chemiczny analizowanego mszaka przedstawia tabela 36.

W składzie chemicznym tkanek *Polytrichum piliferum* dominuje Al ($5762 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), zarówno w części nadziemnej jak i podziemnej, co ma związek z jego znacznym udziałem w glinokrzemianach stanowiących trudną do oddzielenia domieszkę w próbce. Zawartość pierwiastków biofilnych jest wystarczająco duża, aby zapewnić pokarm po ich rozkładzie rozwijającym się tam organizmom pionierskim, które na tym etapie sukcesji roślinno-glebowej charakteryzują się niskimi wymaganiami edaficznymi.

Wzbogacenie gleby przez mszaki (*Polytrichum piliferum*) wiąże się ponadto z zatrzymywaniem frakcji mineralno-organicznej o charakterze allochtonicznym na powierzchni ich aparatu asymilacyjnego (fot. 26, rys. 31).

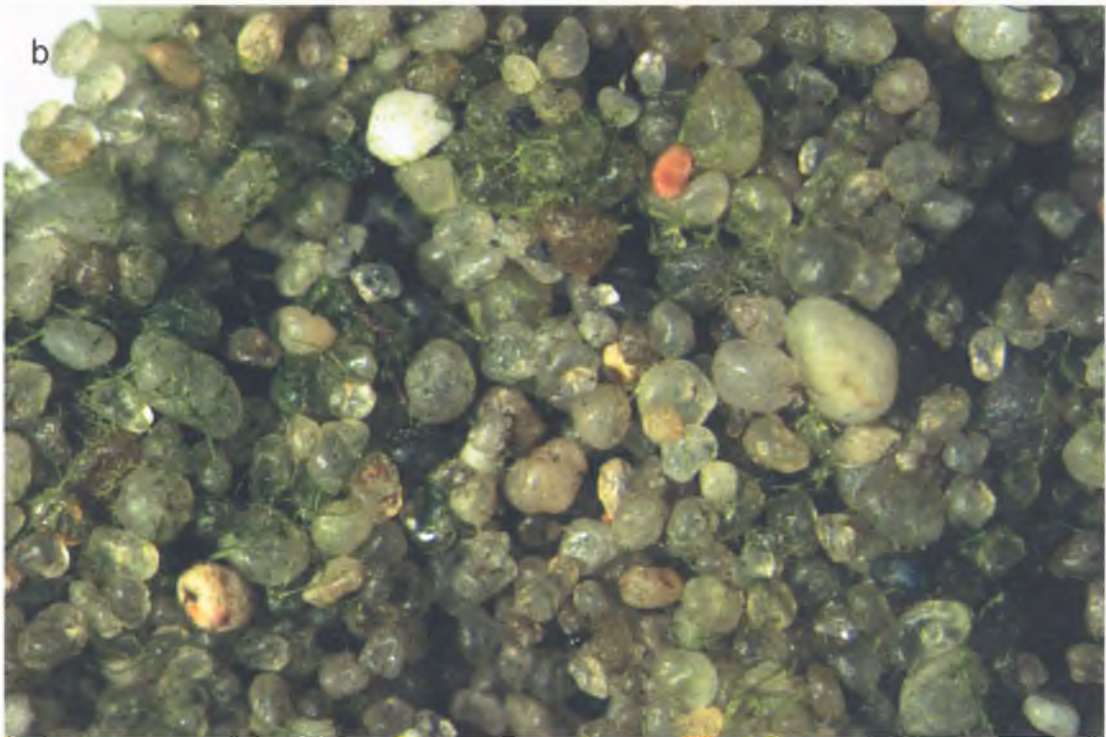
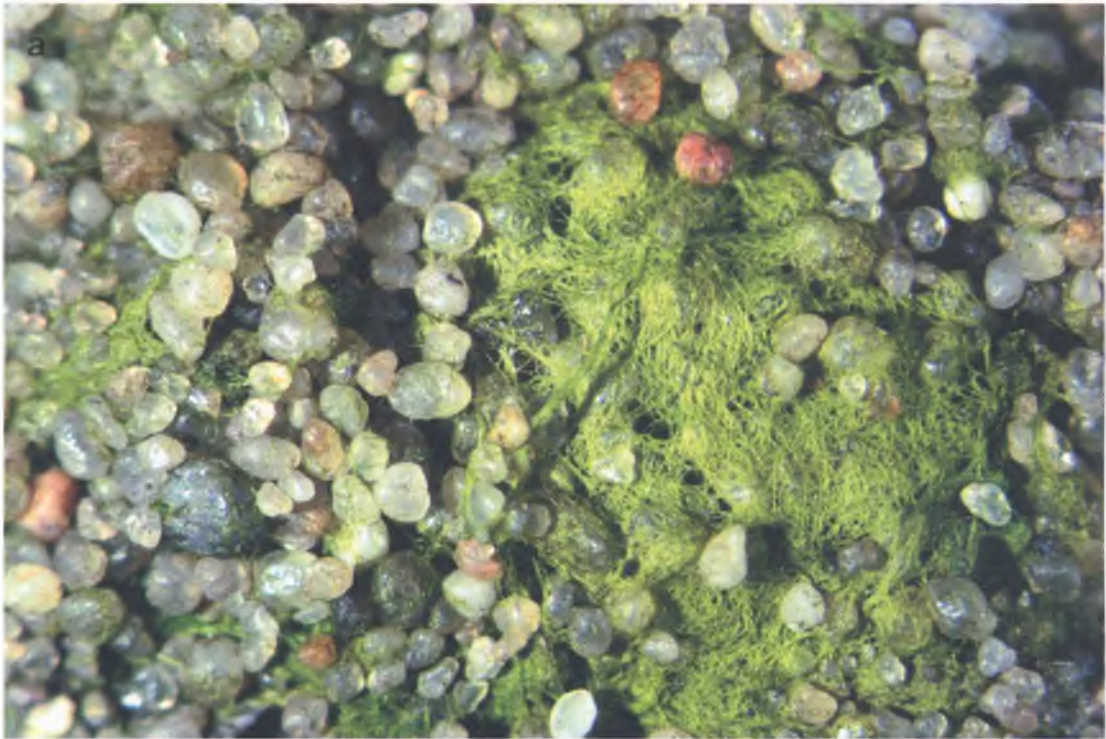
Tabela 36

Skład chemiczny *Polytrichum piliferum* — wybrane pierwiastki

Table 36

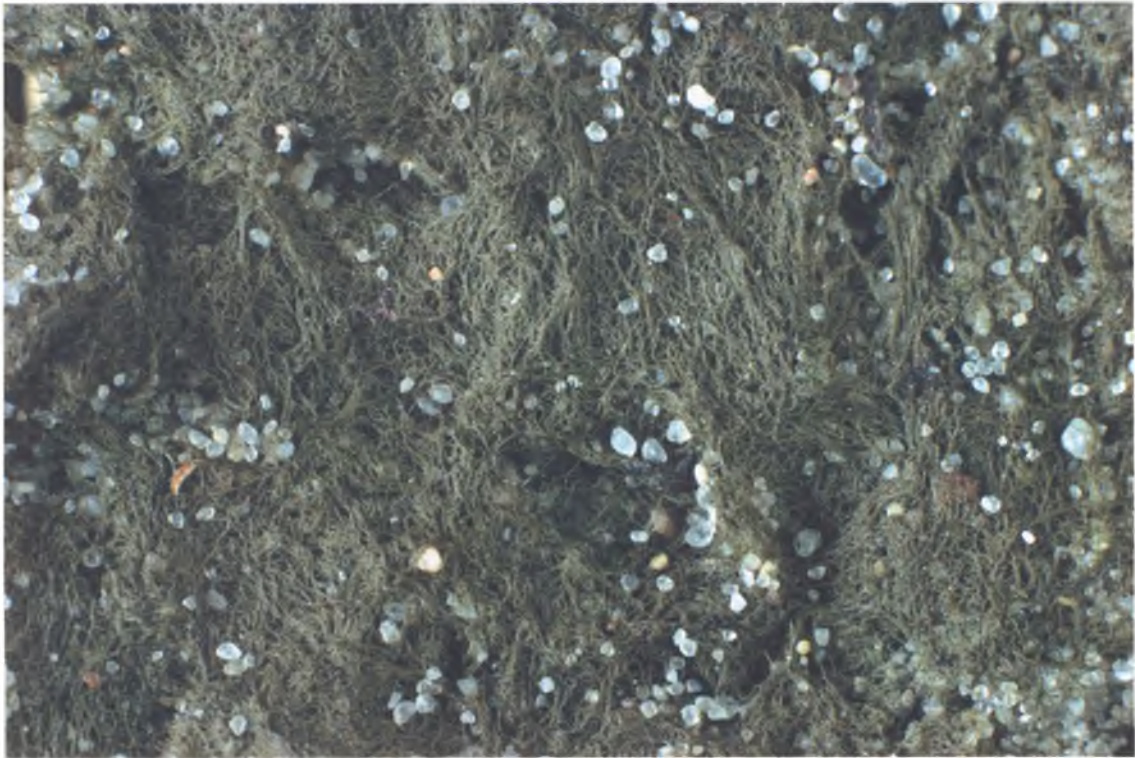
The chemical composition of *Polytrichum piliferum* — selected elements

Nazwa próbki	Corg	Nt	C/N	Ca	Mg	K	Na	P	Fe	Al	Zn
	[%]			[$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]							
Lodyga/liście	38.3	1.05	36	2644	557	4170	730	1116	4586	5762	288
Ryzoidy	9.87	0.287	34	3811	963	5382	1771	490	1016	17260	235



Fot. 22 a — Wierzchnia warstwa skorupy glonowej — wnikanie glonów do piasku (40×), **b** — dolna warstwa skorupy glonowej (40×) (fot. autor)

Phot. 22 a — Upper layer of algal crusts — sand penetration by algae (40×), **b** — lower layer of algal crusts (40×) (phot. author)



Fot. 23. Skorupa glonowa zasypywana piaskiem (fot. autor)

Phot. 23. Algal crusts covering by sand (phot. author)

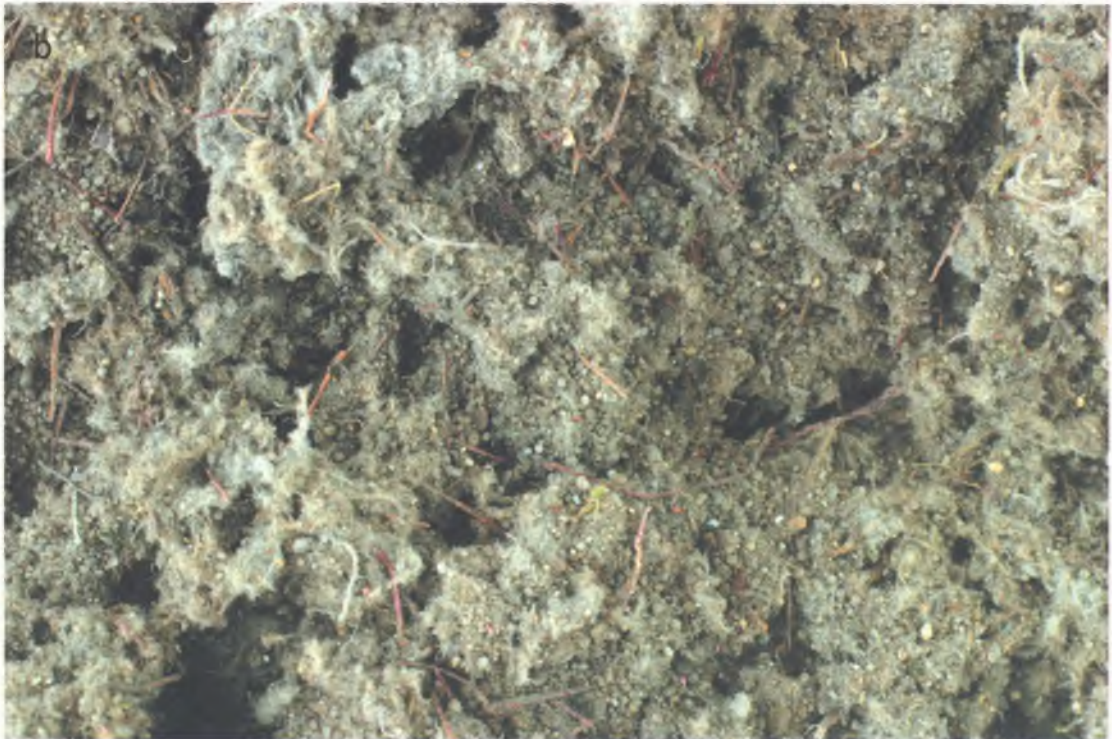
Znaczenie glonów i mszaków w początkowym stadium rozwoju gleby

Glony są pierwszymi organizmami zasiedlającymi wietrzejące skały i inicjującymi powstanie pierwotnej próchnicy na mineralnym podłożu, gdyż są organizmami często fotosyntetyzującymi i uczestniczą w procesach tworzenia oraz gromadzenia się materii organicznej w glebie. Praca M.M. GOLLERBAKHA i in. (1956) bardzo przekonująco ukazuje udział glonów w formowaniu się gleb prymitywnych, szczególnie na terenach pustynnych.

Najbardziej oczywisty i znaczący udział glonów wiąże się z procesem biologicznego wietrzenia skał (rys. 32) i w znacznej mierze jest uwarunkowany cyklem życiowym glonów oraz sinic, związanym z asocjacjami litolitycznymi (fot. 27 a, b), które dominują na Pustyni Błędowskiej. Stabilizacja ruchomych piasków przez glony inicjuje procesy glebowe, a obumarłe plechy glonowe wraz z zatrzymaną przez ich skorupę substancją allochtoniczną wzbogacają

glebę w materię organiczną będącą źródłem próchnicy (fot. 21 a, b, fot. 28). Skalę udziału glonów w tworzeniu substancji organicznej w glebie ukazują rezultaty analiz skorupy glonowej z różnych stref klimatycznych (STARKS i in., 1981). Według M.M. GOLLERBAKHA i in. (1956), biomasa glonów w skorupie glonowej na taksach (glebach charakterystycznych dla obszarów suchych i półsuchych) wynosi, w przeliczeniu na suchą masę, ok. 500 kg/ha. W sprzyjających warunkach pogodowych w skorupie glonowej w glebach Arizony obserwowano tworzenie się około 6 t materii organicznej na 1 akrze (BOLYSHEV, 1967).

Glony biorą bezpośredni udział w większości procesów biogeochemicznych zachodzących w glebie i wpływają na jej właściwości fizykochemiczne. Podstawowymi procesami biogeochemicznymi, w których biorą udział, są: gromadzenie materii organicznej – w tym wiązanie wolnego azotu atmosferycznego, rozkład/rozpad minerałów, migracja pierwiastków (GOLLERBAKH, SHTINA, 1969; SHTINA, GOLLERBAKH, 1976). Wydzielana

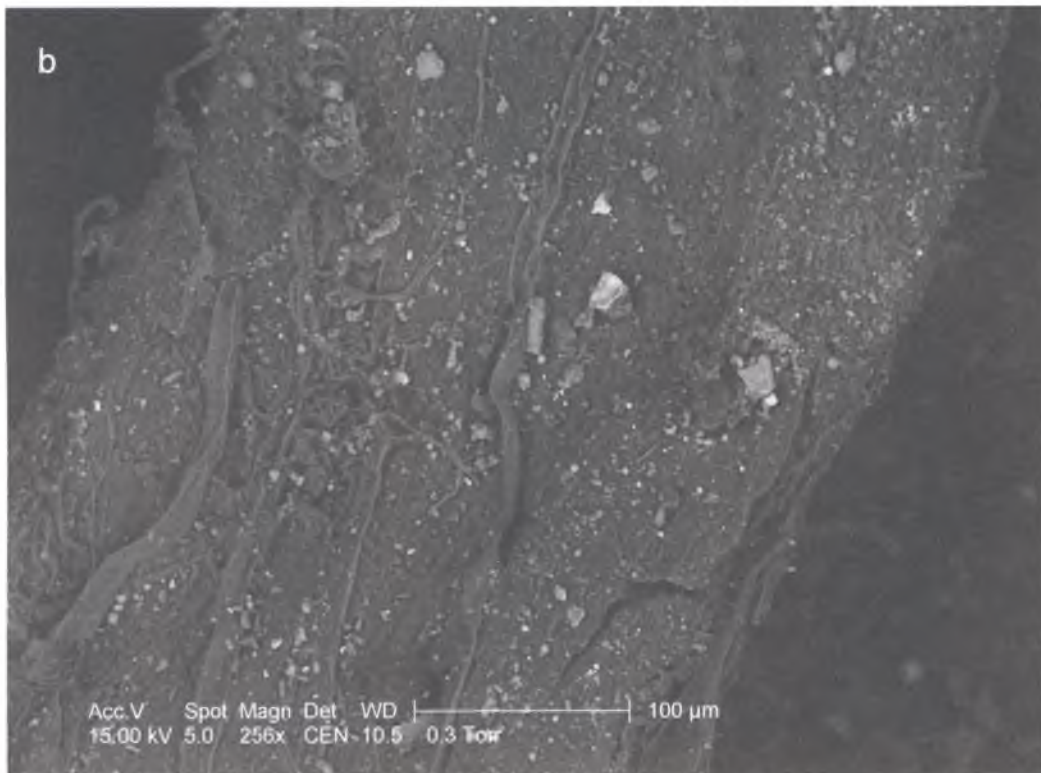


Fot. 24. Wiązanie ziaren piasku przez ryzoidy *Polytrichum piliferum*
a — powiększenie 20×, **b** — powiększenie 10× (fot. autor)

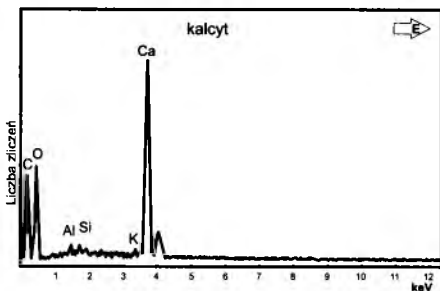
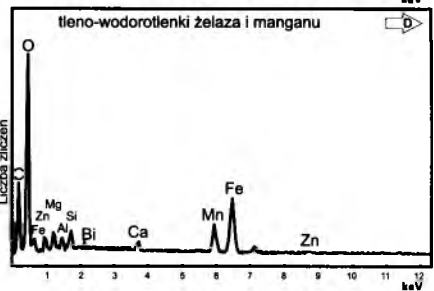
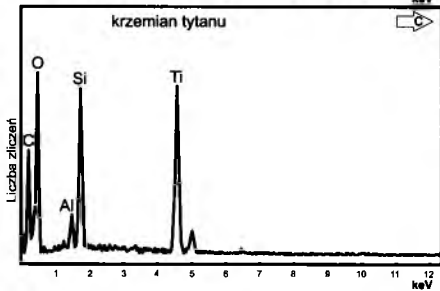
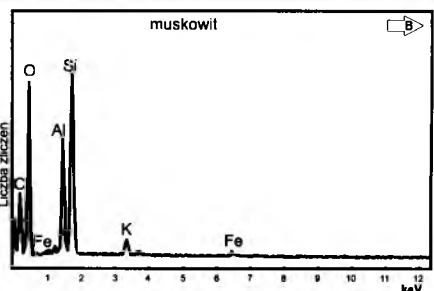
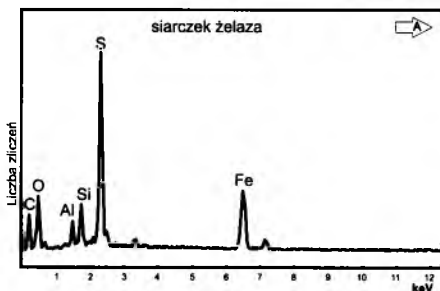
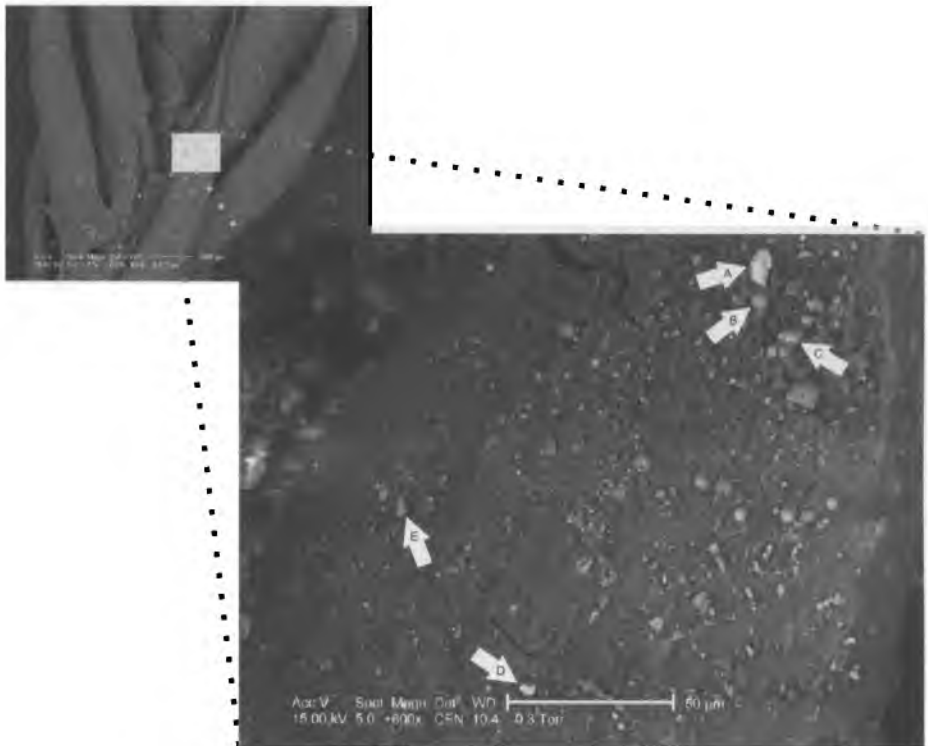
Phot. 24. The binding of sand grains by rhizoid of *Polytrichum piliferum*
a — blown up to twentieth the size (20·), **b** — blown up to tenth the size (10·) (phot. author)



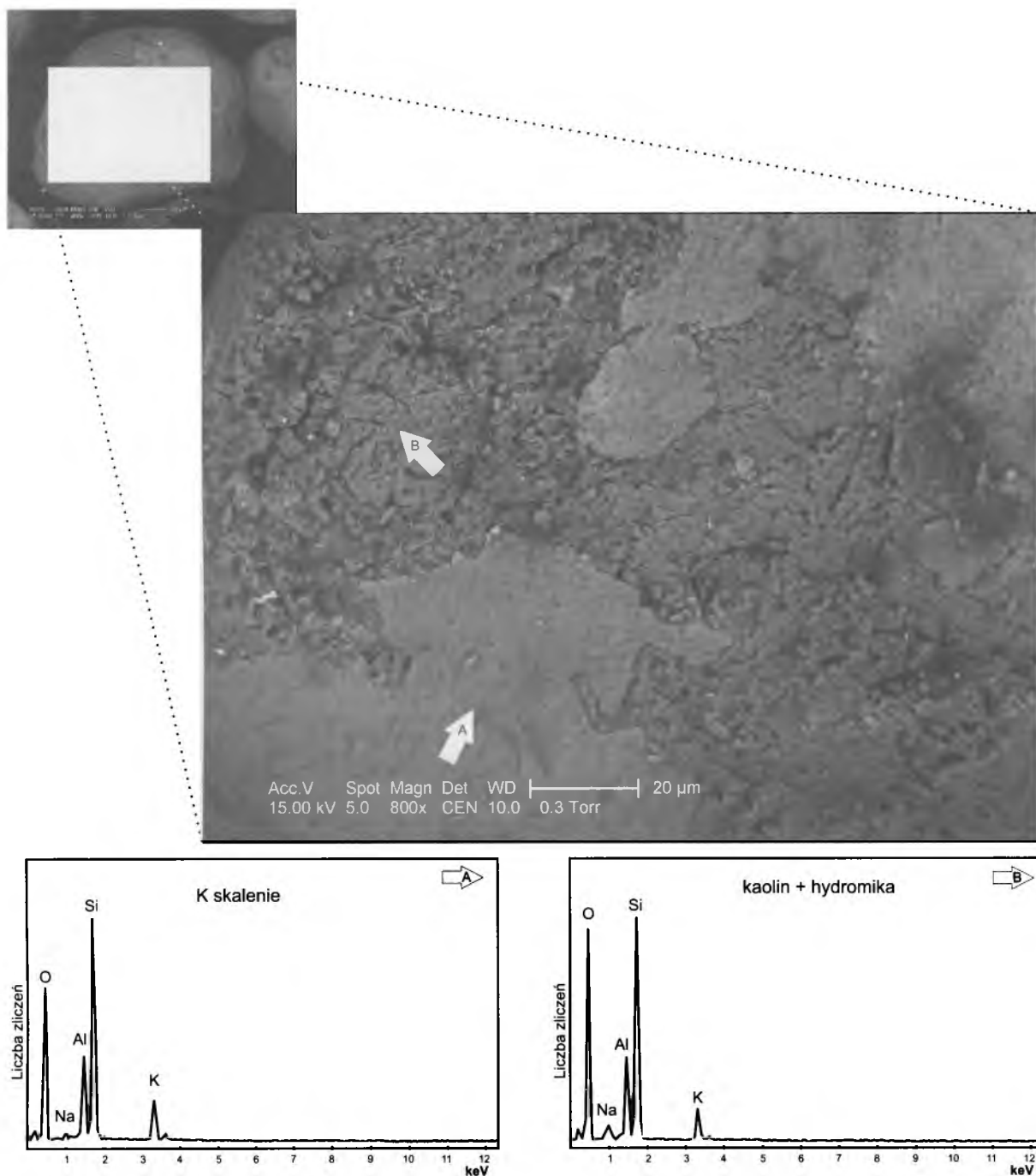
Fot. 25. Udział ryzoidów *Polytrichum piliferum* w tworzeniu poziomu A (warstwa szaro-brązowa) (fot. autor)
Phot. 25. The participation of *Polytrichum piliferum* rhizoids in formation of A horizon (grey-brown layer) (phot. author)



Fot. 26. Zatrzymanie substancji organiczno-mineralnej na łodyżce *Polytrichum piliferum* (fot. autor)
Phot. 26. The stopped of organic and mineral substances on stem of *Polytrichum piliferum* (phot. author)



Rys. 31. Zatrzymywanie frakcji mineralnej na powierzchni listków *Polytrichum piliferum*
 Fig. 31. The trapping of minerals fraction on surface of *Polytrichum piliferum* leaves

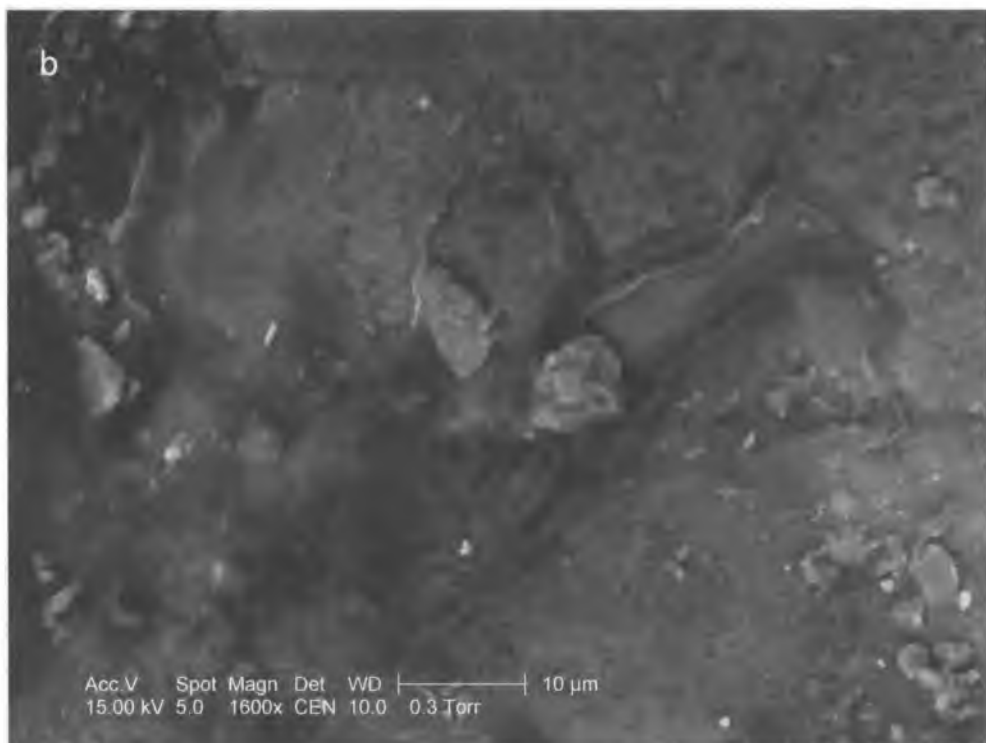
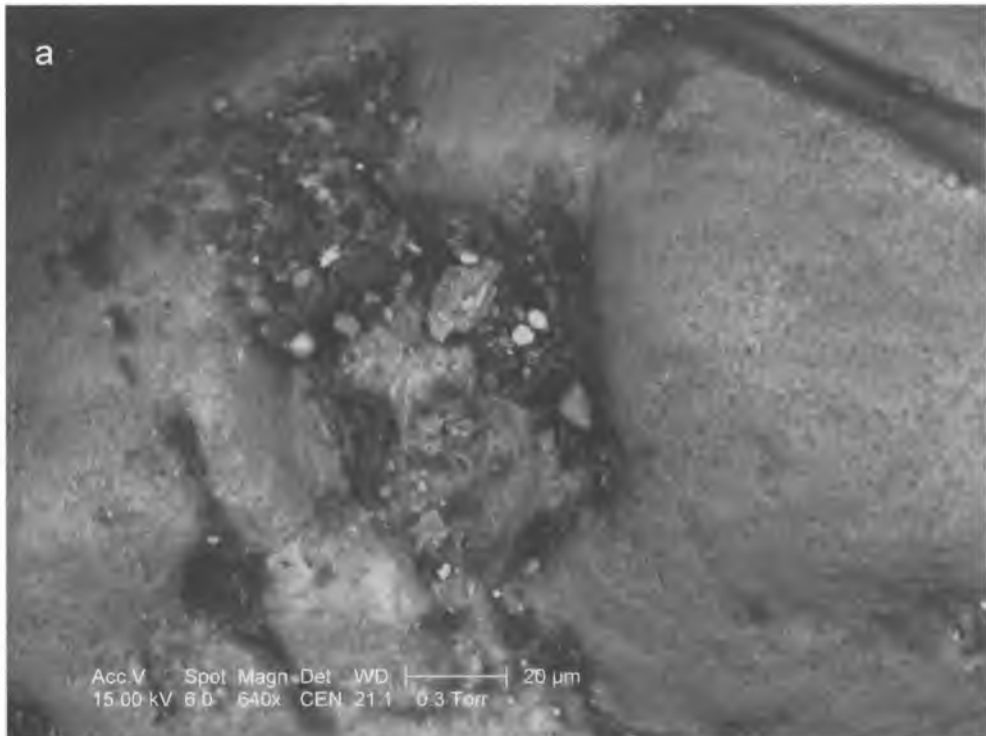


Rys. 32. Przeobrażenie powierzchni ziarna piasku przez glony pod wpływem wietrzenia biologicznego
Fig. 32. The surface transformation of grain sand by algae under influence of biological weathering

przez glony i sinice substancja pozakomórkowa zawiera związki organiczne, które są zdolne do wiązania kationów wymiennych i w ten sposób dodatkowo wzbogacają glebę. Wynika stąd dodatnia korelacja między zawartością substancji orga-

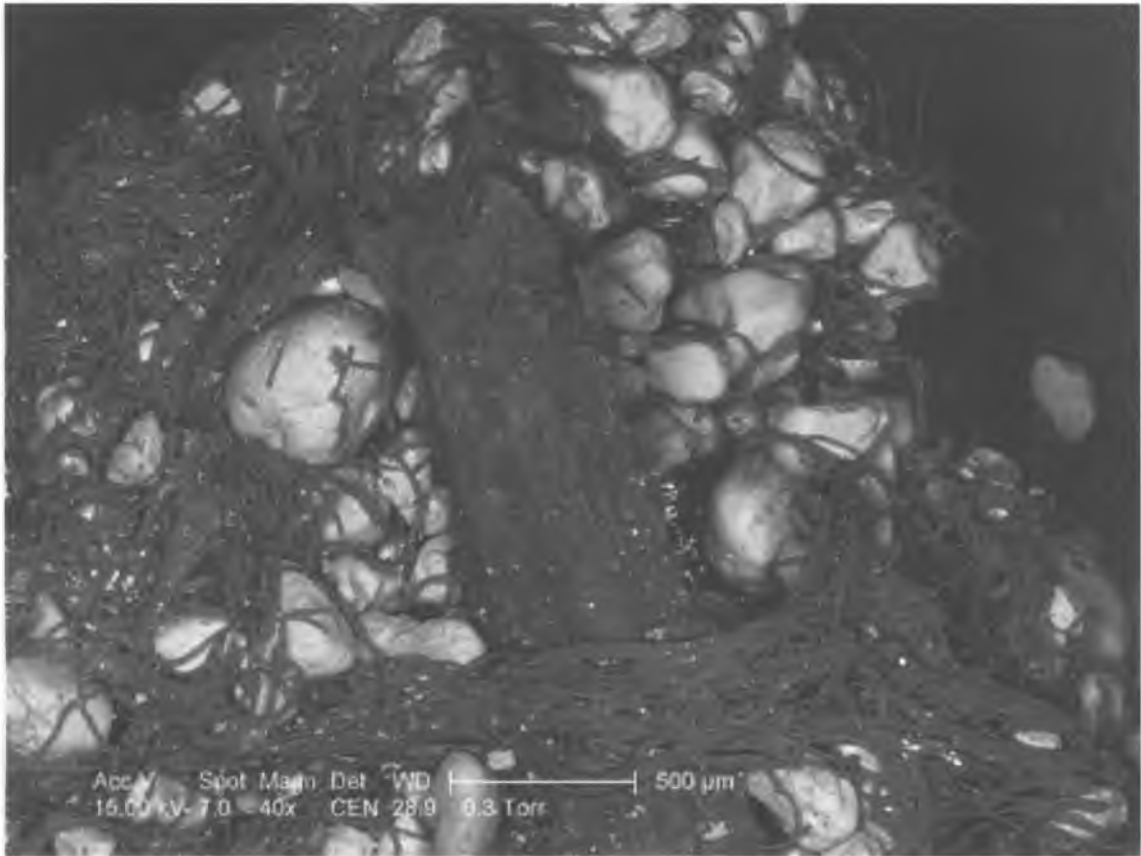
nicznej i kationów zasadowych w glebach pod algocenozą i sinicami (RAHMONOV, PIĄTEK, 2007).

W wyniku zmian środowiska glebowego glony wpływają pośrednio na cykle życiowe roślin naczyniowych. Gdy zmieloną na proszek skorupę



Fot. 27. Ślady komórek glonowych na ziarnie piasku
a — pojedyncze glony jednokomórkowe, **b** — postać kolonialna (fot. autor)

Phot. 27. Traces of algal cells on sand grain
a — individual single cells algae, **b** — colonial forms (phot. author)



Fot. 28. Igliwie sosnowe zatrzymane i skolonizowane przez glony nitkowate (fot. autor)

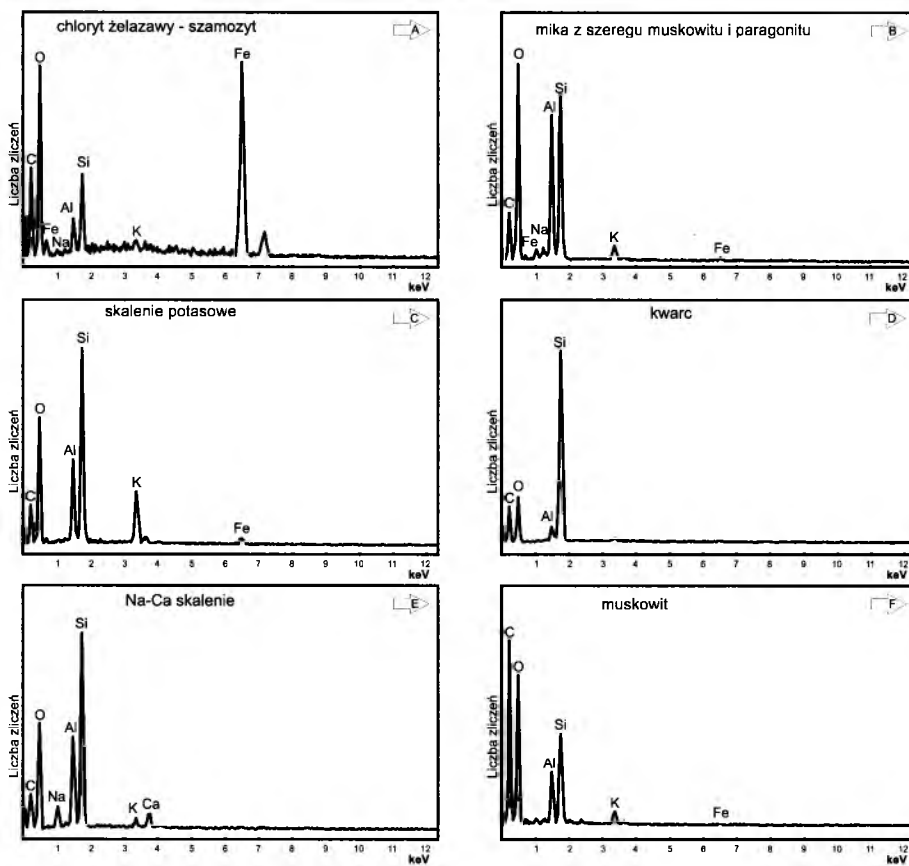
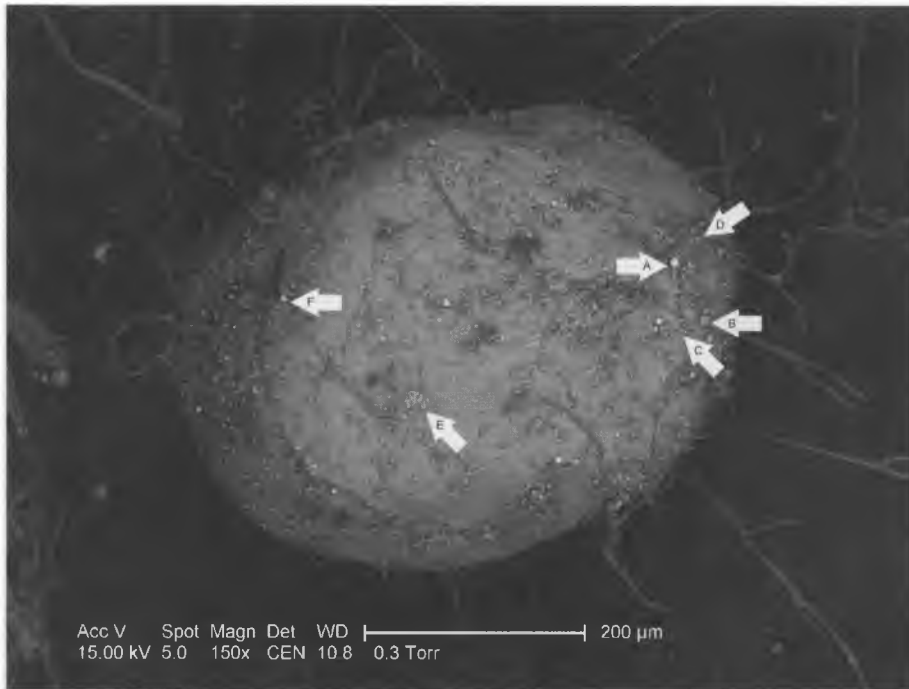
Phot. 28. Pine needles stopped and colonized by filamentous algae (phot. author)

glonową naniesie się na powierzchnię piasku w postaci warstwy grubości ok. 5 mm, obniża ona szybkość infiltracji wody aż 3-krotnie w porównaniu z gołym piaskiem (YAIR, 2003). Istotną właściwością glonów glebowych jest ich efemeryczny charakter rozwoju, co przejawia się w zdolności do szybkiego przejścia ze stanu spoczynku do stanu aktywnej vegetacji i odwrotnie, bez tworzenia form przetrwalnikowych i specjalnego stadium (GOLLERBAKH, SHTINA, 1969). Nadziemna skorupa glonowa wysycha w okresie suchym i szybciej wchłania wilgoć niż obumarła materia organiczna. Te właściwości glonów przyczyniają się m.in. do inicjacji procesów tworzenia się gleby i zarastania Pustyni Błędowskiej.

Naziemne glony glebowe spełniają o wiele ważniejsze funkcje w inicjalnych stadiach sukcesji niż rośliny naczyniowe. Znana jest kluczowa rola skorupy glonowej i biologicznej skorupy gle-

bowej w procesach formowania się ekosystemów na obszarach suchych i półsuchych (WEST, 1990; JOHANSEN, 1993; EVANS, JOHANSEN, 1999). Skoru-py te zmniejszają deflację (SHTINA, GOLLERBAKH, 1976; WEST, 1990; RAHMONOV, 1999), co pozwala z kolei na procesy inicjacji gleb i dalszy ich rozwój. Zwiększają także dostępność azotu w ekosystemach poprzez jego wiązanie (BELNAP i in., 1994; EVANS, LANGE, 2003; EVANS, BELNAP, 1999; BELNAP, 2003), hamują lub ułatwiają kiełkowanie nasion z glebowego banku nasion (ZAADY i in., 1997; RAHMONOV, 2001), stabilizują wilgotność gleby oraz stosunki wodne będące pod wpływem skorupy glonowej (YAIR, 1990; ELDRIDGE, 2003).

Płaty mszyste wywierają istotny wpływ na kształtowanie się gleby, ponieważ ich rola polega na przekazywaniu energii, wody i składników pokarmowych (CARTER, AROCENA, 2000). Zróżnicowany wpływ mszaków na mikroklimat gleby



Rys. 33. Ziarno piasku w sieci ryzoidów wraz z absorbowanymi minerałami

Fig. 33. Sand grain in nets of rhizoids with absorbed minerals

wiąże się z właściwościami fizjologicznymi poszczególnych gatunków mszaków, np. gatunki z rodzaju *Pleurozium* pobierają wodę i jony odżywcze z opadów atmosferycznych oraz z wody spływającej z koron gatunków naczyniowych, podczas gdy psammofilne gatunki z rodzaju *Polytrichum* są uzależnione od gleby jako pierwotnego źródła składników pokarmowych (CHAPIN i in., 1987). Na badanym terenie stwierdzono zatrzymywanie różnych minerałów przez okazy *Polytrichum piliferum*, zwłaszcza na powierzchni jego liści oraz w ryzoidach (rys. 33), które stanowią dodatkowe źródło biogenów (tabela 36) w przyszłości nie tylko dla innych organizmów, lecz także dla nich samych.

8.2. Glebotwórcze znaczenie wybranych roślin wyższych w strefie oddziaływania ich okapów

Struktura i architektura okapu pojedynczych gatunków ma znaczący wpływ na zróżnicowanie florystyczne (CORNETT, REICH, PUETTMANN, 1997; VAN PELT, FRANKLIN, 2000), zmiany środowiska glebowego (SKYLLBERG, RAULUND-RASMUSSEN, BORGGGAARD, 2001), interakcje pomiędzy okapem drzew oraz zmianami właściwości gleb w zakresie zawartości węgla (Corg), azotu (Nt), odczynu, kationów wymiennych (FINZI, VAN BREEMEN, CANHAM, 1998; FINZI i in., 1998a; CREWS, KURINA, VITOUSEK, 2001; DZIADOWIEC, POKOJSKA, 1989; BEDNAREK i in. 2002; FUJINUMA, BOCKHEIM, BLASTER, 2005) oraz rozmieszczenie materii organicznej i koncentrację składników pokarmowych (OVINGTON, MADGWICK, 1959; ALBAN, 1982; NORDÉN, 1994c; JOBBAGY, JACKSON, 2001; DZIADOWIEC, KWIATKOWSKA, WOŹNIAK, 2002). Akumulacja materii organicznej na powierzchni gleby stanowi jeden z najważniejszych czynników glebotwórczych i przyczynia się do formowania poziomów organicznych O (PRUSINKIEWICZ, BIGOS, 1978). Zapotrzebowanie na mineralne składniki pokarmowe oraz relacja roślina — gleba wykazują też zróżnicowanie w różnych strefach klimatycznych (WITKAMP,

1971; CHAPIN, 1980; LATHWELL, CROVE, 1986) i zależą od typów roślinności.

Dostępność składników pokarmowych w ekosystemach leśnych jest uzależniona od skutecznego cyklu biogeochemicznego w obrębie biogeocoenozy. W obrębie tego cyklu składniki powracają do gleby w postaci opadu roślinnego i tworzą poziom organiczny. W wyniku rozkładu i mineralizacji uwalniają się składniki pokarmowe, które są ponownie pobierane przez rośliny. Tempo humifikacji i mineralizacji materii organicznej zależy od temperatury, warunków wilgotnościowych, właściwości fizycznych i chemicznych materiału roślinnego dostarczanego do gleby oraz od obfitości organizmów rozkładających materię organiczną (DZIADOWIEC, 1990; DZIADOWIEC, KWIATKOWSKA, 1980; FACELLI, PICKETT, 1991; COÛTEAUX, BOTTNER, BERG, 1995). Szybkość rozkładu opadu roślinnego i tempo uwalniania składników odżywczych istotnie wpływają na heterogeniczność siedliska.

Okap drzewa wpływa na działanie tych czynników i stąd jego duże znaczenie w krążeniu składników pokarmowych. Okapy, zacinając powierzchnie, chronią je przed ekstremalnymi temperaturami. Zmieniają warunki mikrohydrologiczne rozpraszając opady atmosferyczne, zmniejszając lub zwiększając ilość śniegu oraz ubytek wody glebowej w drodze transpiracji. Okapy zmieniają też skład chemiczny opadu atmosferycznego przechodzącego przez niego, co może zwiększać lub zmniejszać koncentrację składników odżywczych, takich jak: N, P, K, Ca (LOVETT, LINDBERG, 1993; FERRARI, 1999). Gałęzie i liście w okapie są głównym „zbiornikiem” składników pokarmowych zatrzymujących je na miejscu (PRESCOT, 2002). Z tego powodu niejednokrotnie prowadzono badania nad składem chemicznym opadu roślinnego (liście, gałęzie, kora i inne) i ich wpływem na zasobność siedliska oraz funkcjonowanie w różnych ekosystemach (RODIN, BAZILEVICH, 1965; KWIATKOWSKA 1988; DZIADOWIEC, 1990; MIKRYAKOVA, 2001; PYANKOV, IVANOV, LAMBERS, 2001; KHARIN i in., 2001; READ i in., 2002; TAMMINEN, STARR, KUBIN, 2004). Badania wykonane przez W.A. KOVDĘ (1956) dotyczyły składu chemicznego różnych roślin i ich roli w procesie glebotwórczym, z kolei N.I. BAZILEVICH (1955) analizowała udział pierwiastków w krążeniu biologicznym i bioproduktywności ekosystemów w różnych strefach klimatycznych.

8.2.1. Wpływ sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

Zróznicowanie poziomu organicznego i próchnicznego — poletko I

Analizę zróznicowania poziomów organicznego i próchnicznego prowadzono pod okapem biogrupy sosnowej (poletko I), która powstała w cieniu okapu 29-letniej *Salix acutifolia*. Obecnie ma ona 9-letnie odrosty, a jej najstarsze obumarłe części występują na powierzchni gruntu w postaci pni o różnym stopniu rozkładu. W biogrupie sosnowej najstarszy okaz ma 23 lata i tworzy największy okap, inne okazy o biocenotycznym znaczeniu mają 11 i 19 lat. Na tej podstawie można stwierdzić, że współczesny poziom organiczny i próchniczny formował się zaledwie w ciągu niespełna 30 lat. Jest to bardzo krótki okres z punktu widzenia procesu tworzenia się gleby. Pod okapem sosny flora jest uboga, pojedynczo występują tylko gatunki borowe (rys. 21).

Na podstawie analizy morfologicznej i stopnia przetworzenia materii organicznej wyróżniono dwa podpoziomy w obrębie poziomu organicznego. Podpoziom surowinowy (Ol) składa się głównie z opadu sosnowego (igły, szyszki, kora, gałęzie) i jest bardzo słabo przekształcony. Największą miąższość osiąga blisko pnia w obu transektach o kierunkach N-S i W-E, a zmniejsza się wraz z oddalaniem się od pnia drzewa (rys. 34). W podpoziemiu butwinowym (Of) materia organiczna jest bardziej przetworzona, obserwuje się już strzępki grzybów. Występują one blisko pnia lub na skraju okapu, nieregularnie i nieciągłe. W transekcie o kierunku W-E (próbki 1, 2, 3, 7, 8, 9) wyróżniono poziom OA zbudowany z ziaren piasku oblepionych glonami, bez udziału roślin naczyniowych. Pnie leżące na powierzchni stwarzają dogodne mikrosiedlisko dla glonów, a te z kolei stają się ważnym źródłem próchnicy, kiedy zaczną obumierać w okresie niedostatku wilgoci pod koniec maja i na początku czerwca.

Miąższość poziomu próchnicznego wykazuje zależność od miąższości poziomu organicznego oraz od odległości od podstawy pnia sosny. Największa miąższość wynosi ok. 6 cm (rys. 34)

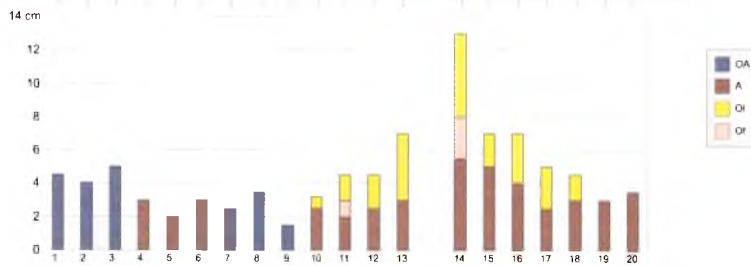
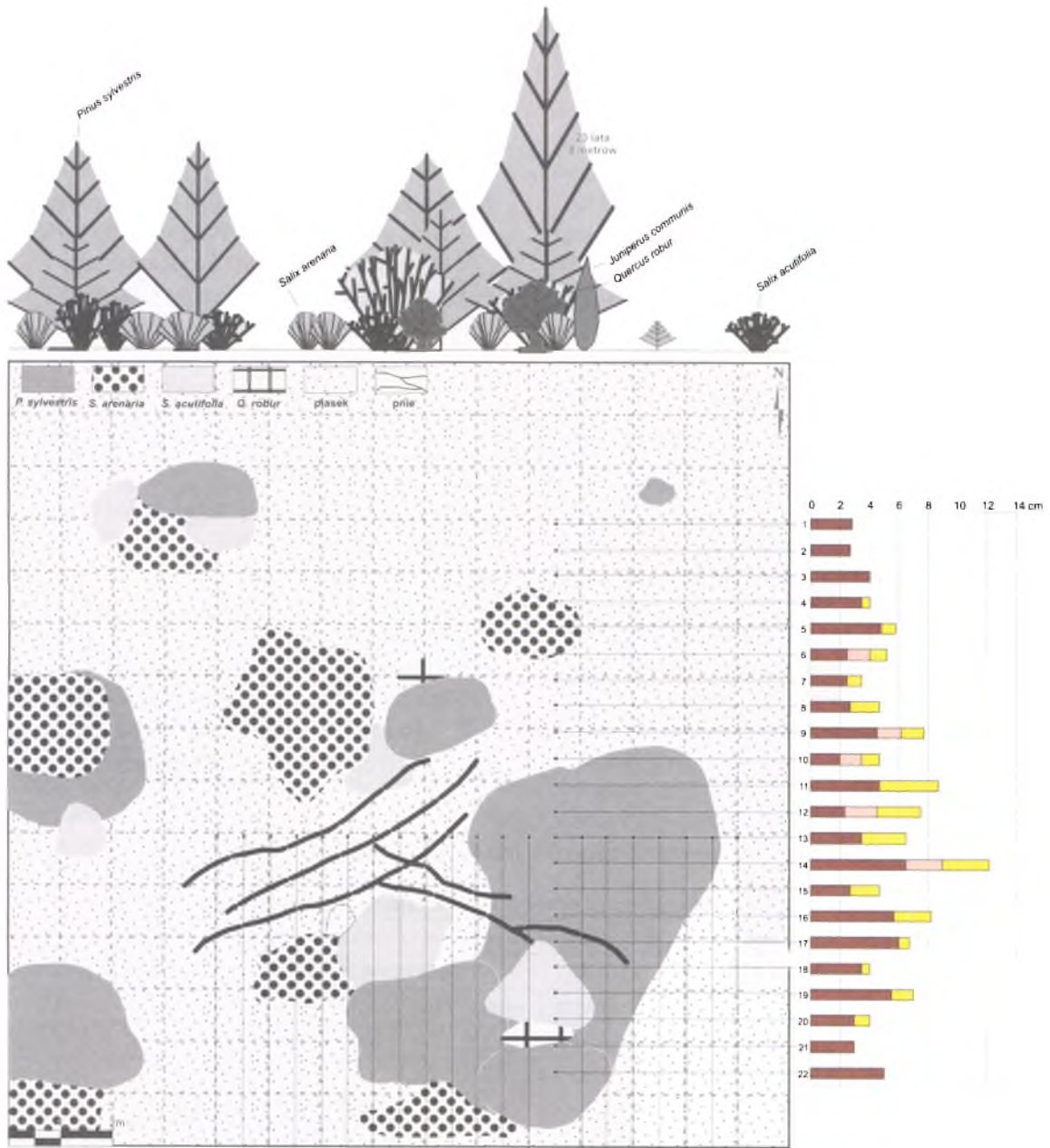
i występuje na najstarszej powierzchni w obrębie okapu. W czasie zasiedlania się tego egzemplarza sosny sąsiednie obszary nie były jeszcze porośnięte. W miarę rozwoju drzewa i jego rozrastania się zwiększa się okap i jego powierzchnia i — co za tym idzie — dostarczanie opadu roślinnego oraz formowanie się poziomów glebowych. Jak wynika z wykresów i planu rozmieszczenia roślinności pod okapem (rys. 21, 34), rozkład materii organicznej pod sosną zwyczajną jest niewielki, co świadczy o słabym rozwoju flory grzybowej.

Z podpoziomów organicznych (Ol i Of) w pobliżu pnia najstarszego okazu sosny pobrano mieszaną próbkę, która charakteryzowała się odczynem kwaśnym (pH w H₂O — 4,16, w KCl — 3,72). Zawartość węgla organicznego wynosiła 25%, azotu ogólnego 0,787%, a stosunek C/N równał się 31. Ilość fosforu przyswajalnego była bardzo niska i wynosiła 6 mg · 100 g⁻¹ gleby.

Skład chemiczny opadu *Pinus sylvestris* i *Juniperus communis*

Opad sosnowy, zwłaszcza kora, jest bardzo kwaśny (pH w wodzie wynosi 3,54 i 2,86 w KCl). W pozostałych próbkach zakres pH mieści się odpowiednio w przedziałach 3,74—4,33 oraz 3,26—3,86 (tabela 37). Zawartość Corg we wszystkich frakcjach opadu jest podobna. Najwięcej azotu ogólnego występuje w liściach świeżych (1,09%), a znacznie mniej w opadłych (0,512%). Szyszki i kora zawierają podobne koncentracje tego pierwiastka, a stosunek C/N jest szeroki, zwłaszcza w korzeniach, co jest uwarunkowane średnicą korzeni (badany korzeń miał średnicę około 2 cm). Im większa średnica korzenia, tym większy stosunek węgla do azotu (PLICHTA, 1981). Przeciętna wartość C/N martwego opadu sosny wynosi około 100 : 1.

Liście zielone charakteryzują się wyższymi zawartościami badanych pierwiastków niż liście opadłe, poza Fe, co wynika z procesu retranslokacji przed zrzućciem liści. Wśród pierwiastków w liściach zielonych największą zawartością cechuje się Ca, w liściach opadłych, szyszkach i korze — K, a w korzeniach — Si (tabela 37). Zawartość badanych pierwiastków w poszczegół-



Rys. 34. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchniczego (OA), organicznego (O) i próchniczego (A) w biogrupie sosnowej

Fig. 34. The spatial variability of organic-humus (OA), organic (O) and humus (A) horizons in pines biogroup

nych organach pod względem dominacji można uszeregować następująco:

Liście zielone: Ca>K>P>Na>Mg>Al>Si>Fe

Liście opadłe: K>Ca>Na>Fe>P>Al>Mg

Szyszki: K>Na>Ca>Fe>Mg>P>Al

Kora: K>Ca>Fe>Na>Al>P>Mg

Korzenie: Si>Ca>K>Fe>Al>Na>Mg>P

Żelazo i glin występujące w korzeniach najczęściej mają pochodzenie glebowe. Wydzieliny korzeniowe kompleksują żelazo, rozpuszczają je i następnie dochodzi do wytrącania się Fe na powierzchni oraz wokół korzeni, którym nadaje charakterystyczną barwę. Jak wynika z tabeli 37, opad sosny zwyczajnej jest dość ubogi w składniki pokarmowe, a powolne tempo jego rozkładu nie sprzyja uwalnianiu się składników pokarmowych. To z kolei wpływa negatywnie na zasobność gleby i pośrednio na skład florystyczny pod okapem.

W obrębie badanego poletka występuje także *Juniperus communis*, którego skład chemiczny wywiera znaczący wpływ na pH oraz zasobność gleby. Odczyn liści zielonych i opadłych u jałowca pospolitego też jest bardzo kwaśny, wartości pH zarówno w wodzie, jak i w KCl są o 1 jednostkę wyższe od pH opadu *Pinus sylvestris*.

Stosunek C/N w liściach zielonych jest podobny jak u sosny, a w przypadku liści opadłych jest znacznie niższy (tabela 38).

Pod względem zawartości pierwiastków o charakterze pokarmowym (P, N, Ca, Mg, K) gatunek ten również odznacza się wyższymi wartościami (tabela 38), a uszeregować je można następująco:

Liście zielone: Ca>K>Mg>Si>P>Fe>Na>Al

Liście opadłe: Ca>Si>Fe>K>Al>Mg>Na>P

Korzenie: Ca>Si>K>Fe>Al>Na>Mg>P

Największą zawartość wapnia, krzemu, sodu, żelaza i glinu stwierdzono w liściach opadłych. Jest to uwarunkowane przekształcaniem opadu przez mikroorganizmy oraz dostawą pewnych składników mineralnych przez wiatr pod okap i na ściółkę jałowcową. Okap jałowca ma jajowaty kształt, co ułatwia gromadzenie się dodatkowej substancji allochtonicznej u jego podnóża, która ma niewątpliwie wpływ na skład chemiczny opadu autochtonicznego. Przyczynę występowania dużej koncentracji pierwiastków na opadłych liściach wyjaśnia w ten sposób także H. DZIADOWIEC (1990). Dodatkowym źródłem pierwiastków może być dostawa atmosferyczna sucha oraz mokra. Istotność tego źródła jest niezaprzeczalna w zwią-

Tabela 37

Skład chemiczny wybranych frakcji opadu *Pinus sylvestris*

Table 37

The chemical composition of selected litter fractions of *Pinus sylvestris*

Nazwa próbki	C	N	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al	Si	pH	
	[%]			[mg · kg s.m. ⁻¹]									H ₂ O
Liście zielone	50,7	1,09	46	908	4672	684	3464	696	188	462	314	3,85	3,75
Liście opadłe	48,7	0,512	95	360	980	193,5	3300	680	660	223,7	n.o	3,74	3,46
Szyszki	49,5	0,411	120	80	281,6	172,4	3600	500	240	77,8	n.o	4,06	3,26
Kora	48,7	0,415	117	180	795,9	167,8	2200	570	690	270,8	n.o	3,54	2,86
Korzenie	50,0	0,335	149	556	2678	730	2176	1024	1724	1276	4556	4,33	3,86

Tabela 38

Skład chemiczny wybranych frakcji opadu *Juniperus communis*

Table 38

The chemical composition of selected litter fractions of *Juniperus communis*

Nazwa próbki	C	N	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al	Si	pH	
	[%]			[mg · kg s.m. ⁻¹]									H ₂ O
Liście zielone	56,7	1,17	48	1092	6862	1624	5630	410	438	339	1236	4,8	4,3
Liście opadłe	53,8	0,882	61	484	11916	1470	2376	514	3356	1988	5446	4,71	4,41
Korzenie	42,3	0,303	139	324	7610	624	3008	690	2814	2488	4344	4,57	4,06

ku z bliskością emitorów zanieczyszczeń przemysłowych (JABŁOŃSKA, 2000). Ponadto, jałowiec nie tworzy specjalnego okapu dającego cień i dlatego bezpośrednio przy nim mogą rosnąć gatunki traw, których opad ma wpływ zarówno na skład chemiczny opadu jałowca, jak i na odczyn gleby, co wyraźnie widać w próbkach glebowych pobranych w jego okolicach (rys. 35).

Właściwości chemiczne poziomu próchnicznego pod okapem *Pinus sylvestris*

Odczyn kształtującej się gleby jest wyraźnie uwarunkowany wpływem gatunków roślin i ich dostawą opadową. Odczyn gleby jest bardzo kwaśny w KCl na całej linii transektu w obrębie poletka, a najniższą wartość osiąga bezpośrednio w centralnej części okapu 23-letniej sosny (4,26 w KCl), w pozostałych miejscach zaś oscyluje w granicach 4,5—4,8 (rys. 35). Wyższe wartości są związane z wierzbami, dębem szypułkowym oraz powierzchniami otwartymi zasiedlonymi przez glony lub z płatami muraw strzęplicowych. W kępach wierzbowych znajduje się opad pochodzenia allochtonicznego, który niewątpliwie będzie miał wpływ na kształtowanie kwasowości gleby.

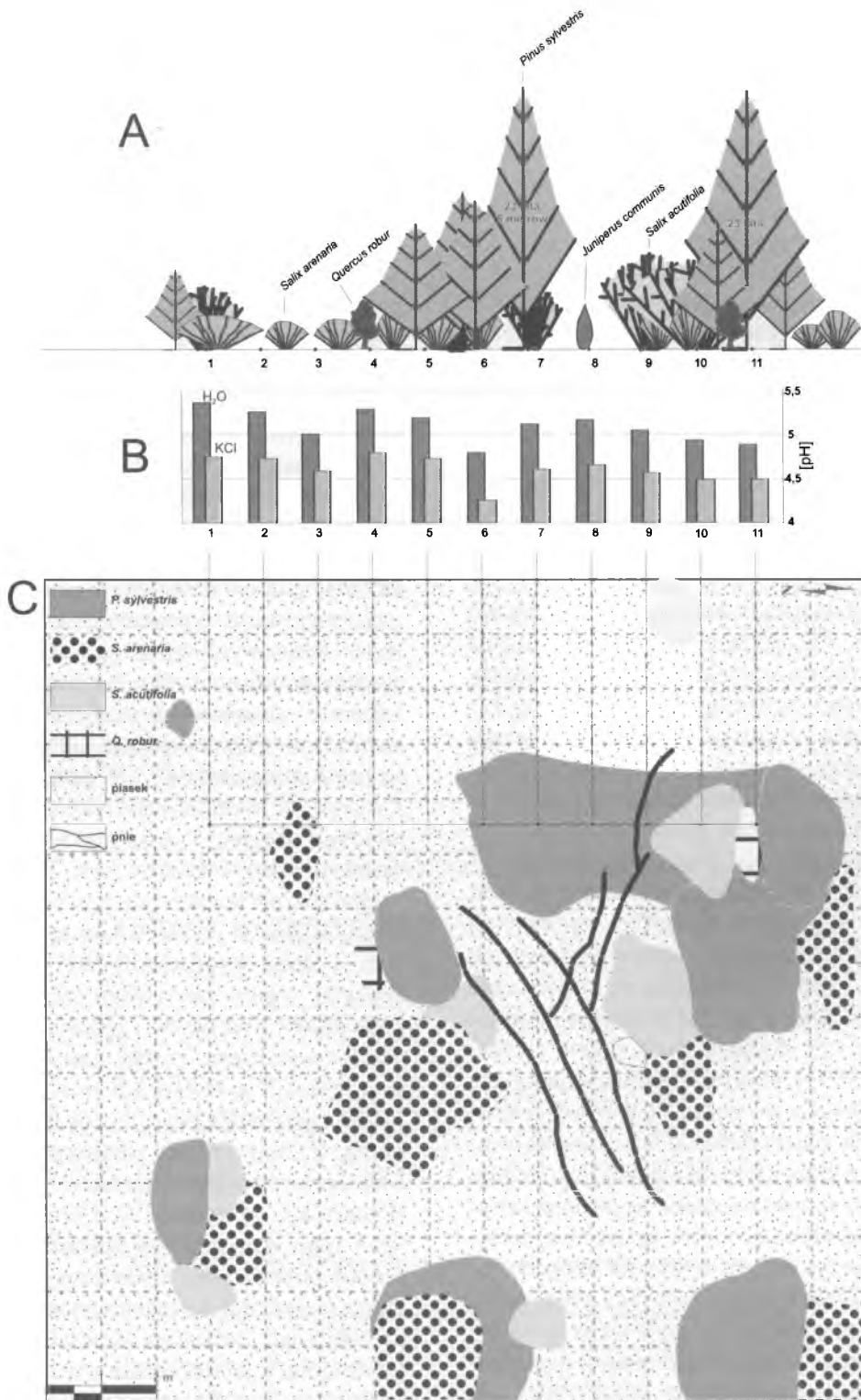
Zakwaszeniu gleb pod *Pinus sylvestris* zazwyczaj towarzyszy akumulacja próchnicy typu mor. Badania nad wieloma gatunkami iglastymi wykazały, że pH wierzchnich poziomów mineralnych i akumulacja materii organicznej na powierzchni wykazują cykliczny trend naśladujący cykl życia drzewostanu czy pojedynczych drzew (SIREN, 1955; PAGE, 1971). Powierzchniowa akumulacja biomasy i zakwaszenie wzrastają w miarę rozwoju drzewa oraz zwiększania się ilości produkowanego opadu, z jednoczesnym słabym jego rozkładem. Okazy te mocno narażone na promieniowanie słoneczne, chroniąc siebie przed nim, przyjmują formę przysadzistą, w wyniku czego korona zamyka się wokół pojedynczego pnia, gdzie mikroklimat w obrębie korony i gleby staje się mniej odpowiedni dla rozkładu materii organicznej. Podczas gdy drzewostan przekształca się z gęstego w rzadki (np. wiatrołom, obumieranie drzew), następuje odwrócenie tych trendów, zaawansowanie stadium sukcesji i w efekcie konku-

rencja międzygatunkowa oraz wewnątrzpopulacyjna (MILES, 1985).

Zawartość Corg pod okapem jest zróżnicowana: największe wartości osiąga pod sosną (próbka 6) i na granicy oddziaływania okapu wierzby ostrolistnej (próbki 8, 9). Z kolei azot ogólny (Nt) cechuje się najwyższą zawartością pod wierzbą, a następnie sosną (rys. 36). Stosunek węgla do azotu (C/N) generalnie jest wysoki, a najwyższy pod okapami sosen. Wskaźnik ten, świadczący o mineralizacji materii organicznej, potwierdza obserwowany makroskopowo bardzo słaby stopień rozkładu. Tym samym występujące tam składniki są obecnie prawie niedostępne dla organizmów. Fosfor przyswajalny w nieco większych ilościach występuje w strefie okapowej, zwłaszcza wierzbowej i jałowcowej, i ma pochodzenie organiczne, powstał bowiem w wyniku mineralizacji biologicznej opadu wymienionych gatunków.

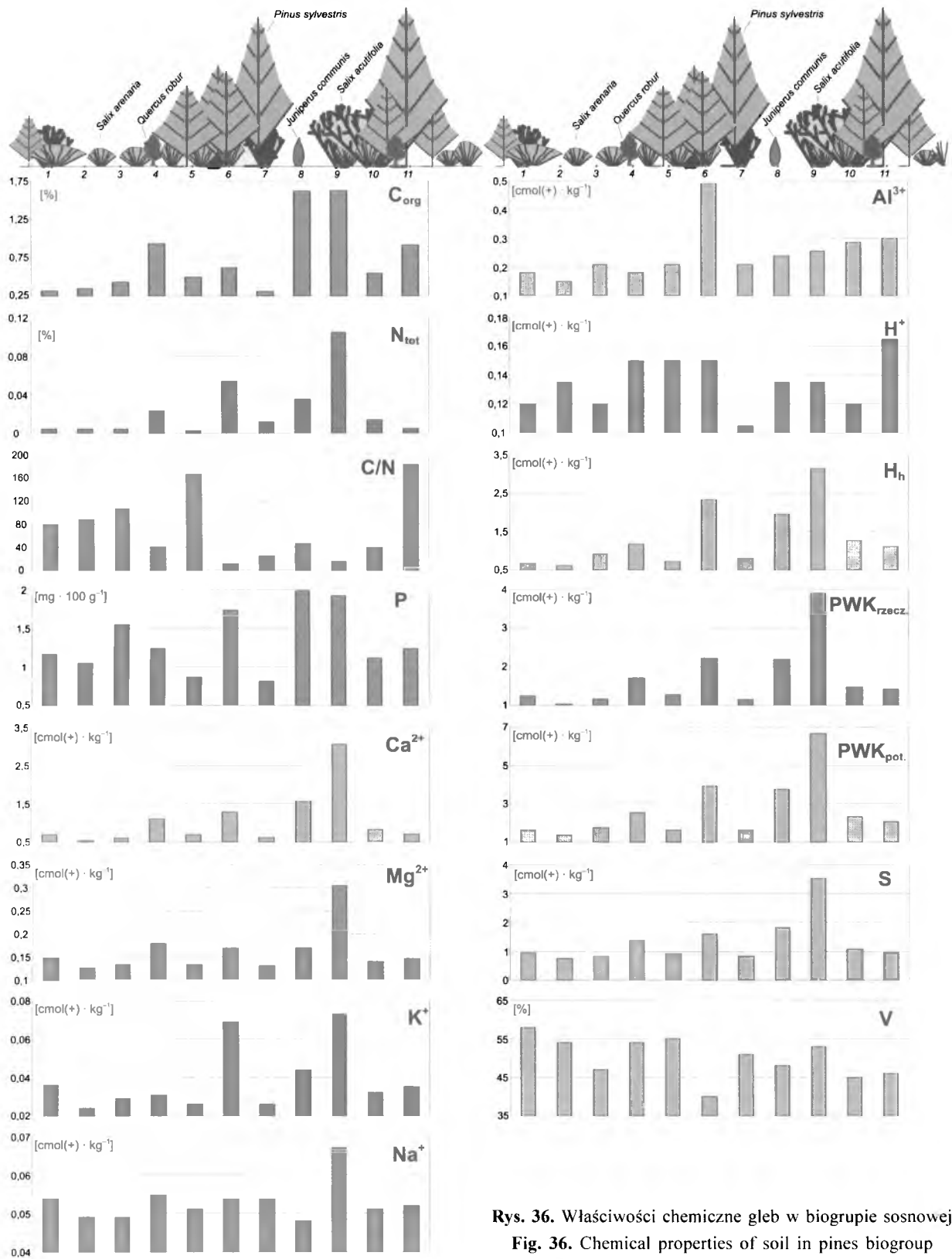
Występowanie wymiennych kationów zasadowych i kwasowych wykazuje ścisły związek z badanymi gatunkami roślin. Największe zawartości kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} i Na^{+}) stwierdzono pod wierzbami i częściowo pod jałowcem, natomiast Al^{3+} i H^{+} pod okazami sosen. Kwasowość hydrolityczna z kolei jest niska pod młodymi okapami i nieco większa pod starszymi okazami sosny i wierzby (rys. 36).

Dodatkowo w materiale z poziomu próchnicznego, w trakcie przesiewania przez sito o średnicy 1 mm, wyodrębniły się grubofrakcyjne szczątki organiczne (fragmenty gałęzi, liście z gatunków liściastych i iglastych), które także poddano analizom. Próbki te miały odczyn kwaśny (pH 4,3 w H_2O i 3,8 w KCl). Zawartość fosforu przyswajalnego wynosiła $9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby, a Corg i azotu ogólnego odpowiednio 24% (przy stratach prażenia 45,5%) i 0,688%. Wskaźnik C/N wynosił 35. Porównywalne wartości tego wskaźnika w opisanej tu mieszanej próbce podpoziomu organicznego (C/N — 31) mogą świadczyć o słabych procesach rozkładu zarówno nad poziomem mineralnym, jak i w jego obrębie, a jednocześnie o małym udziale organizmów saprofitycznych. Podobne materiały znajdują się nie tylko w strefie okapowej, lecz także poza nią. Świadczy to o udziale substancji allochtonicznej o innym charakterze niż



Rys. 35. Poletko badawcze w biogrupie sosnowej
 A — struktura pionowa, B — odczyn gleby, C — powierzchnia okapów drzew i krzewów

Fig. 35. Investigation plot in pine biogroup
 A — vertical structure, B — soil reaction, C — canopies areas of trees and bushes



Rys. 36. Właściwości chemiczne gleb w biogrupie sosnowej
Fig. 36. Chemical properties of soil in pines biogroup

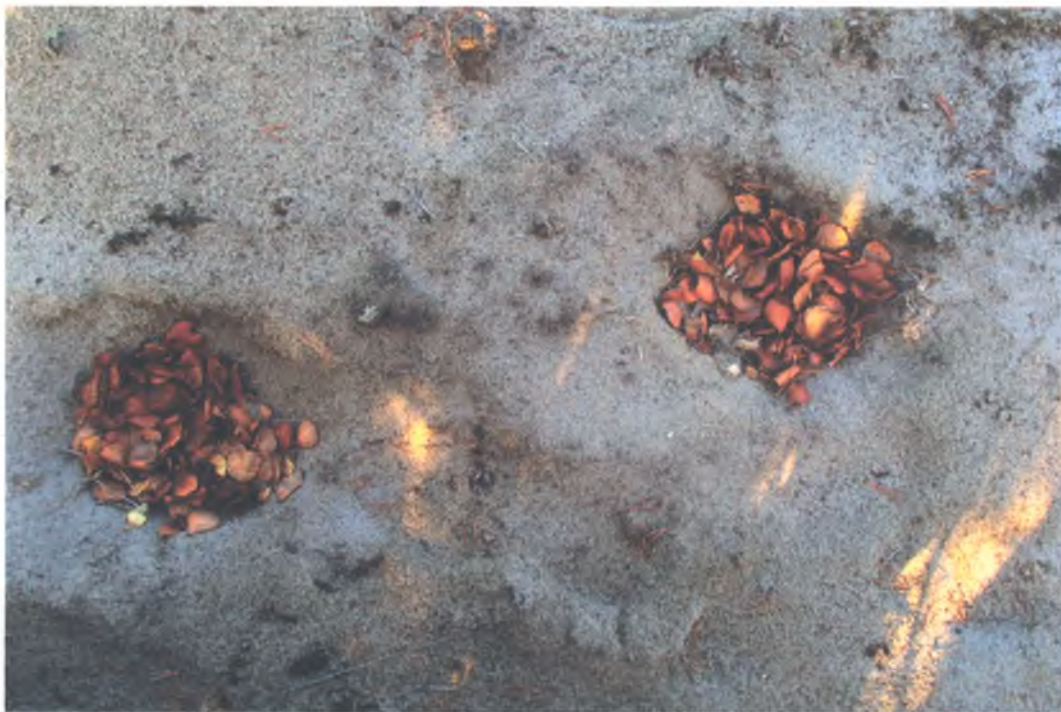
gatunek tworzący okap. Tego typu opad roślinny pogrzebany w piasku często pozbawionym roślinności ma znaczący udział zarówno w inicjacji sukcesji roślinnej, jak i glebowej, stanowiąc w ten sposób ogniwo sukcesji (fot. 29). Allochtoniczne substancje zatem odgrywają istotną rolę w procesie formowania się poziomów organicznych, mogą też znacząco wpływać na inne cechy gleby, zwłaszcza na obszarze piaszczystym (BEDNAREK, 1979).

8.2.2. Wpływ brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*), wierzby ostrolistnej (*Salix acutifolia*) i wierzby piaskowej (*S. arenaria*)

Zróznicowanie poziomu organicznego i próchnicznego — poletko II

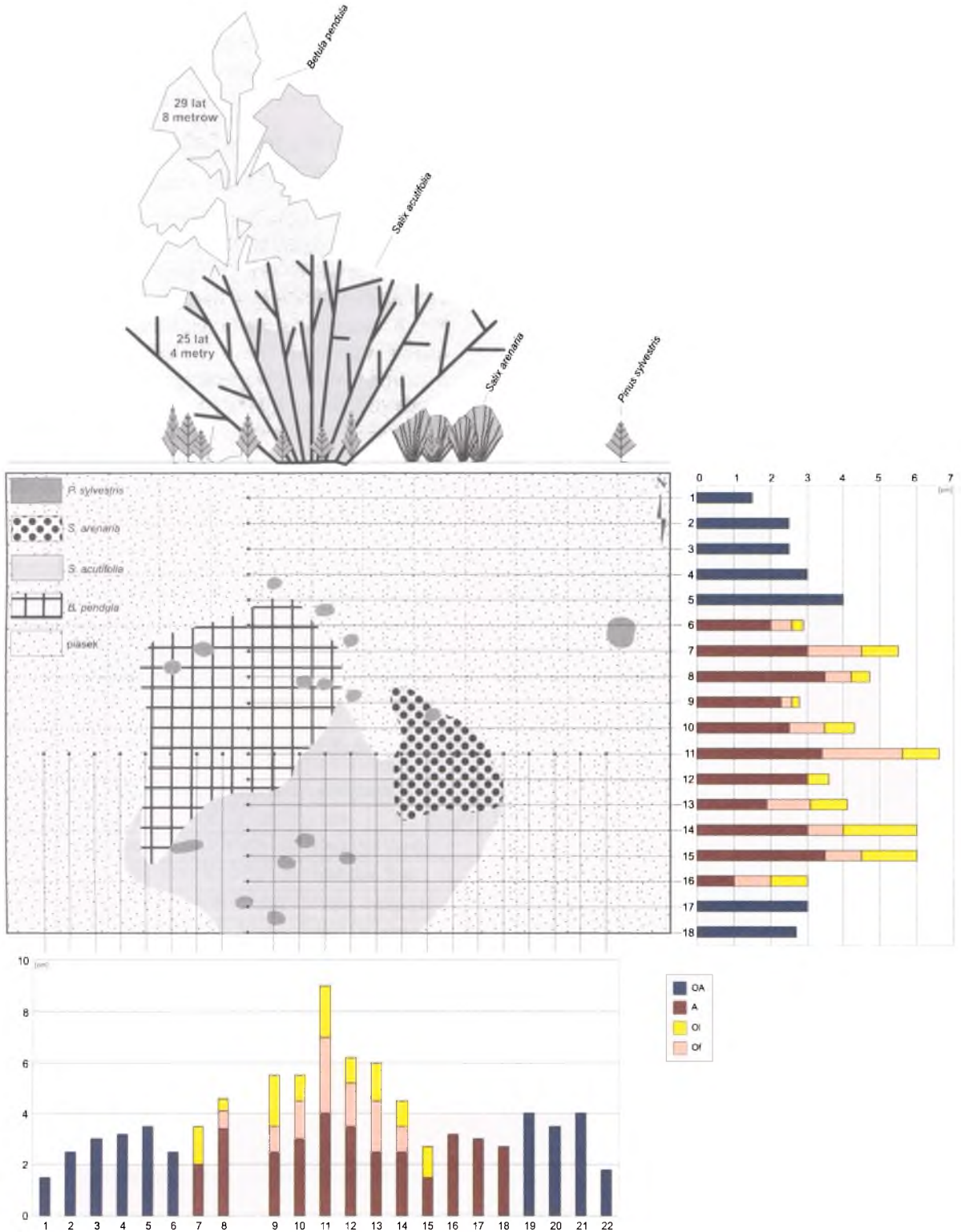
Na piaszczystym obszarze Pustyni Błędowskiej wszystkie szczątki obumarłych roślin i materia organiczna znajdują się zwykle pod okapem

drzew i krzewów. Pod okapem *Betula pendula* (29 lat), *Salix acutifolia* (25 lat) i *S. arenaria* (16 lat) — poletko II — w ekosystemie piaszczystym Pustyni Błędowskiej poziomy organiczny i próchniczny tworzyły się blisko 30 lat. Poziom organiczny jest tu zróżnicowany na podpoziomy: surowinowy (Ol) i butwinowy (Of). Nie sposób wyróżnić podpoziomu epihumusowego (Oh) ze względu na jego występowanie w rozproszeniu w postaci soczewek. W strefie pozaokapowej wyodrębniono poziom OA składający się z mieszaniny materiału próchnicznego i plech glonowych, rozpoznawanych na podstawie zielonego nalotu glonowego. Zasięg podpoziomu surowinowego ogranicza się bezpośrednio do okapów badanych gatunków, a jego maksymalna miąższość dochodzi do 2 cm (tylko w dwóch przypadkach) na transektach o kierunku N-S i W-E w próbkach oznaczonych odpowiednio jako 14 i 11 (rys. 37). Pod sosną zwyczajną podpoziom ten (Ol) osiągał 5 cm, a średnia miąższość (z 9 prób) tego podpoziomu w całym okapie wynosiła 2 cm (rys. 34). W strefie okapowej wyraźnie obserwuje się względnie szybki rozkład materii organicznej, czego przejawem jest występowanie podpoziomu



Fot. 29. Nagromadzenie substancji allochtonicznej w zagłębieniach terenu (fot. autor)

Phot. 29. Accumulation of allochthonous substances in hollow site (phot. author)



Rys. 37. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchnicznego (OA), organicznego (O) i próchnicznego (A) w biogrupie wierzbowo-brzozowej

Fig. 37. The spatial variability of organic-humus (OA), organic (O) and humus (A) horizons in willow-birch biogroup

Of na prawie całej długości okapów wierzby ostrolistnej i brzozy brodawkowatej w każdym kierunku (N-S, E-W) (rys. 37).

Podobnie jak w poprzednim przypadku, jako próbkę mieszaną przeanalizowano niektóre właściwości chemiczne podpoziomów organicznych pochodzących spod okapu brzozy i wierzby. Ich odczyn ma charakter bardzo kwaśny (w roztworze wodnym pH = 4,7, w roztworze KCl pH = 4,5). Zawartość węgla organicznego i azotu wynosi odpowiednio 46% i 1,32%, fosforu przyswajalnego — 12 mg · 100 g⁻¹ gleby, a stosunek węgla do azotu (C/N) — 34. Zawartość azotu i fosforu pod wierzbami i brzozą w poziomie organicznym jest wyższa niż pod sosnami.

Oddzielony materiał organiczny (> 1 mm) z poziomu próchnicznego też charakteryzował się kwaśnym odczynem (w roztworze wodnym pH równało się 4,4, a w roztworze KCl — 4,1). Zawartość Corg i Nt wynosiła odpowiednio 16% i 1,17%, a fosforu przyswajalnego — 10 mg · 100 g⁻¹ gleby.

Poziom próchniczny A jest miększy w każdym przypadku w pobliżu pni badanych gatunków. Gatunki te, a zwłaszcza wierzby, nie wpuszczają korzeni głęboko (z powodu ubóstwa materiału gle-

bowego), lecz rozmieszczają je poziomo w strefie odpowiadającej poziomowi próchnicznemu, który dostarcza im składników pokarmowych.

Skład chemiczny opadu *Salix acutifolia*, *S. arenaria* i *Betula pendula*

Zawartość węgla organicznego we wszystkich badanych próbkach *Salix acutifolia* oscyluje w zakresie 48,1—52,7%, przy czym najwięcej tego pierwiastka jest w liściach opadłych (tabela 39). Koncentracja azotu ogólnego w korze, w liściach opadłych oraz zielonych (pobranych w pełnym okresie wegetacyjnym) wynosi odpowiednio: 1,35%, 1,71% i 1,49%, a stosunek C/N w tkankach tych frakcji opadu waha się pomiędzy 30 a 36. Zawartość azotu i fosforu jest większa w liściach opadłych niż w zielonych. Zawartość poszczególnych pierwiastków w badanych organach można uszeregować następująco:

Liście zielone: Ca>K>Mg>P>Si>Na>Fe>Al

Liście opadłe: K>P>Na>Ca>Mg>Fe>Al

Kora: K>Fe>P>Na>Ca>Al

Gałązki: K>Fe>Na>Ca>P>Mg>Al

Korzenie: Ca>K>Si>Fe>Al>P>Mg>Na

Tabela 39

Skład chemiczny wybranych frakcji opadu *Salix acutifolia*, *S. arenaria* i *Betula pendula*

Table 39

The chemical composition of selected litter fractions of *Salix acutifolia*, *S. arenaria* and *Betula pendula*

Nazwa próbki	C	N	C/N	[mg · kg ⁻¹ s.m.]								pH	
	[%]			P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al	Si	H ₂ O	KCl
	<i>Salix acutifolia</i>												
Liście zielone	48,1	1,490	32	1176	14 720	2672	12 292	516	184	102	788	5,43	5,32
Liście opadłe	52,7	1,710	30	2260	1377	693,8	9500	1700	360	43,4	n.o.	5,90	5,44
Kora	48,7	1,350	36	800	387	168,0	4000	390	1960	310	n.o.	3,48	2,81
Gałązki	49,4	0,630	78	180	247	124,8	2500	530	780	74,7	n.o.	3,53	2,89
Korzenie	51,7	0,353	146	772	5906	712	3872	428	1160	978	3384	5,12	4,60
<i>Salix arenaria</i>													
Liście zielone	54,8	1,510	36	1500	14074	3680	5614	2484	264	235	864	5,28	5,21
Liście opadłe	55,2	1,270	43	n.o.	12694	3276	3582	348	430	368	890	5,25	5,07
Gałązki	55,1	0,708	78	n.o.	3752	290	592	256	578	504	214	4,29	3,76
Korzenie	44,9	0,389	115	n.o.	9310	816	3830	1026	1628	1412	10592	5,13	4,61
<i>Betula pendula</i>													
Liście zielone	56,3	1,980	28	1868	8741	2033	4922	742	154	170	604	4,96	4,70
Liście opadłe	51,3	0,776	66	472	15302	2662	1358	328	324	232	676	4,66	4,46
Korzenie	42,9	0,485	88	552	4312	530	2404	2532	1124	1256	11452	4,68	4,16

Poza korzeniami glin we wszystkich próbkach zajmuje ostatnie miejsce w szeregu (tabela 39). W każdym organie dominują pierwiastki o charakterze zasadowym, zwłaszcza w liściach. Odczyn liści *Salix acutifolia* jest mniej kwaśny niż u *Betula pendula*. Obserwuje się wyraźny związek odczynu z zawartością wapnia w tych organach: w liściach wysoka zawartość wapnia odpowiada mniej kwaśnemu odczynowi, natomiast w korze i gałązkach niska zawartość wapnia daje odczyn skrajnie kwaśny.

Skład chemiczny *Salix arenaria* pod względem zawartości pierwiastków w niektórych przypadkach różni się od składu chemicznego *Salix acutifolia* (tabela 39). Jednakże wykazuje też pewne wspólne cechy gatunkowe, jak np. dużą zawartość wapnia w liściach i odzwierciedlenie tego w ich odczynie. Corg wykazuje podobieństwo we wszystkich próbkach, poza korzeniami, co ma związek ze znaczną zawartością krzemu (Si). Zawartość azotu ogólnego w liściach zielonych wynosi 1,51%. We wszystkich organach poza korzeniami dominuje wapń, którego wpływ uwidacznia się zarówno w odczynie materiału roślinnego (tabela 39), jak i we właściwościach gleby.

Uszeregowanie ilościowe pierwiastków w badanych organach *S. arenaria* przedstawia się następująco:

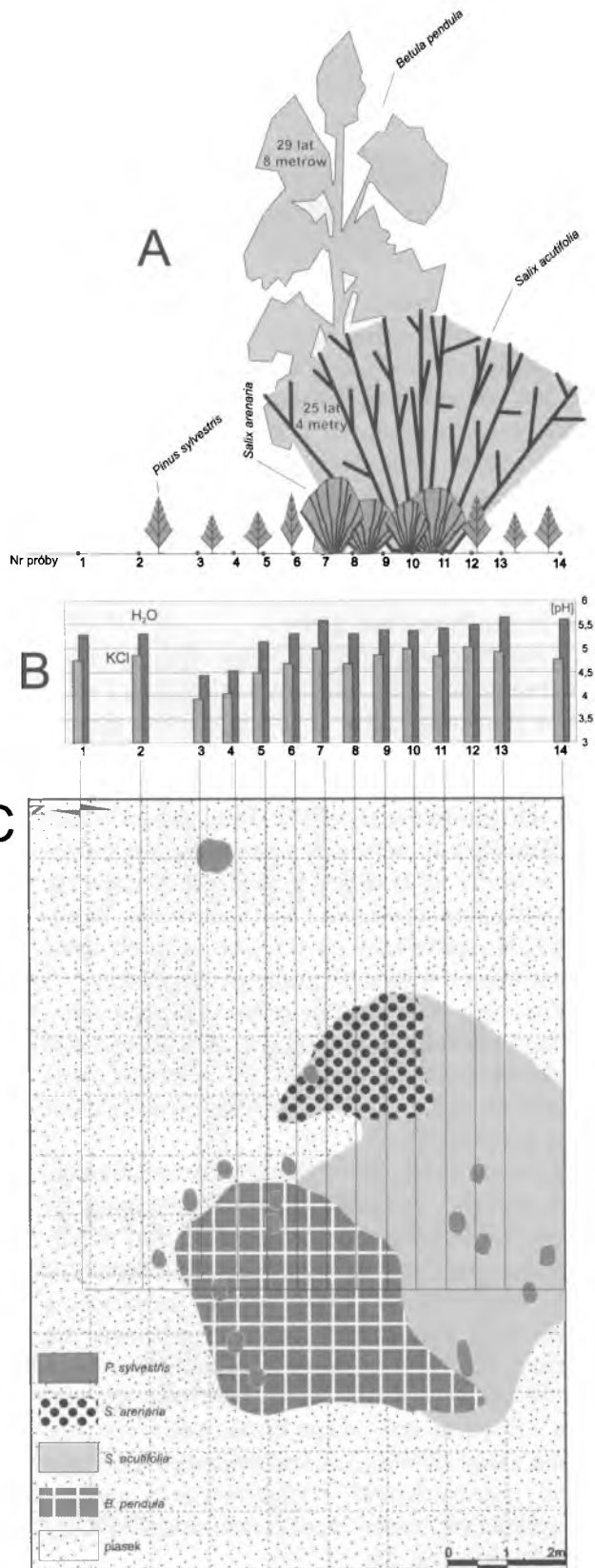
Liście zielone: Ca>K>Mg>Na>P>Si>Fe>Al
 Liście opadłe: Ca>K>Mg>Si>Fe>Al>Na
 Gałązki: Ca>K>Fe>Al>Mg>Na>Si
 Korzenie: Si>Ca>K>Fe>Al>Na>Mg

Zawartość większości badanych pierwiastków w brzozie brodawkowatej *Betula pendula*, w przeciwieństwie do badanych gatunków wierzby (*Salix acutifolia*, *S. arenaria*), jest nieco mniejsza (tabela 39). Gatunek ten charakteryzuje podobne uszeregowanie ilościowe pierwiastków jak wierzba piaskowa:

Rys. 38. Poletko badawcze w biogrupie wierzbowo-brzozowej

A — struktura pionowa, B — odczyn gleby, C — powierzchnia okapów drzew i krzewów

Fig. 38. Investigation plot in willow-birch biogroup
 A — vertical structure, B — soil reaction, C — canopies areas of trees and bushes



Liście zielone: Ca>K>Mg>P>Na>Si>Fe>Al

Liście opadłe: Ca>Mg>K>Si>P>Na>Fe>Al

Korzenie: Si>Ca>Na>K>Al>Fe>Mg>P

Właściwości chemiczne poziomu próchnicznego pod okapem *Betula pendula*, *Salix acutifolia* i *S. arenaria*

Odczyn badanych gleb w poziomie A ma charakter bardzo kwaśny (punkt 3, 4), kwaśny i słabo kwaśny (rys. 38). Bardzo kwaśny odczyn tych próbek jest związany z występowaniem ok. 8-letniej sosny zwyczajnej, która w okapie brzożowym tworzy swój własny podokap wraz z opadem, wpływającym bardziej zakwaszająco niż opad brzożowy. W początkowym etapie sukcesji ważny jest efekt pojedynczych gatunków ze względu na ich dominujący wpływ na właściwości fizykochemiczne gleby.

Zawartość węgla organicznego wykazuje zróżnicowanie w strefie oddziaływania okapu i waha się w granicach 0,281—0,909%. Większa akumulacja Corg następuje pod okapem brzoży brodawkowej i w strefach pokrywania się okapów badanych gatunków (rys. 39). Jeśli chodzi o azot ogółem (Nt), to największą zawartość stwierdzono w strefie zachodzących na siebie okapów (tj. 0,011%) *Betula pendula* i *Salix acutifolia*. Stosunek C/N jest wyższy na skrajach okapów, natomiast niższy w jego centralnych częściach.

Znaczącą ilość fosforu przyswajalnego zanotowano w strefie poza okapem, związanej z piaskami oblepionymi glonami. Jej centralna część charakteryzuje się nieco niższymi zawartościami tego pierwiastka (rys. 39).

Kationy wymienne o charakterze zasadowym w poziomie A wykazują zróżnicowanie zawartości w linii transektu, a ich kolejność pod względem dominacji można uszeregować następująco: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. Największą zawartością wszystkich wymiennych kationów odznacza się poziom próchniczny w strefach zachodzenia na siebie okapów, a dodatkowo wyróżnia się pod tym względem skraj okapu brzożowego (rys. 39). Suma zasad i PWK_{pot} charakteryzują się podobnymi zależnościami. Zróżnicowanie stopnia wysycenia kationami zasadowymi oraz $\text{PWK}_{\text{rzecz}}$ przedstawia rys. 39.

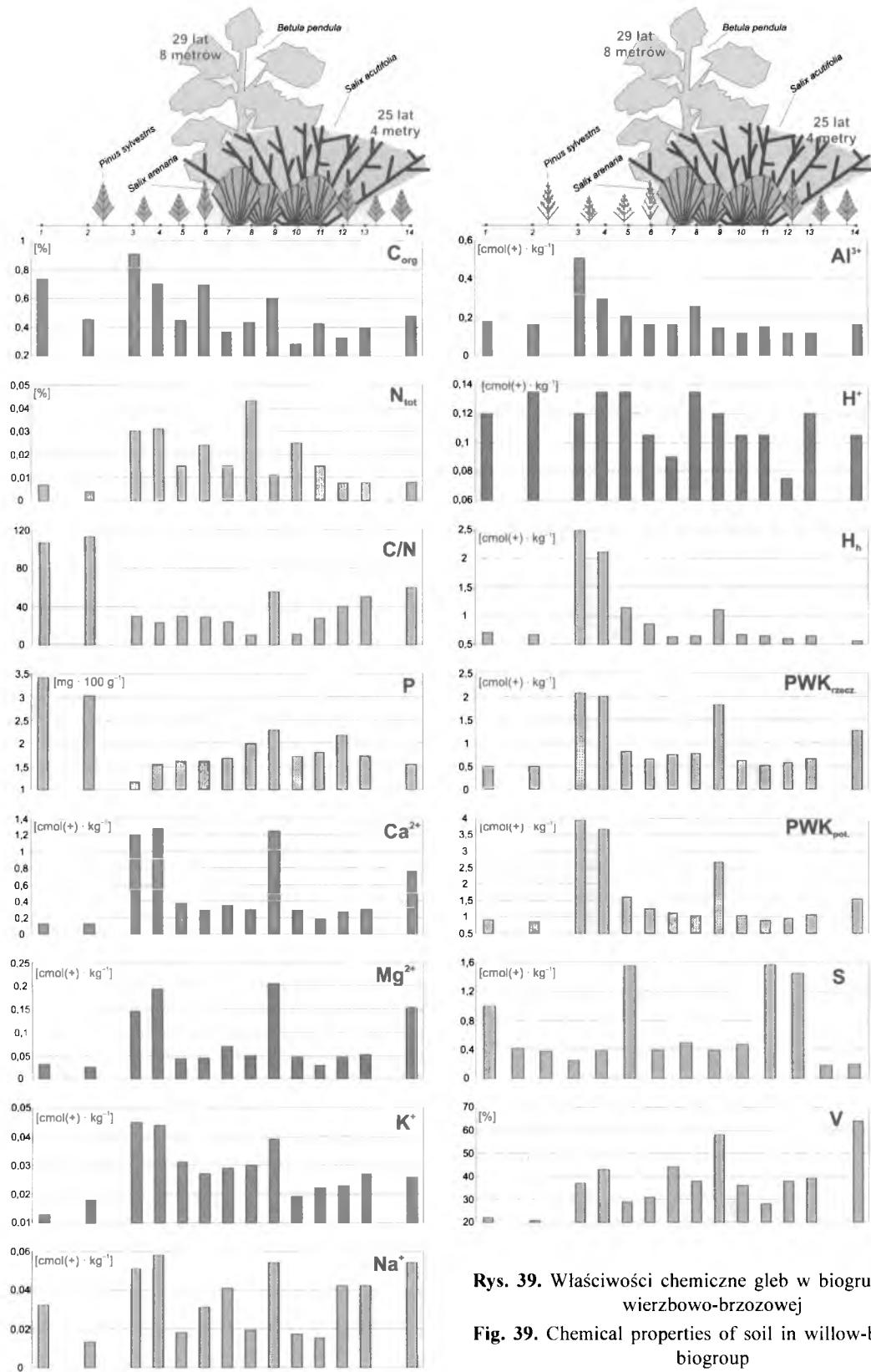
Kwasowość hydrolytyczna (H_h) oraz kationy wymienne o charakterze kwasowym (Al^{3+} , H^+) wykazują zależność od ściółki tworzonej przez określony gatunek (w tym przypadku sosnę zwyczajną). Podobne wartości odnotowano w poletku z dominacją sosny. Pod okapem wierzby wartości te są kilkakrotnie niższe. Zróżnicowanie pozostałych wskaźników fizykochemicznych jest uwarunkowane udziałem kationów wymiennych zasadowych i kwasowych, a ich wartości w transekcje przedstawiono na rys. 39.

8.2.3. Wpływ dębu szypułkowego (*Quercus robur*)

Zróżnicowanie poziomu organicznego i próchnicznego — poletko III

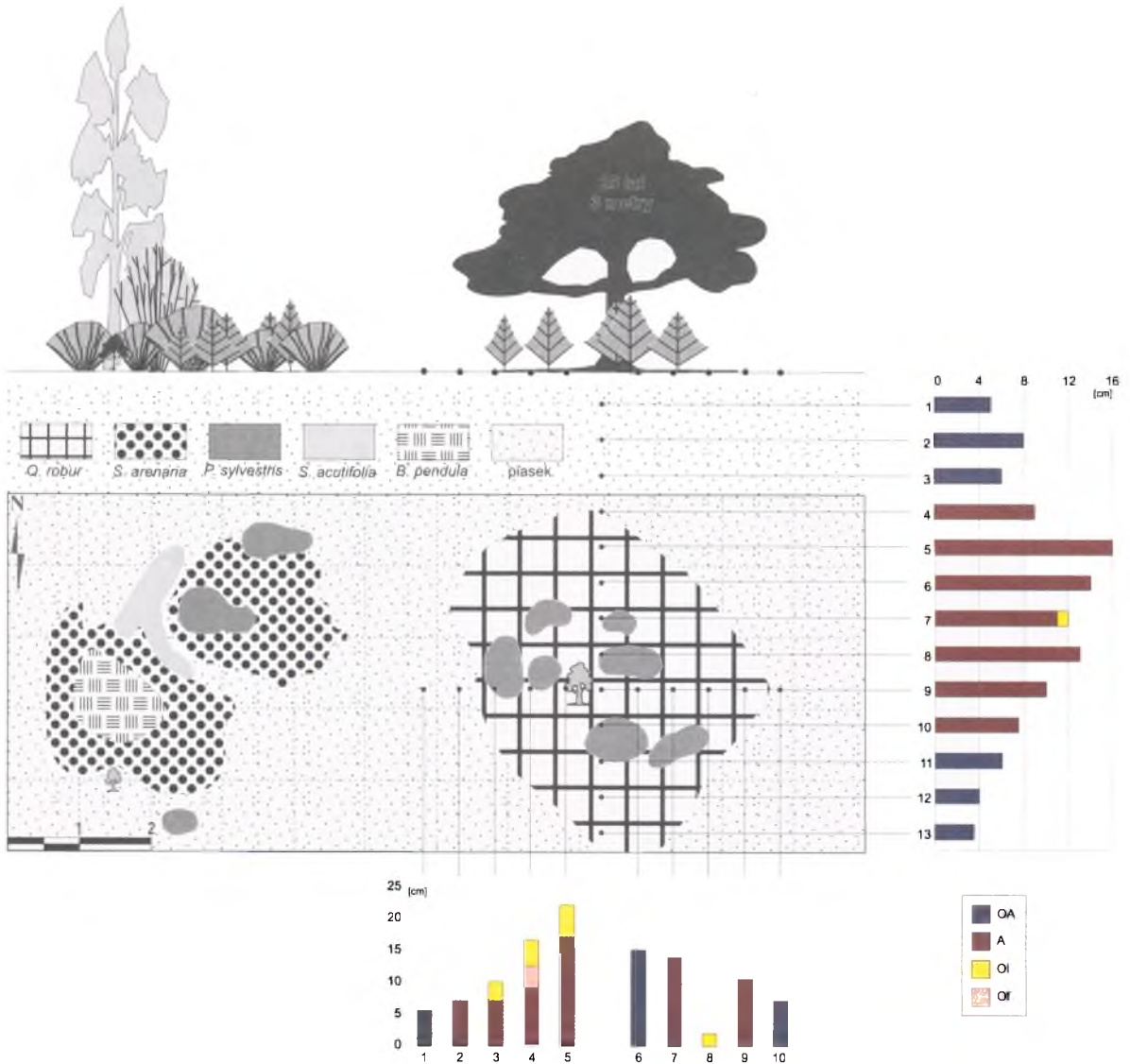
Dąb szypułkowy ma zupełnie inny kształt okapu niż wcześniej opisane gatunki. Jego gałęzie są położone wysoko nad powierzchnią gleby, w związku z czym strefa okapowa jest otwarta bezpośrednio na działanie wiatrów i opadów atmosferycznych. Badany w pracy osobnik ma 25 lat. W obrębie jego okapu nie obserwuje się znacniejszego zróżnicowania poziomu organicznego. Podpoziom Ol występuje jedynie w 4 przypadkach i jest związany z opadem sosnowym (rys. 40). Pod tym podpoziomem tylko w jednym miejscu wykształcił się podpoziom Of. Brak poziomu organicznego Ol w większości punktów wiąże się w dużej mierze z wywiewaniem liści dębowych i z szybkim rozkładem ich pozostałości. Poziom OA lepiej rozwinął się w północnej części okapu niż w południowej, która jest bardziej sucha. Takie suche powierzchnie są niechętnie zasiedlane przez glony i sinice.

Próbka mieszana z podpoziomów organicznych wykazuje odczyn bardzo kwaśny (pH w $\text{H}_2\text{O} = 4,4$, pH w $\text{KCl} = 3,97$) i pod tym względem jest zbliżona do opadłych liści tego gatunku (tabela 40). Zawartość Corg wynosi 33%, Nt — 1,18%, P_{przysw} — $9,4 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby, a stosunek C/N (28) jest węższy niż w przypadku wcześniej omawianych gatunków.



Rys. 39. Właściwości chemiczne gleb w biogrupie wierzbowo-brzozowej

Fig. 39. Chemical properties of soil in willow-birch biogroup



Rys. 40. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchnicznego (OA), organicznego (O) i próchnicznego (A) pod okapem *Quercus robur*

Fig. 40. The spatial variability of organic-humus (OA), organic (O) and humus (A) horizons under canopy of *Quercus robur*

W obrębie poziomu próchnicznego pod dębem, podobnie jak na innych poletkach, wyodrębniono nierozłożone szczątki organiczne, znajdujące się tam w wyniku pogrzebienia ich przez piasek w efekcie procesów eolicznych. Szczątki te charakteryzowały się kwaśnym odczynem (pH 4,5), dużą zawartością Corg (17%) oraz znaczną koncentracją Nt (0,534%).

Największa miąższość poziomu próchnicznego (do 16 cm) jest charakterystyczna dla powierzchni podokapowej (rys. 40). Powierzchnie

oddalone od pni też mają znaczne grubości tego poziomu. Podczas formowania się poziomu próchnicznego udział biorą głównie rośliny zarodnikowe (sinice, glony, porosty i mszaki) i trawy, ale także materia organiczna z poziomu organicznego. Te ostatnie mają bardzo dużo drobnych korzeni, które po obumarciu wzbogacają glebę w materię organiczną. Powierzchnia pod okapem dębowym w porównaniu z wcześniej opisanymi gatunkami (rozdz. 6) charakteryzuje się bogactwem florystycznym. Pod okapem dębu

szypułkowego tworzy się sprzyjające siedlisko, które chętnie zasiedla sosna zwyczajna. W miarę wzrostu będzie ona miała znaczący wpływ na właściwości fizykochemiczne gleby oraz na skład florystyczny.

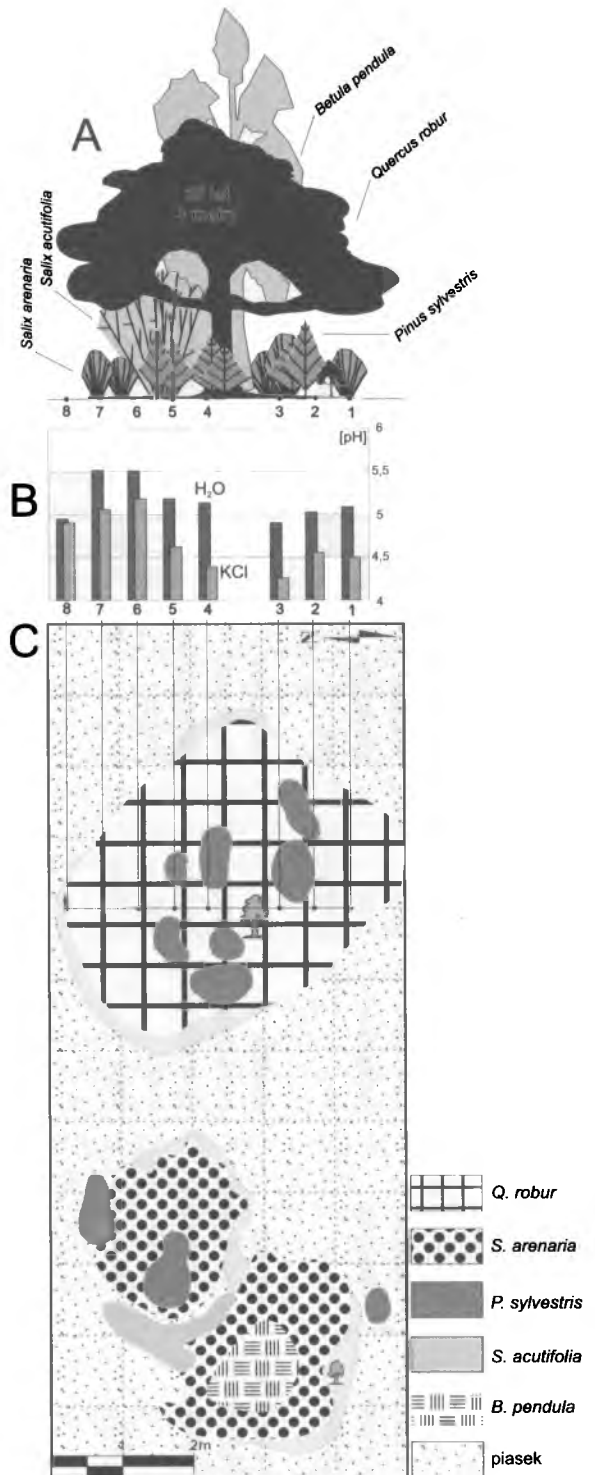
Właściwości chemiczne poziomu próchnicznego pod okapem *Quercus robur*

Odczyn gleby w strefie oddziaływania okapu jest zróżnicowany. Zakres wartości pH mieści się od 4,90 do 5,52 (w wodzie) oraz od 4,26 do 5,18 (w KCl). Punkty charakteryzujące się kwaśnym odczynem związane są z sosną zwyczajną, która w obrębie okapu dębowego tworzy swój własny okap (rys. 41), charakteryzujący się specyficznymi warunkami siedliskowymi i podlegający bezpośrednio działaniu detrytusy sosnowego.

Zawartość Corg również cechuje się zróżnicowaniem: największe wartości (1,02%, 1,40%, 1,07%) obserwuje się w centralnej części okapu (rys. 42). Największe zawartości azotu ogółem (próbka 8 — 0,096%) w badanym okapie występują w północnym skraju, wilgotniejszym od południowego i chętniej zasiedlanym przez przedstawicieli *Cyanophyta* i *Algae*, które mają wpływ na zawartość tego pierwiastka.

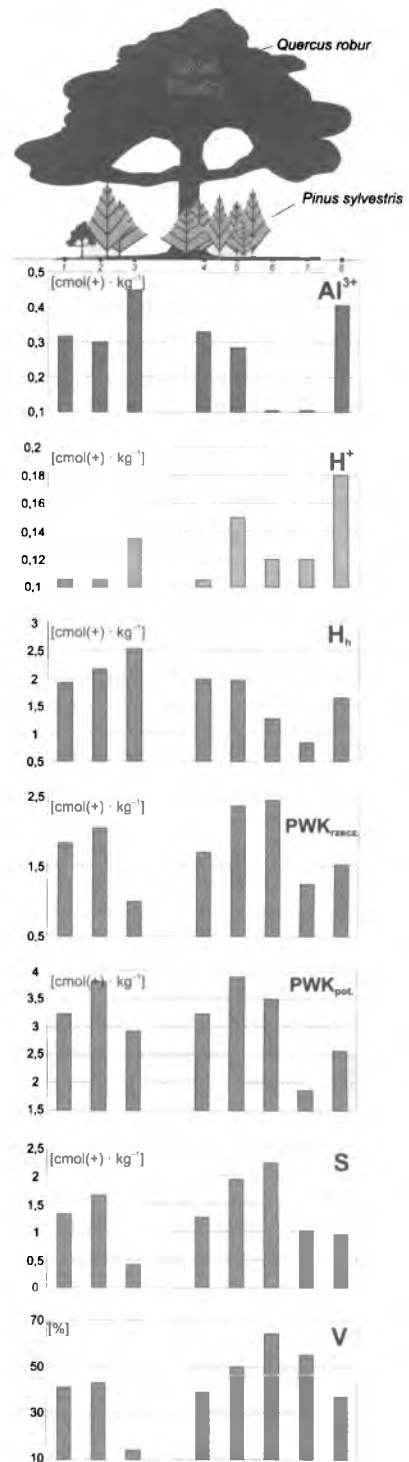
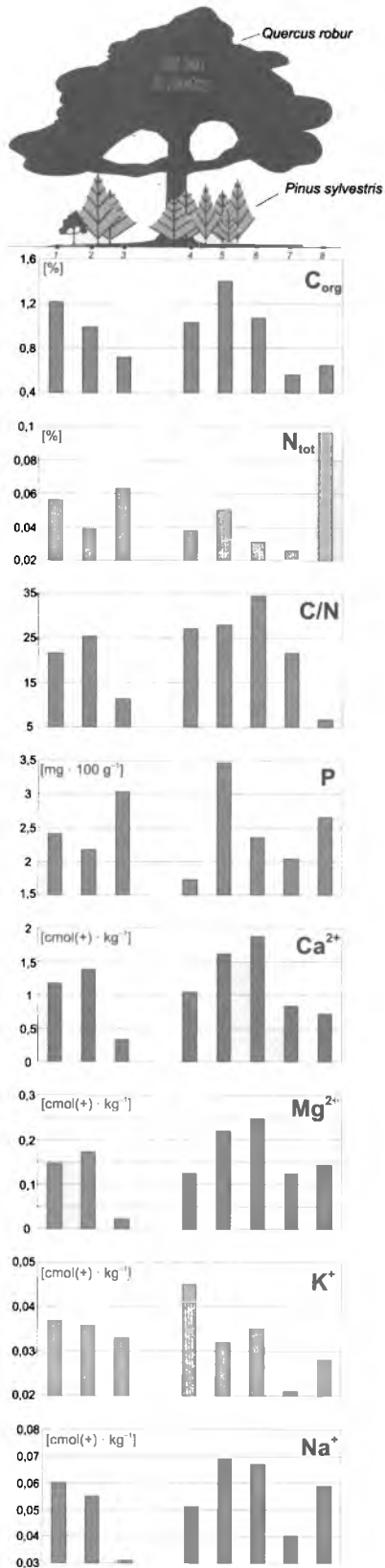
Zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie jest bardzo niska, przy czym najwięcej tego pierwiastka zanotowano w próbkach 8., 5. i 3. (rys. 42). Te ostatnie występują bezpośrednio u podstawy pnia dębu. Takie prawidłowości stwierdzili także inni autorzy (ZINKE, 1962).

Występowanie kationów o charakterze zasadowym (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), podobnie jak węgla organicznego, ma związek z bliskością pni, co jest szczególnie widoczne w przypadku wapnia, magnezu i potasu (rys. 42). Duża zawartość tych kationów w poziomie próchnicznym wiąże się z dostawą liści dębu oraz z dużym udziałem korzeni roślin zielnych psammofilnych. Gatunki te mają bardzo drobne korzonki, które po obumarciu bardzo szybko rozkładają się i wzbogacają glebę w różne składniki pokarmowe, a także wpływają na inne właściwości gleby. Najniższa zawartość wspomnianych kationów (poza K) występuje w próbce 3., co można łączyć z obecnością okapu sosnowego.



Rys. 41. Poletko badawcze pod okapem *Quercus robur*
A — struktura pionowa, B — odczyn gleby, C — powierzchnia okapów drzew i krzewów

Fig. 41. Investigation plot under canopy of *Quercus robur*
A — vertical structure, B — soil reaction, C — canopies areas of trees and bushes



Rys. 42. Właściwości chemiczne gleb pod okapem *Quercus robur*

Fig. 42. Chemical properties of soil under canopy of *Quercus robur*

Kationy kwasowe (Al^{3+} , H^+) w największych ilościach występują pod okapem sosnowym. W kształtowaniu kwasowości znaczny udział ma glin wymienny. Kwasowość potencjalna (H_h) wykazuje ścisły związek ze strefą oddziaływania okapowego, a największą wartość uzyskano w próbie 3., w której stwierdzono również najniższe wartości pH zarówno w H_2O , jak i w KCl (rys. 42). Takie zależności wynikają z działania efektu gatunkowego.

Zmiany kwasowości oraz dostępność kationów zależą od czynników biotycznych, jakimi są np. gatunki drzew. Mechanizmy, dzięki którym gatunki drzew czy krzewów wpływają na kwasowość gleby oraz na kationy wymienne, są różne. Wiąże się to z odmiennym stosunkiem ilości kationów do anionów pobieranych przez poszczególne gatunki (ALBAN, 1982), akumulacją ściółki zdolnej do uwalniania dużej ilości kwasów organicznych (OVINGTON, 1951; NIEROP i in., 2001) oraz z przyspieszonym wietrzeniem minerałów (KELLY, CHADWICK, HILINSKI, 1998; FINZI i in., 1998b). Zmienność pH, zawartości kationów wymiennych, węgla organicznego i azotu w obrębie okapu *Pinus contorta* stwierdził P.J. ZINKE (1962), a najwyższe ich wartości notował u podstawy pnia. Istotny wpływ opadów atmosferycznych spływających po pniach drzew na właściwości gleby i zawartość pewnych pierwiastków wykazał D. BINKLEY (1995).

Największą wartość pojemności wymiennej kationowej (PKW_{pot} , PWK_{rzecz}) zanotowano u podstawy pnia dębu. Stopień wysycenia kationami zasadowymi w obrębie okapu jest ściśle uwarunkowany usytuowaniem próbki względem podstawy pnia dębu. Wysoka koncentracja Ca oraz innych pierwiastków o charakterze popielnym w liściach oraz innych fragmentach resztek roślinnych zwiększa ich ilość w wierzchnich

warstwach gleby. Podobne prawidłowości zostały stwierdzone przez A.C. FINZI i in. (1998a) podczas badań prowadzonych w lasach mieszanych rezerwatów „Wangum” i „Wampee” w USA.

Skład chemiczny opadu *Quercus robur*

W przypadku dębu szypułkowego zbadano tylko koncentrację pierwiastków w liściach zielonych oraz opadłych (tabela 40). Zawartość Corg w liściach tego gatunku wykazuje podobieństwo do wierzby ostroliстной. Odczyn liści ma charakter bardzo kwaśny. Wśród badanych gatunków świeże (zielone) liście dębu mają największe stężenie Nt (2,01%) i najniższy stosunek C/N, odznaczają się też wysoką zawartością Si oraz znacznym (jak na gatunki liściaste) udziałem Fe. Szeregi malejącej zawartości wszystkich analizowanych pierwiastków popielnych przedstawiają się następująco:

liście zielone: $Ca > K > Na > Si > Mg > P > Fe > Al$

liście opadłe: $Ca > K > Si > Na > Mg > Fe > Al > P$

W liściach opadłych obserwuje się większą koncentrację Si, Ca, Fe i Al niż w liściach zielonych. Żelazo i glin są pierwiastkami podlegającymi intensywnej akumulacji (REMEZOV, 1961). Zjawisko to w liściach opadłych może być też związane z dopływem części mineralnych do rozkładających się materiałów w wyniku transportu przez organizmy glebowe, wiatr lub obryzgiwanie przez opadające krople deszczu. Dodatkowym zewnętrznym źródłem pierwiastków może być otoczenie rozkładających się szczątków roślinnych. H. DZIADOWIEC (1976) nagromadzenie żelaza i glinu wiąże z procesami humifikacji, zachodzącymi jednocześnie z mineralizacją materiału organicznego.

Tabela 40

Skład chemiczny wybranych frakcji opadu *Quercus robur*

Table 40

The chemical composition of selected litter fractions of *Quercus robur*

Nazwa próbki	C	N	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Al	Si	pH	
	[%]											[mg · kg ⁻¹]	
Liście zielone	46,8	2,01	23	996	12 092	1788	7022	3120	224	174	2108	5,10	4,70
Liście opadłe	51,9	1,00	51	272	18 766	1160	5056	1260	510	320	2648	4,41	3,92

Ważnym zjawiskiem w życiu roślin jest wycofywanie składników mineralnych z liści do pnia i gałęzi pod koniec okresu wegetacyjnego (DZIADOWIEC, BEDNAREK, 1993). Jest to jeden z mechanizmów utrzymywania równowagi fizjologicznej zapewniającej prawidłowe funkcjonowanie organizmów. Zjawisko to dobrze udokumentowano w przypadku N i P we wszystkich badanych próbkach (poza *Salix arenaria*), gdzie wartości w liściach zielonych są większe niż w liściach opadłych (tabele 37—40). Podobna sytuacja często jest spotykana w przypadku Mg, Na, K i rzadziej Ca.

8.3. Zróżnicowanie materiału roślinnego i materii organicznej gleb w przebiegu sukcesji na poziomie molekularnym

Opad roślinny i biomasa mikroorganizmów stanowią podstawowy substrat do tworzenia się materii organicznej gleb (MOG). Opad roślinny składa się z kompleksu związków organicznych. Są to głównie polisacharydy, lignina oraz biopolimery o charakterze alifatycznym i taniny. Skład MOG jest w danym środowisku zróżnicowany i uwarunkowany gatunkami roślin oraz typem ich tkanek (KÖGEL-KNABNER, 2002), a także przebiegiem procesu ich rozkładu.

Skład MOG w kolejnych stadiach rozwoju roślinności na obszarach piaszczystych — na poziomie molekularnym — był badany różnymi metodami analitycznymi. W ciągu ostatnich trzech dekad można było zaobserwować rozwój zastosowań pirolizy z następującym rozdziałem produktów techniką chromatografii gazowej i ich identyfikacją za pomocą spektrometrii masowej (Py-GC/MS) (NIEROP, 1998; NIEROP, 2001; NIEROP, BUURMAN, 1998, 1999; NIEROP, VAN LAGEN, BUURMAN, 2001; DIJKSTRA, BOON, VAN MOURIK, 1998; HATCHER i in., 2001; VAN BREEMEN, BUURMAN, 2002). W wielu wybranych ekosystemach klimaksowych prowadzono intensywne badania wpływu roślinności na materię organiczną gleb (SAIZ-JIMENEZ, DE LEEUW, 1986; KÖGEL i in., 1988;

LEINWEBER, SCHULTEN, 1998; HUANG i in., 1998; TINOCO, ALMENDROS, CONZÁLEZ-VILA, 2002; CHEFETZ i in., 2002; PAGE i in., 2002; DAI, PING, MICHAELSON, 2002; TRUBETSKOJ, TRUBETSKAJA, SAIZ-JIMENEZ, 2005) oraz badania składu materiału organicznego tkanek wybranych gatunków roślin (POUWELS, BOON, 1990; NIEROP, 2001; PAGE i in., 2002; KNICKER i in., 2000).

Zróżnicowanie składu materii organicznej w glebie w trakcie sukcesji roślinnej i rozwoju gleby jest jednym ze wskaźników ich tempa. Procesy takie są widoczne na obszarach pozbawionych pokrywy glebowej, jakim była np. Pustynia Błędowska, gdzie od początku zachodził proces tworzenia się poziomów glebowych. Morfologiczne zróżnicowanie materii organicznej jest wyraźne we wszystkich fazach i stadiach sukcesji pierwotnej serii borowej na ubogim piasku, który nie stwarza sprzyjających warunków do rozkładu MOG. Większość biomasy dostającej się do gleby stanowi opad roślinny roślin zielnych, krzewów i drzew porastających ten obszar oraz materiał pochodzenia zwierzęcego. Na tym etapie sukcesji tylko niewielka jej część, ulegając humifikacji, przekształca się w próchnicę.

Próchnica występuje w glebie w postaci struktur makrocząsteczkowych, jest słabo rozpuszczalna w wodzie i trudna do analizowania na poziomie molekularnym bez jej degradacji. Jedną ze współczesnych metod prowadzących do degradacji termicznej materii organicznej jest piroliza. W procesie pirolizy pod wpływem wysokiej temperatury makrocząsteczki ulegają fragmentacji do lotnych produktów, które podaje się rozdzielaniu techniką chromatografii gazowej (GC) i identyfikacji w spektrometrze masowym (MS). Przedstawiona metoda analityczna pozwala na prowadzenie jakościowych i ilościowych analiz składu oraz monitoringu MOG (STUCZYŃSKI i in., 1997).

Większość badań dotyczących materii organicznej gleb prowadzono w dobrze rozwiniętych glebach bielcowych, z nieznaną historią rozwoju roślinności, co utrudniało jednoznaczne stwierdzenie specyficznych relacji pomiędzy składem materii organicznej a typem roślinności (NIEROP, BUURMAN, 1998). Z analizy zróżnicowania materii organicznej na obszarze Pustyni Błędowskiej

wynika, że są to gleby bardzo młode z dobrze znaną i udokumentowaną historią pokrywy roślinnej, genetycznie związanej z MOG.

Celem badań było określenie składu materii organicznej gleb w inicjalnych fazach sukcesji i jej wstępna charakterystyka na poziomie molekularnym, z zastosowaniem metody Py-GC/MS.

Skład materii organicznej gleb w relacji do sukcesji

W podanych warunkach pirolizy w strukturach materiału organicznego stwierdzono występowanie następujących grup związków chemicznych:

- alifatycznych o łańcuchach nierozgałęzionych,
- alifatycznych o łańcuchach rozgałęzionych,
- alicyklicznych,
- aromatycznych,
- pochodnych węglowodanów,
- związków zawierających azot,
- związków zawierających siarkę,
- fenoli,
- pochodnych prenylowych,
- pochodnych furanu i piranu (F/P).

Procentowe udziały wymienionych grup produktów pirolizy oszacowano, opierając się na pomiarze powierzchni odpowiadających im pików chromatograficznych i aproksymacji liniowości sygnału detekcji dla poszczególnych grup związków. Przyporządkowanie pochodzenia związków organicznych występujących w produktach pirolitycznych uzyskano z danych literaturowych (SAIZ-JIMENEZ, DE LEEUW, 1986; DIJKSTRA, BOON, VAN MOURIK, 1998; POWELS, BOON, 1990; BEYER, 1996; NIEROP, VAN LAGEN, BUURMAN, 2001; CHEFETZ i in., 2002).

Roślinność zarodnikowa

Do badań składu organicznego we wcześniejszych fazach sukcesji wytypowano zbiorowisko *Algae-Cyanophyta*, biologiczną skorupę glebową (składającą się z plechy glonów, porostów, mszaków oraz pojedynczych ziaren piasku) oraz płonnika włosistego *Polytrichum piliferum*. Zbadano skład organiczny ich plechy oraz poziomu próchnicznego rozwijającego się pod nimi.

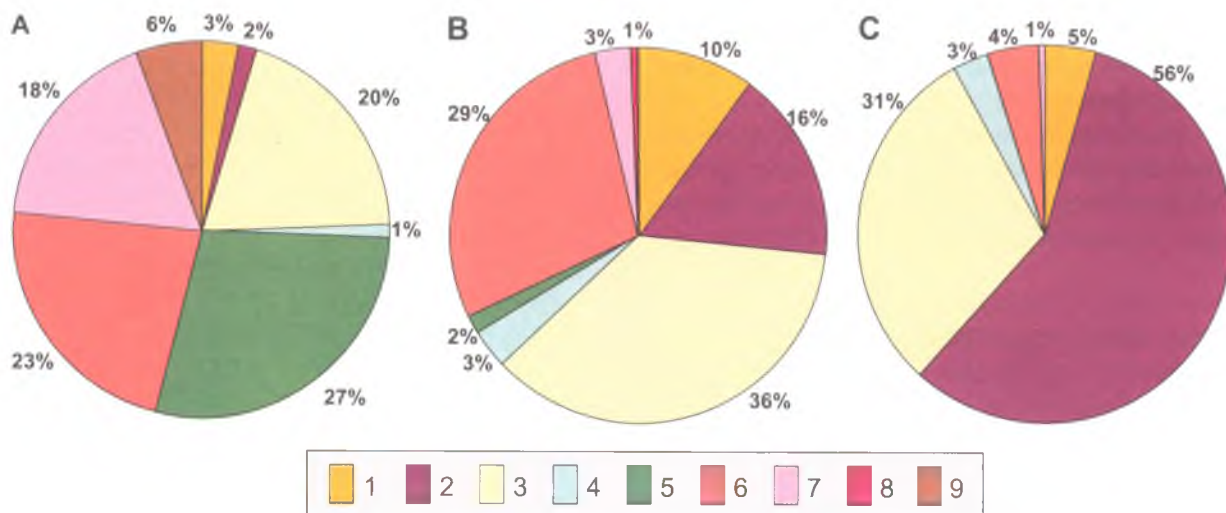
Zbiorowisko *Algae-Cyanophyta*

Analiza produktów pirolizy wskazuje na zróżnicowanie składu materii organicznej w poziomie organicznym (O), składającym się głównie z plechy glonowo-sinicowej, oraz w poziomach próchnicznym (A) i skale macierzystej (C) (rys. 43 A, B, C) pod zbiorowiskiem *Algae-Cyanophyta*.

Materia organiczna w poziomie O pochodzi przede wszystkim z plechy glonowej, a zwłaszcza z dominującego gatunku z rodzaju *Cylindrocapsa* sp. W składzie plech glonowych przeważają pochodne węglowodanów (27%) — rys. 43 A. Wymienić tu można takie związki jak: glukozan, 3-metylomannozyd, rybofuranozyl oraz 3,4-anhydro-*D*-galaktozan.

Znaczny udział w produktach pirolizy mają związki organiczne zawierające azot i siarkę (odpowiednio 23% i 18%). Związki zawierające azot reprezentowane są przez amidy, aminy (cyjanoguanidyna, etanoamina, N,N-dietylo-N'-propyloacetamina), iminy (2-metyloiminoperhydro-1,3-oksazyna, nitroazetydina), nityle (butanonitryl, 2-metylo-3-oksobutyronitryl) oraz związki heterocykliczne (3,6-pirydazynodion). Wyniki analizy otrzymanych pirogramów wykazują, iż związki N-heterocykliczne są ważnymi składnikami materii organicznej gleb. Niektóre związki z tej grupy w glebie pochodzą od swych biologicznych prekursorów. Są to białka, chlorofil, kwasy nukleinowe, alkaloidy. Należy podkreślić, że azot, jako podstawowy składnik pokarmowy dla roślin, zasadniczo nie pochodzi z wietrzejących minerałów glebowych. Obecność związków heterocyklicznych, takich jak: pirol, pirolidyna, pirydyna, pirany i pirazole została wykazana z zastosowaniem pirolizy także w glebach piaszczystych z innych obszarów (SHULTEN, SCHNITZER, 1998). Związki zawierające siarkę reprezentowane są w poziomie O przede wszystkim przez 3-etylotiolan i merkaptometan.

Związki alifatyczne (o łańcuchach nierozgałęzionym, rozgałęzionym i cyklicznym) obejmują: węglowodory nasycone i nienasycone, alkohole i kwasy organiczne o różnych źródłach pochodzenia, jak polisacharydy czy lipidy. Udział związków alifatycznych w próbkach glonowych wynosi około 24% (rys. 43A).



Rys. 43. Procentowy udział związków organicznych w pleśle glonowej (A), poziomie próchnicznym (B) oraz w skale macierzystej (C)

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne furanu i piranu

Fig. 43. Percent participation of organic compounds in talus of algae (A), humus horizon (B) and parent rocks (C)

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — furans and pirans derived

Związki zawierające pierścienie aromatyczne, np. toluen czy benzen, mają w pleśle glonowej nieznaczný udział (1,15%). Jak wynika z danych literaturowych, związki aromatyczne są pochodzenia ligninowego i występują w roślinach naczyniowych (POUWELS, BOON, 1990; PAGE i in., 2002). Pochodne furanu i piranu notuje się w niewielkich ilościach (6%). Najczęściej w produktach pirolizy spotyka się pochodne furanu, furfuralu i 2-hydro-piran-2-onu.

Poziom próchniczny pod algocenozami charakteryzuje się dominacją substancji alifatycznych, a ich udział wynosi około 62%, z czego przeważają węglowodory o prostym łańcuchu (36%) — rys. 43 B.

Drugą pozycję pod względem ilości w produktach pirolitycznych zajmują związki zawierające azot (29%), natomiast związki zawierające siarkę mają nieznaczný udział (3%) w porównaniu z poziomem O. W poziomie A wyraźnie zmniejsza się udział węglowodanów (2%). Większy udział związków zawierających azot może być związany z obecnością biomasy mikroorganizmów (przede wszystkim bakterii) i produktów ich metabolizmu. Jak wynika z badań GOLLERBAKHA i SZTINY (1976), zwiększanie biomasy glonowo-

-sinicowej zwiększa i przyspiesza aktywność mikrobiologiczną gleby.

W poziomie próchnicznym stwierdzono nieznacznie większy udział, w porównaniu z poziomem organicznym, związków aromatycznych i pochodnych fenoli, co może wynikać z wpływu opadu roślin naczyniowych o charakterze allochtonicznym.

Skład materii organicznej w poziomie C pod asocjacjami sinicowo-glonowymi jest inny niż w poziomach płytszych. Wyraźnie niższy jest udział związków zawierających azot i siarkę (z uwagi na brak plechy glonowej), węglowodanów oraz substancji alifatycznych o łańcuchu prostym i rozgałęzionym, natomiast wyższy udział związków alicyklicznych (do 56%) — rys. 43 C.

Takie bogactwo związków organicznych w glebie pod zbiorowiskami sinicowo-glonowymi wynika z ich przystosowania ekologicznego oraz fizjologii. Organizmy te wydzielają śluz przez pochwę śluzową ściany komórkowej, utrzymując w ten sposób wilgoć i pośrednio ułatwiając rozwój mikroflory glebowej. Śluz ten w swoim składzie zawiera węglowodany, tłuszcze i inne związki organiczne, które dodatkowo zwiększają aktywność pozostałych drobnoustrojów (NIEROP,

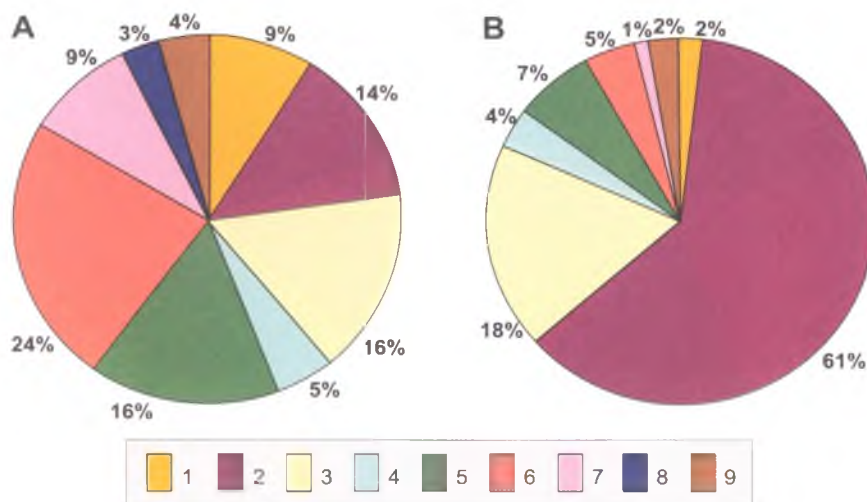
VAN LAGEN, BUURMAN, 2001). Transformacje tkanki glonowej ułatwiają stosunkowo szybkie nagromadzenie materii organicznej i stanowią potencjalne źródło składników odżywczych dla wkraczających gatunków wczesnosukcesyjnych, a następnie późnosukcesyjnych.

Biologiczna skorupa glebowa

Biologiczna skorupa glebowa jest zbudowana głównie z sinic, glonów, grzybów, porostów i mszaków, ponadto mogą w niej pojedynczo występować drobne korzenie (żywe i obumarłe) szczotliczy siwej i strzęplicy sinej. Te grupy systematyczne nie tylko różnią się morfologicznie pod względem rozwoju plechy czy tkanek, lecz także pod względem składu chemicznego, zarówno mineralnego jak i organicznego.

W produktach pirolizy masy organicznej biologicznej skorupy glebowej stwierdzono obecność związków jednocześnie zawierających azot i siarkę (tiazole, 4,5-dihydro-2-metylamina, tiazolidynoimina). W poziomie organicznym obserwuje się dominację związków zawierających azot

(około 24%), podobnie jak w glebach formujących się pod zbiorowiskami sinicowo-glonowymi. Z kolei w składzie chemicznym skorupy organicznej związków zawierających siarkę jest dwukrotnie mniej niż w skorupie glonowej. Na tym etapie sukcesji obecność azotu ma istotne znaczenie w dalszym jej przebiegu i przyspieszaniu. Znaczny udział mają także pochodne węglowodanów (16%), a dominują wśród nich: glukoza i galakto-heptuloza. Wraz z przejściem do poziomu próchnicznego od 2- do 8-krotnie zmniejsza się zawartość pochodnych węglowodanów, pochodnych furanozy i pyranozy oraz związków zawierających azot i siarkę (rys. 44B). Takie zmiany wynikają ze słabego powiązania poziomów organicznego z próchnicznym (wyraźnie oddzielone od siebie), a także z braku frakcji koloidalnej w poziomie A, która mogłaby wiązać część materii organicznej. Odwrotną sytuację obserwuje się w przypadku związków alifatycznych, ponieważ w warstwie mineralnej zanotowano znaczną ich zawartość, co jest uwarunkowane udziałem korzeni roślin naczyniowych, zawierających w swym składzie kutynę i suberynę, które z kolei



Rys. 44. Procentowy udział związków organicznych w plesze biologicznej skorupy glebowej (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 44. Percent participation of organic compounds in talus of biological soils crusts (A) and in humus horizon (B)

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

są źródłem związków alifatycznych w glebie (NIEROP, 1998). Związki aromatyczne, pochodzące z plechy porostów i mszaków, też mają mniejszy udział (ok. 4%) w poziomie A niż w poziomie O.

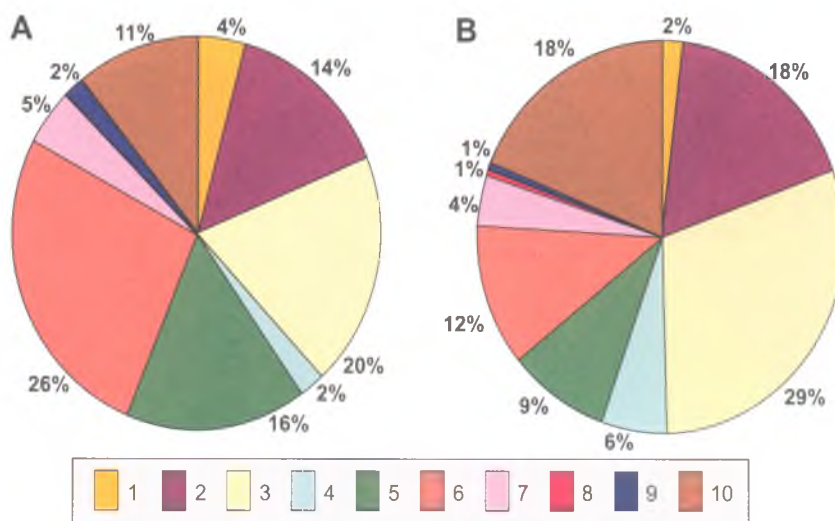
Polytrichum piliferum

Zawartość składu nadziemnej części *Polytrichum piliferum* wykazuje wyraźne zróżnicowanie (rys. 45A). Podobnie jak w poprzednio badanych próbkach (sinicowo-glonowa, biologiczna skorupa glebowa), tak i w tym przypadku dominują związki zawierające azot (26%), reprezentowane przez aminy, amidy oraz związki heterocykliczne z udziałem azotu.

Znaczny udział mają związki alifatyczne, w obrębie których odpowiednio dominują pochodne polisacharydów i lipidów: węglowodory nierozgałęzione, cykliczne i rozgałęzione. Obserwuje się tu duży udział pochodnych furanozy i pyranozy (F/P) — około 11% (rys. 45 A) w plechce *Polytrichum piliferum*, a w poziomie A około 18%. Grupę tę reprezentują m.in.: furan, furfu-

ral, furanokarboksyaldehyd, dihydropiran. W nadziemnej części *Polytrichum piliferum*, w produktach pirolitycznych, wśród pochodnych węglowodanów stwierdzono m.in.: rybofuranozyl, galakto-heptulozę, glukozan. W znacznych ilościach w części nadziemnej *Polytrichum piliferum* występuje 3,4-altrosan (9.01%) oraz 7,45% w poziomie A pod nim.

Skład materii organicznej poziomu próchnicznego pod *Polytrichum piliferum* znacznie się różnił od materii organicznej pod zespołem sinicowo-glonowym oraz biologiczną skorupą glebową. Jest to uwarunkowane obecnością ryzoidów mszaków, które utwierdzają się w poziomie próchnicznym i po rozkładzie dostarczają dodatkowej porcji materii organicznej. Nie wyklucza się tu także udziału związków organicznych pochodzących ze zbiorowiska sinicowo-glonowego, *Polytrichum piliferum* bowiem, zgodnie z opisywanym ciągiem sukcesji, wkracza na obszary zajęte już przez glony. Tkanki glonowe zawierają dwukrotnie więcej pochodnych węglowodanów niż *Polytrichum piliferum*. Podobne prawidłowości stwierdzono na ruchomych piaskach w Holan-



Rys. 45. Procentowy udział związków organicznych w plechce *Polytrichum piliferum* (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)

1 — związki alifatyczne rozgałęzione. 2 — związki alicykliczne. 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione. 4 — związki aromatyczne. 5 — pochodne węglowodanów. 6 — związki zawierające azot. 7 — związki zawierające siarkę. 8 — pochodne prenylowe. 9 — pochodne furanu i piranu

Fig. 45. Percent participation of organic compounds in talus of *Polytrichum piliferum* (A) and humus horizon (B)

1 — aliphatic branched compounds. 2 — alicyclic compounds. 3 — aliphatic unbranched compounds. 4 — aromatic compounds. 5 — derived carbohydrates. 6 — N-content compounds. 7 — S-content compounds. 8 — prenyl derived. 9 — furans and pirans derived

dii (NIEROP, VAN LAGEN, BUURMAN, 2001). W tkankach *Polytrichum piliferum* oraz w poziomie A stwierdzono też występowanie związków organicznych o strukturach izoprenowych (pochodne terpenoidów), których zawartość wynosi odpowiednio 2% i 1% (rys. 45 A, B).

Roślinność naczyniowa

Z roślin naczyniowych do badania składu organicznego wybrano gatunki uczestniczące w kolejnych fazach sukcesji: szczotlicę siwą, strzęplicę siną, wierzbę piaszkową, wierzbę ostrolistną i sosnę zwyczajną.

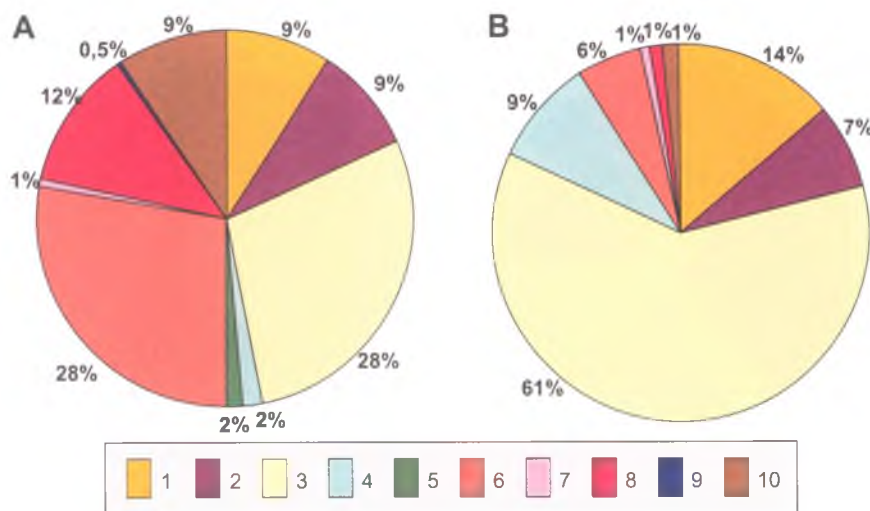
Szczotlicza siwa

W składzie tkanek szczotliczy siwej dominują związki alifatyczne (rys. 46 A), w obrębie których przeważają węglowodory o łańcuchach nierozgałęzionych (28%). Związki te to pochodne kutyny i suberyny. Kutyna występuje wspólnie z woskiem na powierzchni liści i owoców roślin kwiatowych, dlatego jest odporniejsza od wosku

na działanie czynników atmosferycznych i rozkład biologiczny. Stanowi 50—90% kutykuli, a jej powstanie jest stymulowane przez intensywne naświetlanie roślin, ubytek wody i podwyższoną temperaturę. Suberyna pełni podobną funkcję do wosku i kutyny, natomiast znajduje się wewnątrz komórek wtórnych tkanki okrywającej (KACZKOWSKI, 1993).

Znaczny udział mają także związki zawierające azot, reprezentowane przez aminy, związki nitrowe, związki heterocykliczne, rzadziej przez iminy.

Tkanki szczotliczy siwej w porównaniu z roślinami zarodnikowymi mają znacznie większą zawartość związków aromatycznych pochodzenia ligninowego. W produktach pirolizy zanotowano m.in. takie związki, jak: toluen, wanilina, benzen oraz fenol, *p*-krezol czy 2-metoksy-4-winylofenol. Na uwagę zasługują także pochodne furanu i piranu, których zawartość wynosi 9%. W porównaniu z roślinami zarodnikowymi zdecydowanie mniej jest pochodnych węglowodanów oraz związków zawierających siarkę (rys. 46 A).



Rys. 46. Procentowy udział związków organicznych w nadziemnej części *Corynephorus canescens* (A) oraz w poziomie próchnicznym (B):

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 46. Percent participation of organic compounds in aboveground part of *Corynephorus canescens* (A) and humus horizon (B):

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

W materiale organicznym z poziomu próchnicznego dominują związki alifatyczne (75%), udział związków aromatycznych (9%) oraz zawierających azot (6%) jest niewielki. Wspomniane związki mogą w warstwie mineralnej pochodzić z rozkładu części nadziemnej oraz korzeni szczytliczy siwej. Skład produktów pirolizy materiału organicznego poziomu próchnicznego spod szczytliczy siwej (rys. 46 B) jest podobny do składu poziomu próchnicznego spod *Polytrichum piliferum* (rys. 45 B), co wynika z udziału biomasy podziemnej tych roślin.

Strzęplica sina

Strzęplica sina kolonizuje obszary utrwalone już przez inne gatunki wczesnosukcesyjne i wzbogacone nieco w materię organiczną. Należy podkreślić, że strzęplica sina ma grubsze korzenie niż szczytlicza siwa, dlatego po rozkładzie tych roślin powstaje więcej materii organicznej.

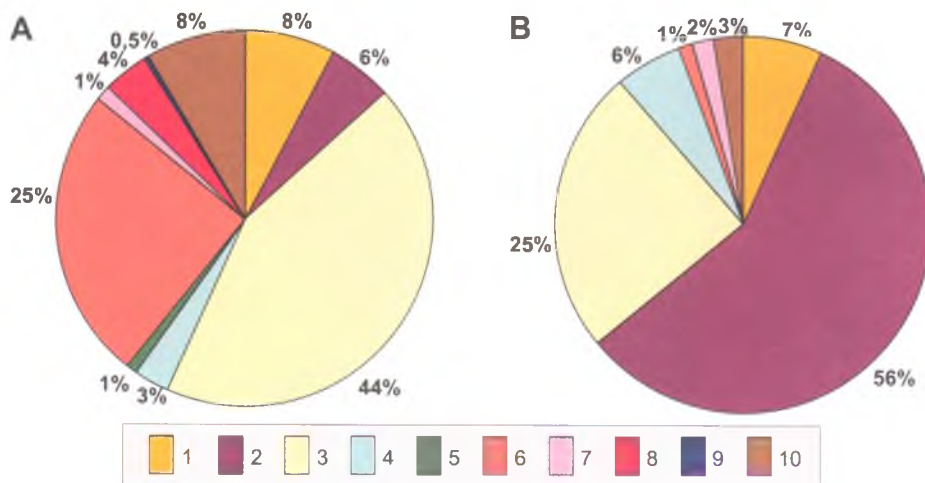
Pod względem zawartości substancji alifatycznych, aromatycznych, zawierających azot, pochod-

nych furanu i piranu (F/P) oraz związków o układzie izoprenowym (rys. 47 A) skład organiczny tkanek *Koeleria glauca* wykazuje nieco podobieństwa do składu *Corynephorus canescens*.

Ważnymi składnikami organicznymi są związki mające w swym składzie azot. Decydują one o aktywności mikrobiologicznej gleby, a w konsekwencji wpływają na tempo procesów glebowych. Najczęstszymi związkami zawierającymi azot w tkankach (liście, kłosa, łodyga) strzęplicy sinej są związki heterocykliczne (2,5-dimetylopiperazyna, cykloseryna, pirrolidyna, imidazol), aminowe (hydroksyloamina), nitrowe i rzadziej iminowe.

Z kolei pod względem zawartości związków fenolowych tkanek strzęplicy sinej w porównaniu z tkankami szczytliczy siwej zawierają trzykrotnie mniej związków fenolowych.

Poziom A charakteryzuje się wysokim udziałem związków alicyklicznych (około 56%), dziesięciokrotnie większym niż skład organiczny tkanek strzęplicy sinej. Podobne wartości stwierdzono w poziomie próchnicznym gleb leśnych (BEYER, 1996), a ich pochodzenie w tym poziomie autor ten wiąże z pochodnymi kwasów tłuszczo-



Rys. 47. Procentowy udział związków organicznych w nadziemnej części *Koeleria glauca* (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 47. Percent participation of organic compounds in aboveground part of *Koeleria glauca* (A) and humus horizon (B)

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

wych, takich jak: palmitynian izopropylu i kwas oleinowy. Zawartość pochodnych furanu i piranu jest taka sama jak w przypadku szczotliczy siwej i wynosi 8% w części nadziemnej oraz 3% w poziomie próchnicznym (rys. 47 A, B).

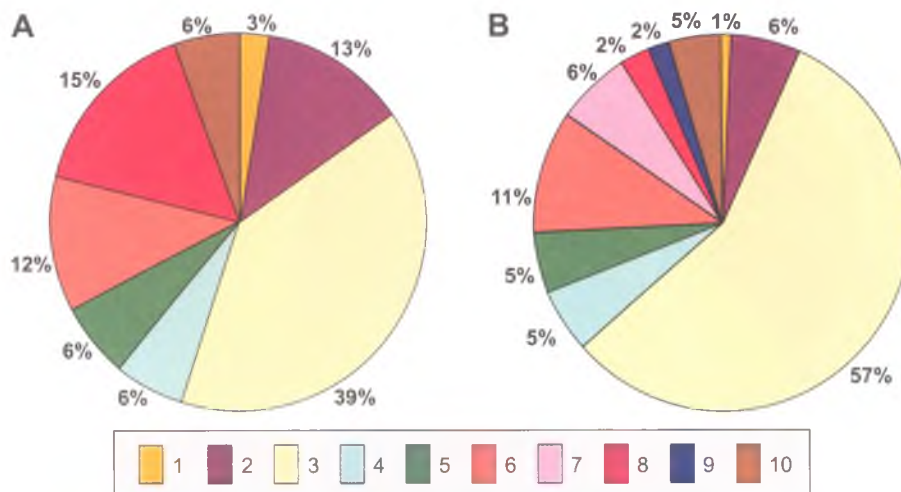
Wierzba piaskowa

Opad roślinny (liście, kora, drobne gałązki) *Salix arenaria* stanowi główny składnik poziomu organicznego w jej okapie. Charakteryzuje się dominacją związków alifatycznych, a przeważają wśród nich pochodne kwasów tłuszczowych, jakimi w tym przypadku są węglowodory alifatyczne o łańcuchu nierozgałęzionym (39%) — rys. 48 A.

Zawartość związków aromatycznych zarówno w poziomie organicznym (6%), jak i w próchnicznym (5%) jest bardzo podobna. Znaczny udział w opadzie mają związki fenolowe (15%), a wśród nich najczęściej występują: fenol, 4-metylofenol, gwajakol, 3-etylophenol, 2-metoksy-4-metylofenol-, eugenol i 4-winylogwajakol. Jak

wynika z danych literaturowych, wymienione produkty pirolizy są pochodzenia ligninowego i polisacharydowego (SAIZ-JIMENEZ, DE LEEUW, 1986; KÖGEL i in., 1988; POWELS, BOON, 1990; NIEROP, VAN LAGEN, BUURMAN, 2001).

Istotny udział zarówno w poziomie organicznym (Olf), jak i próchnicznym (A) mają związki zawierające azot, odpowiednio 12% i 11% (rys. 48 A, B). W przypadku wcześniej badanych roślin (strzępica sina, szczotlicza siwa) i wykształcających się pod nimi poziomów próchnicznych zanotowano większe różnice w zawartości związków zawierających azot. Fakt ten można wytłumaczyć dużą bioproduktywnością *Salix arenaria* i w rezultacie szybkim rozkładem jej liści, które stanowią dodatkową pulę materii organicznej, warunkami mikroklimatycznymi w obrębie kępy tego gatunku oraz aktywnością mikrobiologiczną mikroorganizmów. Dodatkowo, w profilu glebowym pod *Salix arenaria* znaczny udział mają szczątki organiczne o charakterze allochtonicznym. Często występującym składnikiem allochtonicznym w poziomie organicznym jest igliwie sosny, które wpływa na skład materii organicz-



Rys. 48. Procentowy udział związków organicznych w poziomie organicznym (Olf) (A) oraz w poziomie próchnicznym (B) pod *Salix arenaria*:

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 48. Percent participation of organic compounds in organic horizon (Olf) (A) and humus horizon (B) under *Salix arenaria*:

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

nej. Procentowy udział pozostałych związków organicznych w poziomach Olf i A pod wierzbą piaskową przedstawia rys. 48 A, B.

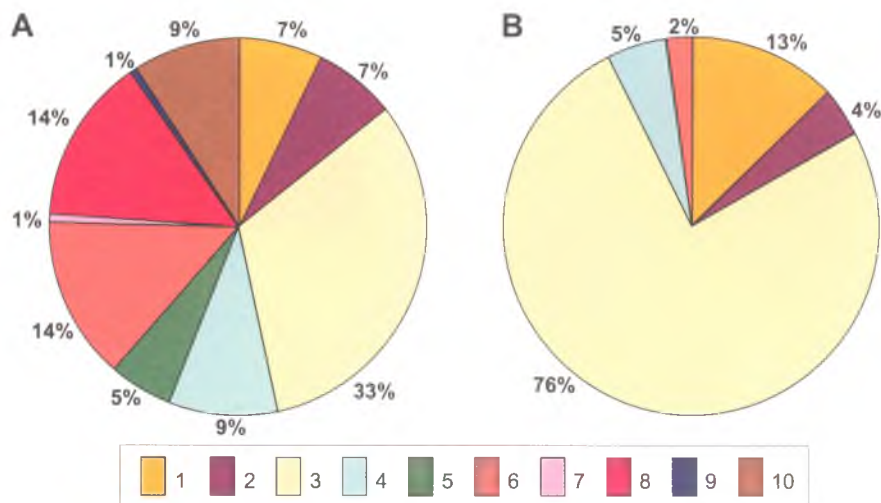
Wierzba ostrolistna

W poziomie organicznym (Olf) w profilu glebowym pod *Salix acutifolia* dominują związki alifatyczne (nierozgałęzione, rozgałęzione i cykliczne), w obrębie których przeważają węglowodory o łańcuchu nierozgałęzionym, zarówno w poziomie organicznym (33%) jak i próchnicznym (76%). Znaczny udział (9%) mają też związki aromatyczne. Do najczęściej występujących związków w produktach pirolitycznych pod wierzbą ostrolistną należą: benzen, toluen, etylbenzen, o-ksylen, winylobenzen i inne. Związki fenolowe (fenol, gwajakol, etylogwajakol, metogwajakol) w poziomie organicznym pod *Salix acutifolia* mają porównywalny udział (14%) z *Salix arenaria* (15%).

Pochodne węglowodanów (głównie glukozy) stwierdzono w produktach pirolitycznych w po-

ziomie organicznym (5%), nie zanotowano ich zaś w poziomie próchnicznym. Podobną sytuację obserwuje się w przypadku pochodnych furanu i piranu. Pochodne kwasów nukleinowych, chlorofil oraz proteiny (związki zawierające azot) mają znaczny udział (14%) w poziomie organicznym, przy czym ich zawartość jest bardzo niska (2%) w poziomie próchnicznym (rys. 49 B).

Dominacja związków alifatycznych w poziomie próchnicznym jest uwarunkowana słabym wymieszaniem materii organicznej z częścią mineralną, a związki organiczne na tym etapie sukcesji glebowej w poziomie próchnicznym pochodzą przede wszystkim z rozkładu obumarłych korzeni roślin zielnych (najczęściej strzępicy sonej, szczotliczy siwej oraz śmiełka pogiętego) i krzewów wierzby ostrolistnej. W miarę przekształcania się zbiorowisk w bardziej złożone i tworzenia się wyraźnej struktury pionowej zwiększa się udział pochodnych ligniny i polisacharydów (KOGEL i in., 1988; LEINWEBER, SCHULTEN, 1998; TINOCO, ALMENDROS, CONZÁLEZ-VILA, 2002; CHEFETZ i in., 2002; DAI, PING, MICHAELSON, 2002; TRUBETSKOJ, TRUBETSKAJA, SAIZ-JIMENEZ, 2005).



Rys. 49. Procentowy udział związków organicznych w poziomie organicznym (Olf) (A) oraz w poziomie próchnicznym (B) pod *Salix acutifolia*

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 49. Percent participation of organic compounds in organic horizon (Olf) (A) and humus horizon (B) under *Salix acutifolia*

1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

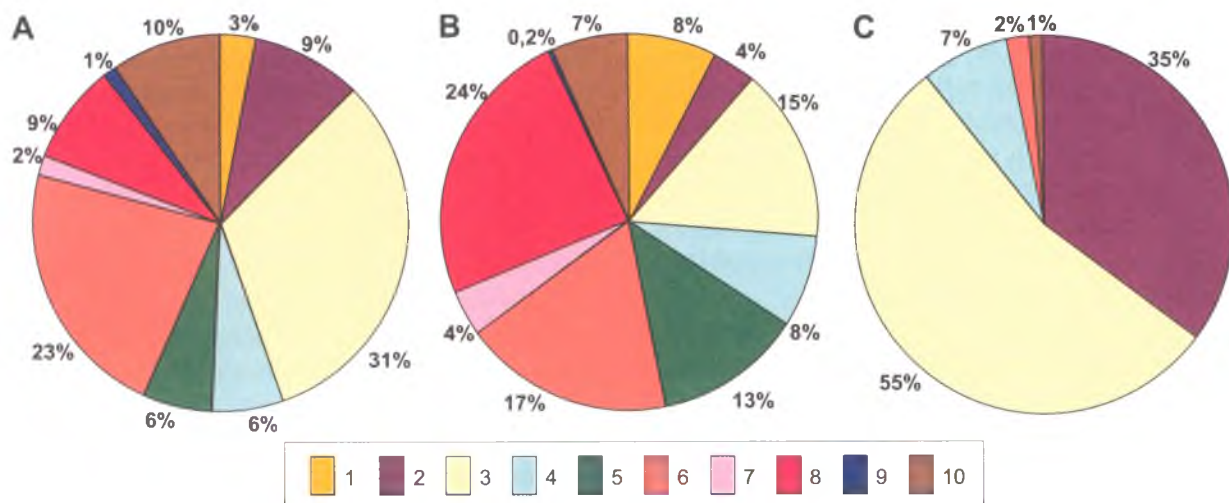
Sosna zwyczajna

Pod okapem sosny zwyczajnej w poziomie organicznym (i jego podpoziomach Ol i Of) dominuje przede wszystkim opad pochodzenia sosnowego, a w poziomie próchnicznym także korzenie sosny oraz śmiółka pogiętego, które występują pojedynczo i na tym etapie rozwoju gleby w dużej mierze one decydują o składzie materii organicznej gleby.

Pod względem stopnia rozkładu materii organicznej, zawartości związków alifatycznych (rozgałęzionych, nierozgałęzionych i cyklicznych), pochodnych węglowodanów, związków zawierających azot, fenoli oraz pochodnych furanu i piranu (rys. 50 A, B) podpoziomy Ol i Of wyraźnie się różnią od siebie. Duża zawartość fenoli (pochodne ligniny i polisacharydów) występuje w podpoziomie Of, a związki zawierające azot są obecne w podpoziomie Ol. Badania pirolityczne obejmujące poziom organiczny pod dojrzałym lasem sosnowym (SCHULTEN i in., 1997; HATCHER i in., 2001) wykazały też obecność podobnych produktów pirolitycznych pochodzących z ligniny (np. fenol, 3 i 4-metylofenol, gwajakol, 2-hydroksy-1-metoksy-5-metylobenzen, 4-winylofenol,

2-hydroksy-1-metoksy-4-winylobenzen, eugenol, trans izoeugenol, 4-hydroksy-3-metoksy-benzaldehyd (wanilina), 4-hydroksy-3-metoksyacetofenon) oraz z węglowodanów (furfural, 5-metylo-2-furaldehyd, glukozan). Obecność tych związków — według różnych autorów — świadczy o ich pochodzeniu z polisacharydów (SAIZ-JIMINEZ, DE LEEUW, 1986), protein, peptydów (VAN BERGEN i in., 1998), taniny i ligniny (SAIZ-JIMINEZ, DE LEEUW, 1986; NIEROP, 1998). W poziomie próchnicznym stwierdzono wyższy udział związków alifatycznych (rys. 50C) niż w poziomie organicznym.

Akumulacja związków alifatycznych zachodzi w trakcie postępującego rozkładu materii organicznej. Można wyróżnić trzy główne źródła związków alifatycznych w glebach: ekstrahowalne lipidy, biopoliestry kutynę i suberynę oraz niehydrolizujące biopolimery kutyny i syberyny, które występują w korzeniach *Pinus sylvestris* i *Deschampsia flexuosa* (NIEROP, 1998). Badania K.G.J. NIEROPA (1998) wyraźnie wykazały, że alkanany i alkeny nie są ograniczone w produktach pirolitycznych kutikulą i perydermą nadziemnych części roślin, lecz pochodzą też z korzeni i stanowią źródło związków alifatycznych w glebach leśnych.



Rys. 50. Procentowy udział związków organicznych w podpoziomach Ol (A), Of (B) oraz w poziomie próchnicznym (C) pod *Pinus sylvestris*

1 — związki alifatyczne rozgałęzione, 2 — związki alicykliczne, 3 — związki alifatyczne nierozgałęzione, 4 — związki aromatyczne, 5 — pochodne węglowodanów, 6 — związki zawierające azot, 7 — związki zawierające siarkę, 8 — fenole, 9 — pochodne prenylowe, 10 — pochodne furanu i piranu

Fig. 50. Percent participation of organic compounds in subhorizon Ol (A), Of (B) and humus horizon (C) under *Pinus sylvestris*
 1 — aliphatic branched compounds, 2 — alicyclic compounds, 3 — aliphatic unbranched compounds, 4 — aromatic compounds, 5 — derived carbohydrates, 6 — N-content compounds, 7 — S-content compounds, 8 — phenols, 9 — prenyl derived, 10 — furans and pirans derived

Podsumowując wyniki analizy z użyciem Py-GC/MS, należy podkreślić, że roślinność odgrywa bardzo istotną rolę w formowaniu się składu materii organicznej gleb. Tym samym jednym z najważniejszych momentów w trakcie rozwoju gleb piaszczystych jest kształtowanie się poziomu organicznego i próchnicznego. Z rozkładającej się materii organicznej uwalniają się: CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} i SO_4^{2-} , stanowiące źródło składników pokarmowych dla rozwijających się roślin. Grupy funkcyjne związków organicznych mogą reagować z metalami oraz innymi substancjami, a następnie je uwalniać i dostarczać jako składniki pokarmowe roślinom i mikroorganizmom glebowym. To z kolei wpływa na aktywność biologiczną gleby, pośrednio przyspieszając sukcesję glebową, a także na właściwości fizykochemiczne (SPARKS, 2003; BEDNAREK i in., 2004).

8.4. Podsumowanie i dyskusja

Zmian właściwości gleby wywołanych dominującymi gatunkami roślin można się spodziewać ze względu na to, że:

1) różne gatunki roślin i ich opad (gałązki, kora, liście itp.) w znaczący sposób mogą się różnić ze względu na skład chemiczny, zwłaszcza zawartość składników odżywczych (ZONN, 1954; TUSZYŃSKI, 1972), jak i wtórnych związków chemicznych powstających podczas rozkładu (SCHIMEL, CATES, RUESS, 1998) oraz

2) gatunki różnie modyfikują skład chemiczny opadu atmosferycznego przepływającego przez ich liście oraz gałęzie i pnie.

Wzbogacone w składniki pokarmowe opady, spływające po pniach i innych częściach rośliny, mogą zmieniać glebę znajdującą się pod okapem, zwłaszcza u podstawy łodygi/pnia. Pod okazałymi drzewami takie zmiany gleby są funkcją odległości od głównego pnia (ZINKE, 1962; GRUBB i in., 1969; LODHI, 1977; RAHMONOV, KRĘCIAŁA, 2004); ten sam mechanizm obserwuje się też na badanym obszarze. Jak już wcześniej wspomnia-

no, opady atmosferyczne wyraźnie wpływają na skład florystyczny biocenoz formujących się pod ich okapem (wierzby ostrolistnej, sosny zwyczajnej, brzozy brodawkowatej i dębu szypułkowego). W przypadku powierzchni, na której obserwuje się wypieranie wierzby przez sosnę, można zaobserwować zmiany niektórych właściwości gleby, np. pH w górnych poziomach, ilości materii organicznej, zawartości kationów wymiennych i inne.

Z prowadzonych badań wyraźnie wynika, że gatunki liściaste — *Salix acutifolia*, *S. arenaria*, *Quercus robur* i *Betula pendula* — w porównaniu z *Pinus sylvestris* utrzymują wyższe wartości odczynu (pH) w poziomach powierzchniowych i zmniejszają tempo procesu bielcowania. Jak już wcześniej podkreślono (rozdz. 7), pod stosunkowo młodą sosną (35-letnią) zanotowano występowanie makroskopowo widocznego wybielenia ziaren kwarcu. Proces ten czasem odnotowywano też pod dębami (KUBIENA, 1953; MACNEY, 1961; BUBLINEC, 1973) i bukami (DIMBLEBY, GILL, 1955; ANDERSEN, 1979). Niemniej jednak produkcja próchnicy typu mor oraz zakwaszenie i bielcowanie pod dębami i bukami zachodzi o wiele łagodniej niż pod sosnami i świerkami (BUBLINEC, 1973; LHOTSKY, 1973). Bogactwo składników mineralnych o charakterze zasadowym zmniejsza intensywność tego procesu.

Opad wierzb oraz innych gatunków liściastych jest bogaty w pierwiastki o charakterze zasadowym oraz w azot (RODIN, BAZILEVICH, 1965). W przeciwieństwie do igliwia sosnowego zawiera mało substancji garbnikowych, wosków i smoły. Z tych względów opad ściółki wierzbowej jest rozkładany głównie przez florę bakteryjną. W wyniku rozkładu opadu powstają kwasy próchniczne: fulwowe (głównie w przypadku rozkładu igliwia) i huminowe. Te ostatnie są słabo rozpuszczalne w wodzie (PONOMAREVA, 1964; PONOMAREVA, PLOTNIKOVA, 1980; ALEKSANDROVA, 1980), co wpływa na ich małą ruchliwość. W związku z tym są one akumulowane bezpośrednio pod poziomem organicznym, dając ciemne zabarwienie poziomom genetycznym gleby.

Tempo mineralizacji opadu roślinnego jest uwarunkowane jego właściwościami — składem chemicznym i morfologią materiału. Szczątki roślinne cienkie, miękkie (przede wszystkim z wierzby i brzozy) mineralizują się szybciej niż materiały twarde, skórzaste, grube, jak igły sosnowe, szyszki, kora. Skład chemiczny i morfologia liści sosny nie sprzyjają intensywnej mineralizacji. Są twarde, pokryte grubą kutikulą, trudno się zwilżają i są słabo połączone ze starszym materiałem organicznym. Następnym czynnikiem hamującym mineralizację jest zawartość związków działających bakteriostatycznie, takich jak tanina, żywica, fenole (PETERSON, ROLFE, 1982). Tempo rozkładu materii organicznej ma decydujące znaczenie z uwagi na uwalnianie składników pokarmowych i ich dostępność dla roślin, a pośrednio na funkcjonowanie ekosystemów. Produkty biomasy są o wiele większe pod okapami wierzby niż sosny. Wynika to z corocznego opadu liści wierzby oraz obumierania masy korzeniowej i nadziemnych części roślin zielnych rosnących pod okapem wierzby. Przyspiesza to proces gromadzenia przetworzonej materii organicznej, ponieważ opad wspomnianych gatunków rozkłada się w tym samym roku lub w roku następnym, czego wynikiem jest o wiele mniejsza miąższość poziomu organicznego (O) pod wierzbami niż pod sosnami (rys. 34, 37). Akumulacja materii organicznej nie tylko bezpośrednio zwiększa zasoby pokarmowe (azot i inne pierwiastki), lecz także modyfikuje wilgotność, aerację oraz pojemność wymiany kationowej (PWK). Poza azotem i fosforem kationy zasadowe wydają się szczególnie ważne dla rezerw pokarmowych. Obserwowano ich wyraźne zróżnicowanie pionowe uzależnione od stopnia rozwoju podpoziomów organicznych (rozdz. 7).

Formowanie się poziomu organicznego w ekosystemach leśnych L.G. BOGATYREV (1996) uznaje za jeden z najważniejszych procesów biogeocenotycznych. Poziomy organiczne i próchniczne na obszarach piaszczystych odgrywają bardzo istotną rolę w funkcjonowaniu ubogich ekosystemów. Stanowią zasoby składników odżywczych roślin, ulepszają stosunki

wilgotnościowe, termiczne, aerację gleby oraz wpływają pośrednio na różnorodność biologiczną. W większości biomasa drobnych korzeni roślin znajduje się w poziomie próchnicznym, a ich rozmieszczenie wykazuje wyraźne uzależnienie od miąższości poziomu próchnicznego. Jest to szczególnie widoczne przy powstawaniu pagórków fitogenicznych (RAHMONOV i in., 2005). Nagromadzenie materii organicznej potencjalnie przyspiesza wszystkie procesy zachodzące w środowisku glebowym, ulepszając jego funkcje ekologiczne.

Rozwój i tempo sukcesji ekologicznej zależy od warunków topograficznych, a także mikrotopograficznych, stosunków wodnych i wieku pojedynczych gatunków. Cień okapu, liście, rozkładające się drewno i nagromadzenie próchnicy wokół krzewów wierzby i pionierskich gatunków drzew są bardzo ważnymi czynnikami różnicującymi nisze ekologiczne, zwłaszcza w inicjalnych fazach rozwoju ekosystemu. Zachodzące procesy chemiczne i biologiczne (np. wietrzenie, mineralizacja) zmieniają środowisko, a zmiany glebowe zależą od organizmów żywych i odwrotnie.

Jak wynika z przedstawionego schematu sukcesji roślinności (rozdz. 6), pod badanymi gatunkami krzewów i drzew udział roślin zielnych jest większy pod gatunkami liściastymi niż iglastymi, co ma również istotny wpływ na zmiany odczynu gleby. Jak twierdzi G.V. JACK (1956), rośliny zielne są najlepszym znanym „polepszaczem” gleby. Badania nad glebami prerii w Ameryce Północnej wykazały, że gleba była tam mniej kwaśna, charakteryzowała się udziałem większej ilości kationów wymiennych zasadowych, mniejszą miąższością materii organicznej niż na terenach leśnych, a także nie miała poziomu wymycia (JENNY, 1980; UGOLINI, EDMONDS, 1983).

Gatunkiem zielnym charakterystycznym dla borów sosnowych, który występuje na obszarze Pustyni Błędowskiej, *Deschampsia flexuosa*, zazwyczaj związana z kwaśną próchnicą typu mor (HUNTER, 1962). Produkując tego typu próchnicę gatunek ten sprzyja procesom zakwaszania i bielcowania (PIGOTT, 1970; NIEROP, VAN LAGEN,

BUURMAN, 2001). Pojedyncze występowanie omawianego gatunku pod sosnami na tym etapie nie wpływa znacząco na odczyn gleby z uwagi na małą bioproduktywność, ale jako gatunek wskaźnikowy pokazuje kierunek rozwoju roślinności i związanej z nią gleby, w tym przypadku boru sosnowego oraz gleb bielcowych i biellic w przyszłości.

Prowadzone badania wskazują na wyraźne zróżnicowanie składu materii organicznej gleb w różnych fazach sukcesji pod dominującymi zbiorowiskami z roślinami zarodnikowymi oraz naczyniowymi. Analiza składu organicznego tkanek roślin porastających daną powierzchnię ułatwia określenie pochodzenia danej grupy związków organicznych w glebie. Dokonano porównania występowania i zróżnicowania składu materii organicznej w tkankach roślin oraz w poziomie próchnicznym gleb rozwijających się pod wpływem dominujących zbiorowisk serii borowej w jej inicjalnych stadiach i fazach. Zbiorowiska te są pierwszymi elementami chronosekwencji tworzących się gleb bielcowych. Analiza materii organicznej gleb na podstawie pirogramów z poziomów próchnicznych (A) pod trawami (*Corynephorus canescens*, *Koeleria glauca*) wskazuje na jej odmienność w porównaniu z produktami pirolitycznymi spod zbiorowisk glonowo-sinicowych. Pochodne węglowodanów oraz związki zawierające azot są częstszymi elementami w produktach pirolitycznych pod zbiorowiskami glonowo-sinicowymi i mszakami niż pod sosną zwyczajną.

Materia organiczna w glebie w fazach inicjalnych pochodzi przede wszystkim z plechy sinicowo-glonowej, biologicznej skorupy glebowej, *Polytrichum piliferum*, a wśród związków organicznych mających istotny wpływ na tempo sukcesji na tym etapie należy wymienić: pochodne węglowodanów, związki zawierające azot, siarkę oraz pochodne furanu i piranu. Szybki rozkład i humifikacja plechy roślin zarodnikowych umożliwiają stosunkowo szybkie nagromadzenie materii organicznej w glebie, która stanowi potencjalne źródło składników odżywczych dla organizmów wczesnosukcesyjnych, a następnie późnosukcesyjnych.

Większość gatunków porastających obszar badań jest znana jako gatunki o niskich wymaganiach siedliskowych (ELLENBERG i in., 1991; ZARZYCKI i in., 2002). Jest to przypuszczalnie jeden z wielu powodów wyjaśniających, dlaczego gatunki te dobrze przystosowują się, biorą udział w sukcesji pierwotnej i wtórnej w ekstremalnych warunkach środowiskowych. Istotne są informacje o składzie chemicznym liści różnych gatunków i ich wpływie na zwiększenie składników dostępnych w glebie, które mogą wyjaśnić mineralne odżywianie się roślin (KWIATKOWSKA, 1988). Mała zawartość składników popielnych w tkankach tych gatunków prawdopodobnie wynika z niskich wymagań roślin i może tłumaczyć, dlaczego wkraczają na piaski oraz wydmy i zasiedlają je w inicjalnym stadium sukcesji, a także dlaczego utrzymują się w glebie ubogiej w składniki pokarmowe.

Rośliny pobierając pierwiastki z gleby oraz dostarczając do niej resztki organiczne znacząco wpływają na zawartość różnych pierwiastków. Większość badań wykazała, że specyficzny wpływ gatunku na ekosystem wynika właśnie ze składu chemicznego różnych frakcji jego opadu, zwłaszcza liści (LINDER, 1995; COMPTON, COLE, HOMANN, 1997). Zawartość składników odżywczych w liściach jest powszechnie znana jako efekt statusu pokarmowego u roślin (CHAPIN, 1980; TAMM, 1995). Liście zawierają większość składników pokarmowych krążących w ekosystemach leśnych i zaroślowo-leśnych (NORDÉN, 1994a, b). Zarówno czynniki endogeniczne, jak i egzogeniczne przyczyniają się do zmian zawartości składników w liściach w czasie i przestrzeni (SABATÉ i in., 1995; ORGEAS, OURCIVAL, BONIN, 2002). Zmienność przestrzenna może być spowodowana pierwotnie przez zmienność samej gleby (FITTER, HAY, 1989), topografię terenu, pionową i poziomą strukturę fitocenozy oraz wpływ człowieka.

Składniki pokarmowe występujące w poziomie próchnicznym mają swe źródło nie tylko w samej glebie (z rozkładu minerałów oraz mineralizacji szczątków roślin, które wyrosły na tej glebie), lecz pochodzą też z otoczenia. Źródłami zewnętrznymi, np. azotu, mogą być drobne zwię-

rzęta glebowe zasiedlające opad roślinny i odżywiający się nim, ekskrementy tych zwierząt, wiązanie wolnego azotu, chemiczne wiązanie azotu amonowego i azotanowego z opadów atmosferycznych (LINDBERG, HARRIS, HOFFMAN, LOVETT, TURNER, 1989; DZIADOWIEC, 1990). Dostawa z atmosfery może być w formie mokrego lub suchego opadu.

Jak wspomniano wcześniej, pod okapem wierzb i innych gatunków liściastych na obszarze Pustyni Błędowskiej zachodzi co roku prawie cały cykl biologicznego krążenia substancji mineralnych. W ten sposób gatunki liściaste co roku wzbogacają górne poziomy glebowe. To powoduje wkraczanie innych gatunków roślin i w ten sposób zwiększa ogólną produkcję biomasy, konsekwencją czego jest zróżnicowanie poziomów organicznych. Stały udział w składzie chemicznym opadu roślinnego i opadów atmosferycznych związków Ca i K utrzymuje lekko kwaśny odczyn gleb, hamując w ten sposób tendencję do silnego zakwaszania gleb rozwijających się z ubogich piasków.

Związki mineralne biorące udział w krążeniu biologicznym materii w systemie roślina — gleba sprzyjają biogeochemicznej syntezie wtórnych minerałów glebowych. Na tej drodze tworzy się m.in. wtórny kwarc, montmorillonit, getyt i inne formy półtoratlenków żelaza i glinu oraz cała grupa minerałów rozpuszczalnych, krążących z roztworami glebowymi (KOŹDA, 1956). Roślinność trawiasta i liście (zwłaszcza z gatunków liściastych) co roku pod koniec okresu wegetacyjnego obumierają i ulegają mineralizacji, zwracając w ten sposób do gleby wszystkie substancje mineralne, które zostały z niej pobrane w trakcie okresu wegetacyjnego.

Drzewa i krzewy stanowią specyficzny filtr atmosferyczny wchłaniający CO₂ oraz inne gazy, a także pyły atmosferyczne. Taki filtr jest bardziej widoczny w uprzemysłowionych regionach, np. na Górnym Śląsku, gdzie występują duże zawartości związków azotu, siarki, opady pyłu oraz pył zawieszony (RAHMONOV i in., 2005). Drzewa wpływają na glebę, dostarczając materię orga-

niczną o zróżnicowanym składzie chemicznym. Nadziemny opad roślinny jest składowany na powierzchni gleby, gdzie zmiany mikrośrodowiskowe doprowadzają do ich rozkładu. Podziemne części roślin stanowią specyficzne środowisko w mineralnej części gleby. Opad roślinny dostarcza pokarm zróżnicowanej grupie zwierząt glebowych, bakteriom i grzybom.

Drzewa i ich okap łagodzą kontrasty termiczne gleby. Aktywność korzeni wpływa na aerację gleby dzięki wykorzystaniu tlenu podczas oddychania oraz na rozkład, zmianę porowatości gleby i jej strukturę. Drzewa i krzewy zmniejszają zawartość wody w glebie w wyniku transpiracji. Wilgotność gleby, jak sugeruje D. BINKLEY (1995), wykazuje zależność od gatunku i architektury jego okapu przechwytyjącego opady, ewapotranspiracji oraz transpiracji.

Brak źródła nasion, niesprzyjające warunki siedliskowe, zaburzenia antropogeniczne lub inne czynniki biotyczne mogą w inicjalnych fazach sukcesji roślinno-glebowej zatrzymywać wkraczanie gatunków drzew, a z kolei brak cienia oraz powierzchnia opadu roślinnego, zwłaszcza liści, mogą opóźnić procesy i zmiany zachodzące w procesie kształtowania się sukcesji roślinno-glebowej. W takich sytuacjach udział mrówek i mrowisk na badanym terenie, na każdym etapie sukcesji, jest bardzo istotny i objawia się w roznoszeniu nasion do mrowiska i ich ochronie przed niesprzyjającymi warunkami ekologicznymi oraz ich kiełkowaniu w okolicy mrowiska (fot. 30 a, b). Mrówki budują mrowiska pod wierzbą ostrolistną i piaskową, sosną (rzadziej), płatami mszaków oraz na polu deflacyjnym pod pojedynczymi kępami szczytliwych i skorupy glonowej. Owady te przyczyniają się też do wymieszania materii organicznej z częścią mineralną, polepszania aeracji w glebie, przyspieszenia procesu glebotwórczego oraz wzbogacenia gleby w substancje organiczne własnej produkcji na drodze asymilacji. Jest to jeden z powodów, dla których Darwin proponował uznać glebę za warstwę zwierzęcą (DOBROWOLSKI, 1968).



Fot. 30 a — Mrowisko w obrębie murawy szczotlichowej (stadium inicjalne), **b** — rozwój młodych okazów sosny wokół mrowiska (fot. autor)

Phot. 30 a — Ant-hill within *Corynephorus* grasses (initial stage), **b** — development of juvenial example of pines around ant-hill (phot. author)

9. Uwagi końcowe i wnioski

W ciągu minionych 40 lat (1955—1996) na obszarze Pustyni Błędowskiej zaszły dość istotne zmiany w pokrywie roślinnej i glebowej. Wszystkie te zmiany mają związek z dynamiką przestrzenną roślinności. Na podstawie analizy zdjęć lotniczych można stwierdzić, że jeszcze w 1955 roku prawie cała powierzchnia Pustyni była pozbawiona roślinności. Rośliny trawiaste tylko częściowo pokrywały większość drobnych wydm, natomiast wydmy wały brzeżne były zajęte przez roślinność leśną. Krzewy odgrywały wówczas niewielką rolę. Po upływie 40 lat, w 1996 roku, z powodu ingerencji człowieka oraz wskutek spontanicznej sukcesji i ekspansji krzewów wierzb i roślinności trawiastej powierzchnie zajęte przez roślinność zdecydowanie się zwiększyły. Naprzemienne nasadzenia gatunków iglastych i liściastych, tworzące charakterystyczną szachownicę, są dobrze widoczne na zdjęciach lotniczych z 1996 roku. Te sztuczne zalesienia doprowadziły do dalszego zmniejszenia obszaru lotnych piasków oraz przyczyniły się do zahamowania naturalnego przebiegu procesów sukcesyjnych. Poza terenami, na których prowadzono zalesienia, wkraczanie roślinności ma charakter spontaniczny. Wyraźne przyspieszenie procesów sukcesyjnych, polegających na zagęszczaniu roślinności drzewiastej, obserwuje się od końca lat 70. XX wieku. Ważne znaczenie dla tempa sukcesji miały pośrednio sztuczne zalesienia, które przyczyniły się do zmniejszenia prędkości wiatru na pozostałych niezalesionych fragmentach przez zamknięcie korytarza dla wiejących z zachodu i południowego zachodu wiatrów. Inicjalne bory sosnowe *Leucobryo-Pinetum* oraz roślin-

ność psammofilna (głównie *Corynephorus canescens*, *Koeleria glauca*, *Festuca ovina*, rzadziej *Elymus arenarius*) z krzewami *Salix acutifolia* i *S. arenaria* obecnie pokrywają prawie całkowicie badany obszar, a wcześniejsze młode bory zamieniły się częściowo w bory dojrzałe. Często spotyka się tu także płyty pokryte zwartymi kobiercami mszaków z dominacją *Polytrichum piliferum*.

Badania wykazały, że przemiana roślinności na obszarze Pustyni Błędowskiej ma charakter sukcesji zarówno pierwotnej, jak i wtórnej. Wyróżniono w niej dziewięć faz, które połączono w trzy stadia (inicjalne, optymalne, terminalne), obejmujące łącznie udokumentowany okres około 200 lat. Sukcesja pierwotna przebiega na powierzchni luźnego i nagiego piasku, natomiast sukcesja wtórna na powierzchniach z pozostałością gleb kopalnych. Najdłużej utrzymujące się fazy sukcesji są związane z glonami oraz murawami szcztlichowymi i strzępicowymi. Najszybsze są fazy przejściowe (optymalne) związane ze zbiorowiskami wierzbowymi. Zarówno faza inicjalna, jak i optymalna są ważnymi momentami w trakcie sukcesji, podczas których rozwijają się biogrupy, znacząco wpływające na tempo sukcesji i formowanie się zbiorowisk leśnych.

Stwierdzono istotne znaczenie ekologiczne i edaficzne fazy 0 z udziałem przedstawicieli glonów (*Algae*) i sinic (*Cyanophyta*). Pod względem występowania gatunków glonów piaski Pustyni Błędowskiej charakteryzują się słabym zróżnicowaniem, wynikającym z jednorodnego podłoża piaszczystego. Udział algocenozy naziemnych zmniejsza się wraz z rozwojem roślin naczynio-

wych i w wyniku konkurencji o nisze ekologiczne, a szczególnie o światło.

Badania nad inicjacją i rozwojem procesów glebowych podczas sukcesji roślinności serii borowej, prowadzone na obszarze Pustyni Błędowskiej na powierzchniach o różnym stopniu rozwoju pokrywy glebowej i roślinności, pozwoliły na ustalenie przebiegu procesu formowania się gleby od momentu inicjacji aż do częściowego ustabilizowania się.

Gleby kształtujące się na obszarze Pustyni Błędowskiej oraz na terenach bezpośrednio do niej przylegających wykazują zróżnicowaną budowę profilową oraz odmienne barwy poszczególnych poziomów genetycznych w zależności od stopnia rozwoju i zwarcia zbiorowisk roślinnych. Zaobserwowano także systematyczne tworzenie się kolejnych poziomów lub podpoziomów w miarę postępu sukcesji serii borowej. Miąższość solum w regosolach i arenosolach wynosi średnio od 10 cm do 25 cm, a w przypadku gleb bielcowych w inicjalnym stadium rozwoju — do ok. 50 cm.

Proces rozwoju gleb na obszarze Pustyni Błędowskiej przebiega dwojako. Pierwszy sposób zaobserwowano na obszarach, na których pokrywa glebowa została zniszczona i rozwiana w całości. Ten sposób formowania się gleby uznano za pierwotny etap rozwoju gleb, a rozwój roślinności na takim terenie uznano za sukcesję pierwotną. Takie powierzchnie należy uznać za zerową (startową) fazę sukcesji, zainicjowaną przede wszystkim przez *Algae* i *Cyanophyta*, z których udziałem tworzą się gleby inicjalne luźne (regosole). Można tu obserwować gromadzenie się substancji organicznej produkowanej przez algocenozy, stanowiącej pierwotną próchnicę na luźnym, ubogim podłożu mineralnym. Drugi sposób rozwoju pokrywy glebowej na powierzchniach nad glebami kopalnymi ogłowionymi lub pełnoprofilowymi zachodzi w warunkach wtórnej sukcesji roślinnej w postaci zmian cyklicznych. Związane jest to z depozycją i redepozycją piasku oraz z wkraczaniem roślinności, których wynikiem jest naprzemianległe występowanie ciemnego i jasnego piasku. Ten cykl może się powtarzać kilka razy i w ten sposób tworzą się kolejne sekwencje gleby. Jest to klasyczny przy-

kład relacji pomiędzy roślinnością i kształtowaniem się gleb. Obecność licznych kopalnych poziomów próchnicznych występujących w badanych profilach arenosoli, formujących się na częściowo ogłowionych glebach kopalnych, wskazuje na ogromną rolę roślinności podczas zarastania Pustyni Błędowskiej i kształtowania jej morfologii. Liczba warstw i liczba inicjalnych gleb kopalnych jest uwarunkowana rozmieszczeniem gleb kopalnych i ich arealem na badanym obszarze. Zjawisko to można łatwo zaobserwować także podczas tworzenia się wałów wydmych i pagórków fitogenicznych na tym terenie.

W obrębie niektórych badanych profili glebowych (I.4—I.8) widoczne jest wyraźne formowanie się poziomu organicznego i jego zróżnicowanie pionowe na podpoziomy w miarę wzrostu gatunków i rozwoju zbiorowisk, wraz z kompletowaniem się typowych gatunków borowych. Obserwuje się także zmiany we właściwościach chemicznych gleb, takie jak: zawartości węgla organicznego (Corg), azotu ogólnego (Nt), odczynu (pH), stosunku węgla do azotu (C/N) oraz zawartości pedogenicznych tlenków żelaza i glinu.

Istotną zmianę morfologiczną obserwuje się w obrębie słabo wykształconych gleb bielcowych (I.7 i I.8) pod inicjalnymi borami sosnowymi (40-letnimi) — z niemal pełnym składem gatunkowym, charakterystycznym dla związku *Dicrano-Pinion* — w postaci wyraźnie wybielonych ziaren kwarcowych, wskazujących na tworzenie się poziomu wymycia, charakterystycznego dla gleb bielcowych i biellic. W tych profilach stwierdza się także przemieszczanie pedogenicznych form żelaza i glinu. Są to bardzo ważne wskaźniki geochemiczne wskazujące na bielcowy kierunek procesu glebotwórczego, które — oprócz acidofilnych gatunków roślin (*Deschampsia flexuosa*, *Pyrola chlorantha*, *Moneses uniflora*, *Orthila secunda*, *Vaccinium myrtillus*) — świadczą o formowaniu się zbiorowisk w kierunku borowym.

Analiza map i zdjęć lotniczych z różnych okresów ułatwia obserwację sukcesji roślinnej i rozwoju gleb na ubogich piaskach. Tempo i rozwój sukcesji zachodzącej w materiale eolicznym nad glebami kopalnymi zdeterminowane są zapewnieniem składników pokarmowych i wilgoci z gle-

by kopalnej. Brak żyznego podłoża faworyzuje rośliny z niskimi wymaganiami ekologicznymi, które są stosunkowo mało skuteczne w uruchamianiu krążenia składników pokarmowych zawartych w utworach piaszczystych. Wiąże się to z ubogim składem chemicznym tkanek tych gatunków. Małe zasoby składników pokarmowych oraz tendencja do ich wymywania w ekosystemie związanym z podłożem piaszczystym, a także z niską wilgocą mogą wyjaśniać wolne tempo sukcesji i niezłożoną strukturę zbiorowisk na ubogich obszarach piaszczystych.

Rośliny wpływają na powstawanie i rozwój gleby w ubogich siedliskach piaszczystych Pustyni Błędowskiej przez utrwalanie luźnej powierzchni, wietrzenie minerałów, transport składników ku powierzchni i w głąb profilu, tworzenie fitoklimatu, regulację wilgotności, wydzieliny korzeni o charakterze organiczno-mineralnym, dostarczanie opadu do rozkładu i uwalnianie z niego składników odżywczych.

Wyraźnie odmienny jest wpływ różnych edyfikatorów na sukcesję roślinną i zmiany gleb, wynikający z ich biologii i ekologii. Tworzą one w obrębie pola piaszczystego odizolowane powierzchnie w postaci wysp glebowych i pokarmowych. Małopowierzchniowe obszary wysp glebowo-roślinnych powstają w wyniku działania pola fitogenicznego, co jest uwarunkowane efektem okapowym. Kształt i rozmiar okapów poszczególnych gatunków mają odmienny wpływ na zróżnicowanie florystyczne oraz tempo sukcesji roślinnej i rozwój gleb. Krzewy i drzewa powodują gromadzenie glebowych składników odżywczych w wyspach pokarmowych zlokalizowanych pod ich okapami, podczas gdy sąsiadujące jałowe przestrzenie między krzewami często pozbawione są aktywności biotycznej. Wyspy pokarmowe stanowią najbardziej wyrazisty przykład wpływu roślin na glebę. Do czynników przyczyniających się do ich powstawania w środowisku suchym i ubogim należą: dostawa materii organicznej pod okapy, wiązanie azotu i jego koncentracja w strefie zasięgu korzeni, przechwytywanie cząstek mineralnych z atmosfery przez okapy, przesiąkanie wody opadowej i spływ po pniu do jego podstawy, większe zatrzymywanie wilgoci w strefach okapowych niż w przestrze-

niach pomiędzy nimi, co jest spowodowane różnicami w strukturze powierzchni gleby.

Jednym z obserwowanych procesów glebowych pod badanymi gatunkami jest szybkie zwiększanie się miąższości poziomu próchnicznego, szczególnie pod *Salix acutifolia*, *S. arena-ria* oraz *Quercus robur*. Wszystkie właściwości gleby, wspólnie z materią organiczną gleb, zmieniają się szybko w miarę tworzenia się i zwiększania powierzchni cienia oraz akumulacji materii organicznej. Stwierdzono wyraźne różnice podczas formowania się poziomów organicznych i próchnicznych pod badanymi okapami gatunków krzewów i drzew (*Salix acutifolia*, *Betula pendula*, *Quercus robur* i *Pinus sylvestris*). Najbardziej miąższy poziom próchniczny zaobserwowano pod *Quercus robur*. Poziomy organiczne w formujących się ekosystemach piaszczystych stanowią ważny magazyn składników pokarmowych dla roślin, które są uwalniane w trakcie rozkładu szczątków organicznych nagromadzonych w tych poziomach. Kolejnym źródłem kationów biofilnych jest depozycja mokra i sucha zanieczyszczeń atmosferycznych, dodatkowo wzbogacająca ubogie siedliska piaszczyste.

Poziomy i podpoziomy organiczne pod okapami stwarzają korzystne warunki dla rozwoju i bytowania organizmów glebowych, które z kolei wpływają też na cechy gleby. Ze względu na młody wiek gleby i słabe zróżnicowanie poziomów glebowych materia organiczna leżąca bezpośrednio nad warstwą mineralną odgrywa istotną rolę ekosystemową w inicjalnych stadiach sukcesji roślinnej i rozwoju gleb, w których ilość i jakość materii organicznej warunkuje pojemność sorpcyjną oraz ilość kationów wymiennych dostępną dla roślin. Znaczny udział kationów zasadowych w składzie chemicznym gatunków liściastych przyczynia się do zmniejszenia kwasowości gleby.

W procesie inicjacji gleby znaczenie ma również dostawa materii organicznej niesionej przez wiatr z bliżej położonych lasów na otwarte tereny pozbawione roślinności. Opad zatrzymuje się w zagłębieniach i zwykle zostaje zasypyany piaskiem. Transport liści przez wiatr przyczynia się do tego, że pewne obszary z zaroślami po przechwyceniu liści stają się jeszcze bogatsze niż

obszary pozbawione roślinności. Dlatego bogate siedliska stają się jeszcze bogatsze, a biedne — uboższe. Grubofrakcyjny opad roślinny pogrzebany przez piasek oraz leżący na jego powierzchni stanowi rezerwę zasobów pokarmowych, która po pewnym czasie staje się dostępna i w ten sposób może wspomagać kolejne ogniwo sukcesji. Uwalniane w trakcie rozkładu pierwiastki mogą kilka razy krążyć w systemie gleba — roślina — zwierzęta — mikroorganizmy, zwłaszcza w powolnie formującym się ekosystemie piaszczystym.

Wyniki badań nad relacją pomiędzy roślinnością a pokrywą glebową podczas sukcesji serii borowej na piaszczystych obszarach Pustyni Błędowskiej skłaniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Wykorzystywane archiwalne materiały kartograficzne i zdjęcia lotnicze są bardzo cenne w ocenie przemian roślinności w czasie i przestrzeni. Na podstawie zdjęć lotniczych i ich weryfikacji terenowej na obszarze Pustyni Błędowskiej wyróżniono powierzchnie związane z sukcesją pierwotną i wtórną. Pozwoliło to również na określenie czasu kształtowania się zbiorowiska leśnego podczas sukcesji na ubogich piaskach kwarcowych.

2. Prowadząc badania nad przebiegiem sukcesji i jej podziałem na stadia i fazy poza zmianą liczby gatunków czy podejściem fitosocjologicznym należy brać pod uwagę następujące cechy gleby, które w miarę postępu sukcesji ulegają zmianie. Są to:

- podpoziomy poziomu organicznego,
- morfologia gleby,
- barwa gleby,
- miąższość solum gleby,
- zawartość węgla organicznego,
- zawartość azotu ogółem (Nt),
- odczyn gleby,
- relacje między formami glinu i żelaza.

Zróznicowane wartości pedogenicznych form żelaza (Fe) i glinu (Al) mają związek ze stadiami i fazami sukcesji roślinności i mogą służyć nie tylko jako wskaźnik stopnia rozwoju gleby, lecz mogą być także zastosowane do oceny stopnia zaawansowania sukcesji roślinności.

3. Główną rolę w organizacji ekosystemów piaszczystych w jej inicjalnej fazie odgrywiają

sinice i glony. Ich rola polega na utrwalaniu luźnego piasku, jego wzbogacaniu, wchłanianiu i zatrzymywaniu wilgoci oraz gromadzeniu materii organicznej i tym samym na inicjacji procesów glebotwórczych. Przy badaniach na podobnych obszarach omijanie tej fazy sukcesji może doprowadzić do wyciągnięcia błędnych wniosków.

4. Obszar Pustyni Błędowskiej przed uruchomieniem procesów eolicznych wywołanych działalnością człowieka był pokryty glebami bielico-wymi i bielicami, które rozwinęły się przy udziale borów sosnowych, o czym świadczą pozostałości poziomu wzbogacania (spodic) z charakterystycznym próchniczno-żelazistym podpoziomem Bhfe.

5. Porównywalny skład granulometryczny, a także podobieństwo w pierwiastkowym składzie całkowitym materiału piaszczystego w poziomie C wskazuje na podobieństwo skały macierzystej tworzących się gleb. Głębokość zalegania tego poziomu w badanych profilach waha się od 2 cm do około 15 cm, co także wskazuje na inicjację procesów glebowych na podobnym materiale i w porównywalnym czasie. Kierunkiem procesu glebotwórczego na badanym terenie jest bielicowanie i już w ciągu 35 lat obserwuje się pod okazami sosny zwyczajnej ślady tego procesu w postaci wybielonych ziaren kwarcu.

W inicjalnych fazach sukcesji dominującym procesem glebotwórczym jest akumulacja i humifikacja materii organicznej, a w konsekwencji tworzenie się poziomu organiczno-próchnicznego (OA, O/A) oraz próchnicznego (A).

6. Proces formowania się pokrywy glebowej przebiega równolegle z sukcesją roślinności, z tą różnicą, że jego tempo jest wolniejsze. W przeciwieństwie do sukcesji roślinnej obserwacja procesów glebowych jest trudniejsza z uwagi na czas trwania pedogenezy i w związku z tym wykorzystana chronosekwencja roślinno-glebową na zróżnicowanych wiekowo rzeczywistych zbiorowiskach roślinnych ułatwiła określenie relacji pomiędzy tworzącą się pokrywą roślinną i glebową w trakcie postępującej sukcesji.

7. Gleby na terenie Pustyni Błędowskiej ze względu na swoją dynamikę związaną z procesami eolicznymi oraz antropogeniczną eksploatacją terenu należą w większości do gleb młodych. Ich

rozwój zdeterminowany jest sukcesją roślinności na obszarach już utrwalonych. Wyraźną różnicę obserwuje się we wpływie poszczególnych zbiorowisk z dominującymi gatunkami na tempo procesów glebotwórczych. Zmiany te są widoczne zarówno w morfologii, jak i we właściwościach chemicznych gleb, takich jak: tworzenie się poziomu organicznego i jego pionowe zróżnicowanie na podpoziomy, tworzenie się poziomu wymycia, zawartość węgla organicznego (Corg), azotu ogółem (Nt), stosunek węgla do azotu (C/N), odczyn (pH) oraz zawartość pedogenicznych form żelaza (Fe) i glinu (Al).

Na podstawie cech morfologicznych oraz akumulacji substancji organicznej na badanym obszarze wyróżniono trzy stadia rozwojowe gleb: początkowe (regosole), przejściowe (arenosole i wpółdojrzałe — gleby bielcowe w inicjalnym stadium rozwoju) i dojrzałe (gleby bielcowe właściwe).

Regosole, arenosole i gleby bielcowe słabo wykształcone, tworzące chronosekwencję, mają ścisły związek z pierwotną i wtórną sukcesją roślinności serii borowej. Współcześnie obserwowanym procesem glebotwórczym jest bielcowanie, co jest zgodne z pierwotnym kierunkiem rozwoju gleby, stanowiąc jego kontynuację.

8. Gatunki krzewów i drzew odmiennie wpływają na akcelerację sukcesji oraz inicjację procesu glebotwórczego i dalszy jego rozwój przez oddziaływanie pola fitogenicznego. Na obszarze Pustyni Błędowskiej szczególnie sprzyjające

warunki edaficzne tworzą się pod okapami *Salix acutifolia*, *S. arenaria*, *Betula pendula* i *Quercus robur*, w przeciwieństwie do *Pinus sylvestris*, co wynika przede wszystkim z właściwości opadu tych gatunków oraz odmiennych procesów biochemicznych zachodzących w profilach glebowych formujących się pod tymi gatunkami.

9. Miąższe poziomy organiczne i próchniczne pod okapami badanych gatunków stwierdzono u podstaw pni, a w miarę oddalania się od nich obserwowano spadek miąższości. Proces nagromadzenia materii organicznej i inicjacja procesów glebowych zaczyna się od momentu tworzenia się okapu pod krzewem czy drzewem. Stąd można wnioskować o okresie tworzenia się gleby i jej wieku przez ustalenie wieku gatunków, pod którymi zachodzi pedogeneza. Ten sposób określenia może być stosowany na obszarach, na których występuje pierwotna sukcesja, z dobrze znaną historią roślinności.

10. Tempo sukcesji jest uwarunkowane rodzajem podłoża. Na powierzchniach piaszczystych o cechach skały macierzystej sukcesja roślinności i rozwój gleby zachodzi wolniej niż nad glebami kopalnymi. W pierwszym przypadku okres tworzenia się końcowego zbiorowiska w postaci inicjalnego boru sosnowego w szeregu sukcesyjnym wynosi 60 lat, a w drugim przypadku niepełna 50 lat. W miejscach sztucznych zalesień w procesie sukcesji „wymuszonej” na badanym terenie powstały monokultury sosnowe pozbawione runa.

Literatura

- ABBOTT L.K., ROBSON A.D., 1981. Infectivity and effectiveness of five endomycorrhizal fungi: competition with indigenous fungi in field soils. *Aust. J. Agric. Res.* **32**: 621—630.
- ADAMCZYK B., 1962. Studia gleboznawczo-fitosocjologiczne w dolinie Małej Łąki w Tatrach. *Acta Agr. et Silv. Ser. Silvestris* **2**: 45—116.
- AERTS R., BOOT R.G.A., VAN DER AART P.J.M., 1991. The relation between above and belowground biomass allocation patterns and competitive ability. *Oecologia* **87**: 551—559.
- ALBAN D.H., 1982. Effect of nutrient accumulation by aspen spruce and pine on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **46**: 853—861.
- Album gleb Polski, 1986. PTGleb. Warszawa: PWN.
- ALEKHIN W.W., 1951. Rastitelnost SSSR w osnovnykh zonakh. Moskva: Sovetskaja Nauka.
- ALEKSANDROVA L.H., 1980. Organicheskoe veshstvo pochvy i processy jego transformacii. Leningrad: Nauka.
- ALEXANDROWICZOWA Z., 1962. Piaski i formy wydmowe Pustyni Błędowskiej. *Ochr. Przyr.* **28**: 227—253.
- AMIOTTI N., DEL C. BLANCO M., SANCHEZ L.F., 2001. Complex pedogenesis related to differential aeolian sedimentation in microenvironments of the southern part of the semiarid region of Argentina. *Catena* **43**: 137—156.
- ANDERSEN S.T., 1979. Brown earth and podzol: soil genesis illuminated by microfossil analysis. *Boreas* **8**: 59—73.
- ARMESTO J.J., PICKETT S.T.A., 1986. Removal experiments to test mechanisms of plant succession in old fields. *Vegetatio* **66**: 85—93.
- BARETT L.R., SCHAETZL R.J., 1992. An examination of podzolization near Lake Michigan using chronofunctions. *Can. J. Soil Sci.* **72**: 527—541.
- BARRETT L.R., SCHAETZL R.J., 1998. Regressive pedogenesis following a century of deforestation: evidence for depodzolization. *Soil Sci.* **163**(6): 482—495.
- BAUERNSCHMITT G., GREBE R., 1997. Pflege und Entwicklungsplan Naturschutzgebiet Tennenloher Forst. Nürnberg: Gutachten Planungsbüro Grebe, 127 s.
- BAZILEVICH N.I., 1955. Osobennosti krugovorota zolnykh elementov i azota v niekotorykh pochvenno-rastitelnykh zonakh SSSR. *Pochvovedenie* **4**: 1—32.
- BAZZAZ F.A., 1996. Plants in changing environments. Linking physiological, population and community ecology. Cambridge: Cambr. Univ. Press.
- BEDNAREK R.M., 1979. Gleby wybranych odcinków klifowych Polskiego Wybrzeża Bałtyku. W: „*Studia Societatis Scientiarum Torunensis*”. Sectio D (Botanika), Vol. X(6). Warszawa—Poznań—Toruń: PWN, s. 1—124.
- BEDNAREK R., 1991. Wiek, geneza i stanowisko systematyczne gleb rdzawych w świetle badań paleopedologicznych w okolicy Osia (Bory Tucholskie). Toruń: Wyd. UMK, s. 102.
- BEDNAREK R., 2000. Gleby kopalne jako źródło informacji o zmianach środowiska przyrodniczego. *AUNC, Geografia* **106**: 47—63.
- BEDNAREK R., 2002. Diagenetic changes in sandy buried soils. *Paleopedology problems in Poland*. Łódź: Łódzkie Towarzystwo Naukowe, s. 47—57.
- BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., 2002. Pedological aspect of variability. *Ecol. Ques.* **1**: 35—41.
- BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., PRUSINKIEWICZ Z., 2004. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Warszawa: PWN, s. 343.
- BEDNAREK R., POKOJSKA U., 1996. Diagnostyczne znaczenie niektórych wskaźników chemicznych w badaniach paleopedologicznych. W: *Materiały Konferencji Naukowej „Metody badań paleopedologicznych i wykorzystanie gleb kopalnych w paleopedologii”*. Łódź: UŁ, s. 25—29.
- BELNAP J., 1993. Recovery rates of cryptobiotic crusts: inoculants use assessment methods. *Great Basin Nat.* **53**: 89—95.
- BELNAP J., 2003. Factor influencing nitrogen fixation and nitrogen release in biological soil crusts. *Ecol. Stud.* **150**: 241—261.
- BELNAP J., BUDEL B., LANGE O.L., 2003. Biological soil crust: characteristics and distribution. *Ecol. Stud.* **150**: 3—30.
- BELNAP J.K., HARPER T., WARREN S.D., 1994. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts: nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Soil Res. Reh.* **8**: 1—8.
- BERENDSE F., ELBERSE W.T., 1990. Competition and nutrient availability in heathland and grass ecosystems. In:

- Perspectives on plant competition. Eds. GRACE J.B., TILMAN D. London: Academic Press, s. 93—116.
- BERGER-LANDEFELDT U., SUKOPP H., 1965. Zur Synökologie der Sandtrockenrasen, insbesondere der Silbergrasflur. Verh. Bot. Ver. Brandenburg **102**: 41—98.
- BERNHARDT K.G., 1989. Pflanzliche Strategien der Pionierbesiedlung terrestrischer und limnischer Sandstandorte in Nordwestdeutschland. *Drosera* **1/2**: 113—124.
- BEYER L., 1996. The chemical composition of soil organic matter in classical humic compounds and bulk samples — a review. *Z. Pflanz. Bodenkunde* **159**: 527—539.
- BEYER L., PINGPANK K., WRIEDT G., BOTLER M., 2000. Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Land). *Geoderma* **95**: 283—304.
- BINKLEY D., 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. Proceedings of the tree and soil workshop 1994. Lincoln University, New Zealand. Agronomy Society of New Zealand special publications **10**: 7—33.
- BINKLEY D., GIARDINA C., 1998. Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* **42**: 55—72.
- BINKLEY D., LOUSIER J.D., CROMACK J.K., 1984. Ecosystem effects of Sitka alder in a Douglas-fir plantation. *Forest Sci.* **30**: 26—35.
- BLUNDON D.J., DALE M.R.T., 1990. Dinitrogen fixation (acetylene reduction) in primary succession near Mount Robson, British Columbia, Canada. *Arctic Alpine Res.* **22**: 255—263.
- BŁASZKOWSKI J., TADYCH M., MADEJ T., 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomales*, *Zygomycota*) of the Błędowska Desert, Poland. *Acta Soc. Bot. Pol.* **71**(1): 71—85.
- BOBBINK R., HORNUNG M., ROELOFS J.G.M., 1998. The effects of air borne pollutants on species diversity in natural and semi natural European vegetation. *J. Ecol.* **86**: 717—738.
- BOGATYREV L.G., 1996. Formation of forest litter as one of the major processes in forest ecosystems. *Eurasian Soil Sci.* **29**(4): 459—468.
- BOLLEN W.B., LU K.C., TRAPPE J.M., TARRANT R.F., 1969. Influence of Sitka alder on soil formation and microbiological succession on a landscape of alpine origin at Mount Rainer. Washington: United States Department of Agriculture Forest Service Research Note PNW-103.
- BOLYSHEV N.N., 1967. About participation of algae in the soil formation processes. In: *Sovremennoe sostojanie i perspektivy izuchenija pochvennykh vodoroslej SSSR*. Ed.: SHTINA E. Kirov, s. 23—32.
- BOEKEN B., LIPCHIN, C., GUTTERMAN Y., VAN ROOYEN N., 1997. Annual plant community responses to density of small-scale soil disturbance in the Negev Desert of Israel. *Oecologia* **114**: 106—117.
- BOOT R.G.A., DEN DUBBELDEN K.C., 1990. Effects of nitrogen supply on growth, allocation and gas exchange characteristics of two perennial grasses from inland dunes. *Oecologia* **85**: 115—121.
- BRADSHAW A.D., 1983. The reconstructions of ecosystems. *J. Appl. Ecol.* **20**: 1—17.
- BROWN J.H., HESKE E.J., 1990. Control of a desert-grassland transition by a keystone rodent guild. *Science* **250**: 1705—1707.
- BUBLINIEC E., 1971. Influence of pine monocultures on base exchange capacity. *Acta Instituti Forest. Zvolenen.* **2**: 181—211.
- BUBLINIEC E., 1973. Influence of Scots pine stands in the Zahorie lowland beyond mountains on soil and the suitability of its biological amelioration by broadleaved trees. *Lesnictvi* **19**: 139—143.
- BURKE I.C., LAUENROTH W.K., VINTON M.A., HOOK P.B., KELLY R.H., EPSTEIN H.E., AGUIAR M.R., ROBLES M.D., AGUILERA M.O., MURPHY K.L., GILL R.A., 1998. Plant-soil interaction in temperate grasslands. *Biogeochemistry* **42**: 121—143.
- BÜDEL B., 2003. Biological soil crusts in European Temperate and Mediterranean regions. *Ecol. Stud.* **150**: 75—86.
- CABALA J., RAHMONOV O., 2004. Cyanophyta and algae as an important component of biological crust from Pustynia Błędowska Desert (Poland). *Pol. Bot. J.* **49**(1): 93—100.
- CARTER D.W., AROCENA J.M., 2000. Soil formation under two moss species in sandy materials of central British Columbia (Canada). *Geoderma* **98**: 157—176.
- CELIŃSKI F., 1962. Zespoły leśne Puszczy Bukowej pod Szczecinem. *Monogr. Botan.* **13**.
- CELIŃSKI F., WIKI S., 1981. Influence de l'industrie sur le développement de la végétation de source. L'exemple du *Cochlearietum polonicae*. *Colloq. Phytosociol. Lille* **10**.
- CERTINI G., UGOLINI F.C., CORTI G., AGNELLI A., 1998. Early stages of podzolization under Corsican pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *laricio*). *Geoderma* **83**: 103—125.
- CHADWICK H.W., DALKE P.D., 1965. Plant succession on dune sands in Fremont County, Idaho. *Ecology* **46**: 765—780.
- CHAPIN F.S. III, 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* **11**: 233—260.
- CHAPIN F.S. III, OECHEL W.V., VAN CLEVE K., LAWRENCE W., 1987. The role of mosses in the phosphorus cycling of an Alaskan black spruce forest. *Oecologia* **74**: 310—315.
- CHEFETZ B., TARCHITZKY J., DESHMUKH A.P., HATCHER P.G., CHEN Y., 2002. Structural characterization of soil organic matter and humic acids in particle-size fractions of an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**: 129—141.
- CLÉMENT A., 1995. Determination of trace elements in foliar tissues of forest trees for nutrition diagnostics. *Sci. Tot. Environ.* **176**: 117—120.
- CLEMENTS F.E., 1916. Plant succession and the analysis of the development of vegetation. Washington.
- CLEMENTS F.E., 1928. Plant succession and Indicators. New York: H.W. WILSON.

- CLEMENTS F.E., 1936. Nature and structure of the climax. *J. Ecol.* **24**: 252—284.
- COLLIER B.D., COX G.W., JOHNSON A.W., MILLER P.C., 1978. *Ekologia dynamiczna*. Warszawa: PWRiL, 544 s.
- COLLINS B., WEIN G., 1998. Soil heterogeneity effects on canopy structure and composition during early succession. *Plant Ecol.* **138**: 217—230.
- COMPTON J.E., COLE D.W., HOMANN P.S., 1997. Leaf elements concentrations and soil properties in first- and second-rotation stands of red alder (*Alnus rubra*). *Can. J. Forest Res.* **27**: 662—666.
- CONNELL J.H., SLATYER R.O., 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organisation. *Nature* **111**: 1119—1144.
- CORDES H., KAISER T., V. D. LANCKEN H., LUTKEPOHL M., PRUTER J., 1997. Naturschutzgebiet Lüneburger Heide: Geschichte-Ökologie-Naturschutz.-Schriftenr. Ver. Naturschutzpark e.V. Bremen: Hauschild.
- CORNETT M.W., REICH P.B., PUETTMANN K.J., 1997. Canopy feedbacks and microtopography regulate conifer seedling distribution in two Minnesota conifer-deciduous forests. *Ecoscience* **4**(3): 353—364.
- COUTEAUX M.-M., BOTNER P., BERG B., 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trend Ecol. Evol.* **10**(2): 63—66.
- COWLES H.C., 1899. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. *Bot. Gaz.* **27**: 95—391.
- COWLES H.C., 1901. The physiographic ecology of Chicago and vicinity. *Bot. Gaz.* **31**: 73—108.
- CRAMPTON C.B., 1982. Podzolization of soils under individual tree canopies in southwestern British Columbia, Canada. *Geoderma* **28**: 57—61.
- CREWS T.E., KURINA L.M., VITOUSEK P.M., 2001. Organic matter and nitrogen accumulation and nitrogen fixation during early ecosystem development. *Biogeochemistry* **52**: 259—279.
- CROCKER R.L., MAJOR J., 1955. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *J. Ecol.* **43**: 427—448.
- CROCKER R.L., DICKSON B.A., 1957. Soil development on the recessional moraines of the Herbert and Mendenhall Glaciers, southeastern Alaska. *J. Ecol.* **45**: 169—185.
- CZYLOK A., RAHMONOV O., 2004. The encroachment of Scots pine *Pinus sylvestri* L. on the area of former sand exploitation in the Eastern Silesian Upland. In: Coniferous forest vegetation – differentiation, dynamics and transformations. Eds. BRZEG A., WOJTERSKA M. *Biologia* **69**. Poznań: Wydaw. Nauk. UAM, 251—256.
- CZYZEWSKA K., 1992. Syntaksonomia śródlądowych, pionierskich muraw napiaskowych. *Monogr. Bot.* **74**.
- DAHLGREN R.A., BOETTINGER J.L., HUNTINGTON G.L., ASMUNDSON R.G., 1997. Soil development along an elevational transect in the western Sierra Nevada, California. *Geoderma* **78**: 207—236.
- DAI X.Y., PING C.L., MICHAELSON G.J., 2002. Characterizing soil organic matter in Arctic tundra soils by different analytical approaches. *Org. Geochem.* **33**: 407—419.
- DANIN A., YOM-TOV Y., 1996. Ant nests as primary habitats of *Silybum marianum* (Compositae). *Plant Syst. Evol.* **169**: 209—217.
- DAVIS W.M., 1909. *Geographical Essays*. Boston, MA: Ginn.
- DAWKINS R., 1982. *The Extended Phenotype*. Oxford: Oxford University Press.
- DEGÓRSKI M., 1998. Zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości gleb siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 30°E) i „śląskim”. W: Bory sosnowe w gradiencie kontynentalizmu i zanieczyszczeń w Europie Środkowej — badania geoeologiczne. *Dok. Geogr.* **13**: 41—53.
- DEGÓRSKI M., 2001. Pedosfera — komponent środowiska łączący abiotyczną i biotyczną różnorodność. W: Między geografią i biologią — badania nad przemianami środowiska przyrodniczego. Red. ROO-ZIELIŃSKA E., SOLON J. *Prace Geogr.* **179**: 227—238.
- DEGÓRSKI M., 2002. Przestrzenna zmienność właściwości gleb bielicoziemnych środkowej i północnej Europy a geograficzne zróżnicowanie czynników pedogenicznych. *Prace Geogr.* **182**: 1—190.
- DEJONG T.J., KLINKHAMMER P.G.L., 1988. Seedling establishment of the biennials *Cirsium vulgare* and *Cynoglossum officinale* in a sand-dune area: The importance of water for differential survival and growth. *J. Ecol.* **76**: 393—402.
- DEL MORAL R., WOOD D.M., 1993. Early primary succession on the volcano Mount St. Helens. *J. Veg. Sci.* **4**: 223—234.
- DĘBICKI R., SKŁODOWSKI P., 1999. The role of soil in functioning of ecosystems. *Rocz. Glebozn.* **50**(3): 5—20.
- DIJKSTRA E.F., BOON J.J., VAN MOURIK M., 1998. Analytical pyrolysis of a soil profile under Scots pine. *Eur. J. Soil Sci.* **49**: 295—304.
- DIMBLEBY G.W., GILL J.M., 1955. The occurrence of podzols under deciduous woodland in the New Forest. *Forestry* **28**: 95—106.
- DOBROVOLSKI V.V., 1968. *Geografia pochv s osnovami pochvovedenia*. Moskva: Izdat. Prosveshenie, 351 s.
- DOKUCHAEV V.V., 1881. Chod i glavnejzijje rezultaty priedprinjatogo I. Volno-Ekonomicheskim Obshestvom isledovaniija ruskogo czernozema.
- DOKUCHAEV V.V., 1883. *Russian Chernozems (Russkii Chernozems)*. Israel Prog. Sci. Trans., Jerusalem, 1967. Transl. from Russian by N. Kaner. Available from U.S. Dept. of Commerce, Springfield, VA.
- DOKUCHAEV V.V., 1949. *Lekcii o pochvovedenii*. Izbr. Sochet., T. 3. Moskva: Gosselkhozizdat, 347 s.
- DRURY W.H., NISBET I.C.T., 1973. Succession. *J. Arnold Arboretum* **54**: 331—368.
- DUCHAUFOR PH., 1968. *L'Evolution des sols*. Paris.
- DZIAADOWIEC H., 1976. Zmiany zawartości żelaza i glinu w próchnicy nakładowej gleb bielcowych w procesie humifikacji. W: *Proces bielcowania (Materiały II*

- Krajowej Konferencji, Toruń 4—5 maja 1976). PTG. Prace Komisji Naukowych V/31. Warszawa—Toruń, s. 147—152.
- DZIADOWIEC H., 1990. Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych (mineralizacja, uwalnianie składników pokarmowych, humifikacja). Toruń, 137 s.
- DZIADOWIEC H., BEDNAREK R., 1993. Wpływ degradacji gleby na opad roślinny i zasoby materii organicznej w próchnicy nakładowej w zespole *Cladonio-Pinetum* Borów Tucholskich. Walory przyrodnicze — problemy ochrony — przyszłość. Toruń: UMK, s. 111—120.
- DZIADOWIEC H., KWIATKOWSKA A., 1980. Mineralization and humification of plant fail in mixed forest stand of the reserve „Las Piwnicki” near Toruń. Ekol. Pol. **28**(1): 111—128.
- DZIADOWIEC H., KWIATKOWSKA A., WOŹNIAK S., 2002. Zróżnicowanie poziomu organicznego i próchnicznego gleb w mozaice roślinno-glebowej w Górznieńsko-Lidzbarskim Parku Krajobrazowym. Roczn. Glebozn. **53**(3/4): 23—31.
- DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., 1989. Phosphorus cycling in soils of forest ecosystems in northern Poland. In: Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Proceedings of a workshop arranged by the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) and the United Nations Environmental Programme (UNEP). Ed. TIESSEN H. Czerniejewo, Poland, s. 77—87.
- DZIECIOŁOWSKI W., 1976. Proces bielcowania w świetle analizy stosunków morfologicznych sekwencji gleb w rezerwacie Bielice Gackie. W: Proces bielcowania (Materiały II Krajowej Konferencji, Toruń 4—5 maja 1976). Warszawa—Toruń: PTGleb, s. 59—74.
- DZWONKO Z., LOSTER S., 1996. Effect of dominant trees and anthropogenic disturbances on secondary succession and vegetation differentiation in the suburband landscape of Kraków, Southern Poland. Ochr. Przyr. **53**: 3—17.
- EDMONDSON S.E., GATELEY P.S., STURGESS P.W., 1993. Plant communities and succession. In: The sand dunes of the Sefton Coast. Eds. ATKINSONS D., HOUSTON J. Eaton: Eaton Press.
- EGLER F.E., 1954. Vegetation science concepts. I. Initial floristic composition — a factor in old-field vegetation development. Vegetatio **4**: 412—417.
- ELDRIDGE D.J., 2003. Biological soil crusts and water relations in Australian Deserts. Ecol. Stud. **150**: 315—325.
- ELGERSMA A.M., 1998. Primary forest succession on poor sandy soils as related to site factors. Biodivers. Conserv. **7**: 193—206.
- ELLENBERG H., 1986. Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 4. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DULL R., WIRTH V., WERNER W., PAULIBEN D., 1991. Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobot. **18**.
- EVANS R.D., BELNAP J., 1999. Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystems. Ecology **80**: 150—160.
- EVANS R.D., JOHANSEN J.R., 1999. Microbiotic crusts and ecosystems processes. Crit. Rev. Plant Sci. **18**: 183—225.
- EVANS R.D., LANGE O.L., 2003. Biological soil crusts and ecosystem nitrogen and carbon dynamics. Ecol. Stud. **150**: 263—279.
- FACELLI J.M., PICKETT S.T.A., 1991. Plant litter: Its dynamics and effect on plant community structure. Bot. Rev. **57**(1): 1—33.
- FALIŃSKA K., 1989a. Plant population processes in the course of the forest succession in abandoned meadows. I. Variability and diversity of floristic combinations and biological mechanisms of species turnover. Acta Soc. Bot. Pol. **58**: 441—467.
- FALIŃSKA K., 1989b. Plant population processes in the course of the forest succession in abandoned meadows. II. Demography of succession promoters. Acta. Soc. Bot. Pol. **58**: 469—493.
- FALIŃSKA K., 1991. Plant Demography in Vegetation Succession. Dordrecht—Boston—London: Kluwer Academic Publishers.
- FALIŃSKA K., 1996. Ekologia roślin. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- FALIŃSKA K., 2003. Alternative pathways of succession: species turnover patterns in meadows abandoned for 30 years. Phytocoenosis Vol. **15** (N.S.). Arch. Geobot. [Warszawa—Białowieża] **9**.
- FALIŃSKI J.B., 1977. Research on vegetation and plant population dynamics conducted by Białowieża Geobotanical Station of the Warsaw University in the Białowieża Primeval Forest and in the environment (1952—1977). Phytocoenosis **6**: 1—132.
- FALIŃSKI J.B., 1980. Vegetation dynamics and sex structure of the populations of pioneer dioecious woody plants. Vegetatio **43**: 23—38.
- FALIŃSKI J.B., 1986a. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. Ecological studies in Białowieża forest. Geobotany **8**.
- FALIŃSKI J.B., 1986b. Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wywołanego spod długotrwałej presji antropogenicznej. Cz. 1 i 2. Wiad. Bot. **30**(1): 12—50; **30**(2): 115—126.
- FALIŃSKI J.B., 1996. Przeżywalność pionierskich gatunków drzewiastych po pożarze na torfowisku. Phytocoenosis **6** (N.S.) Sem. Geobot. **4**: 111—122.
- FALIŃSKI J.B., 2001. Przewodnik do długoterminowych badań ekologicznych. Vademecum Geobotanicum **1**.
- FALIŃSKI J.B., 2003. Long-term studies on vegetation dynamics: some notes on concepts, fundamentals and conditions. Community Ecol. **4**(1): 107—113.
- FALIŃSKI J.B., 2004. Fires in the long-term dynamics of pine subcontinental forests. In: Coniferous forest vegetation — differentiation, dynamics and transformations. Biologia **69**. Poznań: Wydaw. Nauk. UAM, s. 131—170.
- FALIŃSKI J.B., CIEŚLIŃSKI S., CZYZEWSKA K., 1993. Atlas dynamiczno-florystyczny rezerwatu Jelonka i przyległych obszarów. Rozmieszczenie gatunków roślin

- naczyniowych, mszaków i porostów na nieużytkach porolnych podlegających sukcesji wtórnej. *Phytocoenosis* 5 (N.S.). Supplementum Cartographiae Geobot. [Warszawa—Białowieża] 3.
- FAO 1988. FAO/UNESCO Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome, Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen 1997.
- FÄSTIL C.L., 1995. Causes and ecosystem consequences of multiple pathways on primary succession at Glacier Bay, Alaska. *Ecology* 76: 1899—1916.
- FELINKS B., 2000. Primärsukzession von Phytozoenosen in der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. PhD thesis. Cottbus: Technical University of Cottbus.
- FERRARI J.B., 1999. Fine-scale patterns of leaf litterfall and nitrogen cycling in an old growth forest. *Can. J. Forest Res.* 29: 291—302.
- FIELDS M.J., COFFIN D.P., GOSZ J.R., 1999. Burrowing activities of kangaroo rats and patterns in plant species dominance at a shortgrass steppe-desert grassland ecotone. *J. Veg. Sci.* 10: 123—130.
- FINZI A.C., CANHAM C.D., VAN BREEMEN N., 1998a. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effect on pH and cations. *Ecol. Appl.* 8(2): 447—454.
- FINZI A.C., VAN BREEMEN N., CANHAM C.D., 1998b. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effect on soil carbon and nitrogen. *Ecol. Appl.* 8(2): 440—446.
- FISCHER P., 1998. Sandtrockenrasen von Binnendünen in der Unteren Mittelelbe-Niederung zwischen Dormitz und Boizenburg. *Tuexenia* 18: 119—151.
- FITTER A.H., HAY R.K.M., 1989. Environmental physiology of plants. New York: Academic Press.
- FRANZMEIER D.P., WHITESIDE E.P., 1963. A chronosequence of podzols in northern Michigan. I: Ecology and description of pedons. *Mich. Quart. Bull.* 46: 2—19.
- FREY W., HENSEN I., 1995. *Spergulo morisonii-Corynephorum canescentis* (Frühlingsspark-Silbergrasflur) — Lebensstrategien von Binnendünen — und Locker-sandbesiedlern. *Feddes Repert.* 106: 533—553.
- FRIEDRICH S., 2001. Räumliche Muster von Bodenstörungen durch Ameisen und Kaninchen in offenen Sandlebensräumen und ihre Auswirkungen auf die Vegetation. Dipl. Thesis Nürnberg: Univ. Erlangen, 120 s.
- FROMM A., JAKOB S., TISCHEW S., 2002. Sandy grassland in former mining areas. *Natursch. und Landschaftsplanung* 34: 45—51.
- FUJINUMA R., BOCKHEIM J., BLASTER N., 2005. Base-cation cycling by individual tree species in old-growth forests of Upper Michigan, USA. *Biogeochemistry* 74: 357—376.
- FUKAREK F., 1967. *Fitosocjologia*. Warszawa: PWRiL.
- GARCIA-MORA M., GALLEGU-FERNANDEZ J.B., GARCIA-NOVA F., 1999. Plant functional types in coastal foredunes in relation to environmental stress and disturbance. *J. Veg. Sci.* 10: 27—34.
- GAULD J.H., 1981. The soils of Culbin Forest, Morayshire: their evolution and morphology, with reference to their forestry potential. *Appl. Geogr.* 1: 199—212.
- GIBSON D.J., 1989. Effects of animal disturbance on tall-grass prairie vegetation. *Am. Midl. Nat.* 121: 144—155.
- GIMINGHAM C.H., CHAPMAN S.B., WEBB N.R., 1979. European Heathlands. In: *Ecosystems of the world 9A*. Ed. SPECHT R.L. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- GLAZOVSKAYA M.A., 1950. The influence of microorganisms on the weathering processes of primary minerals. *Izv. Akad. Nauk Kaz. SSR Ser. Poch.* 6: 28—42.
- GLEASON H. A., 1926. The individualistic concept of the plant succession. *Bull. Torrey Bot. Club* 53: 7—26.
- GOLLERBAKH M.M., NOVICHKOVA L.N., SDOBNIKOVA N.B., 1956. Vodorosli takyrov, Takyry Zapadnoj Turkmenii i puti ich sel'skochozjajestvennogo osvoenija. Leningrad: Ak. Nauk. 142 s.
- GOLLERBAKH M.M., SHTINA E.A., 1969. Pochvennye vodorosli. Leningrad: Izd. Nauka, 228 s.
- GORHAM E., VITOUSEK P.M., REINERS W.A., 1979. The regulation of chemical budgets over the course terrestrial ecosystem succession. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 10: 53—84.
- GROOTJANS A.P., ERNST W.H.O., STUYFZAND P.J., 2001. European dune slacks: strong interactions of biology, pedogenesis and hydrology. *Trend. Ecol. Evol.* 13(3): 96—100.
- GRUBB P.J., GREEN H.E., MERRIFIELD R.C.J., 1969. The ecology of chalk heath: its relevance to the calcicole-calcifuge and soil acidification problems. *J. Ecol.* 57: 175—213.
- HARCOMBE P.A., 1977. The influence of fertilizer on some aspects of succession in a humid tropical forest. *Ecology* 58: 1375—1383.
- HATCHER P.G., DRIA K.J., KIM S., FRAZIER S.W., 2001. Modern analytical studies of humic substances. *Soil Sci.* 166 (11): 770—794.
- HEIL G.W., DIEMONT W.H., 1983. Raised nutrient levels change heathland into grassland. *Vegetatio* 53: 113—120.
- HELSPER H.P.G., GLENN-LEWIN D., WERGER M.J.A., 1983. Early regeneration of *Calluna* heathland under various fertilization treatments. *Oecologia* 58: 8—214.
- HILGARD E.W., 1906. *Soils*. New York: The Macmillan Company.
- HOBBS R.J., MOONEY H.A., 1995. Spatial and temporal variability in California annual grassland: results from a long-term study. *J. Veg. Sci.* 6: 43—56.
- HOHENESTER A., 1960. Grasheiden und Föhrenwälder auf Dilluvial und Dolomitsanden im nördlichen Bayern. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 33: 30—85.
- HOHENESTER A., 1967a. Silbergrasfluren in Bayern. *Mitt. Flor.-Soz. Arbeitsgem. N.F.* 11/12: 11—21.
- HOHENESTER A., 1967b. *Festuco-Sedetalia* in Franken. *Mitt. Flor.-Soz. Arbeitsgem. N.F.* 11/12: 206—209.
- HOWARD P.J., HOWARD D., 1984. Soil changes through afforestation. *Institute of terrestrial Ecology Annual Report 1983*, s. 86—89.

- HRŠAK V., 2004. Vegetation succession and soil gradients on inland sand dunes. *Ekol. Bratislava* **22**(1): 24—39.
- HUANG Y., EGLINTON G., VAN DER HAGE E.R.E., BOON J.J., BOL R., INESON P., 1998. Dissolved organic matter and its parent organic matter in grass upland soil horizons studies by analytical pyrolysis techniques. *Eur. J. Soil Sci.* **49**: 1—15.
- HUGGETT R. J., 1998. Soil chronosequences, soil development and soil evolution: a critical review. *Catena* **32**: 155—172.
- HUNTER R. F., 1962. Hill sheep and their pasture: a study in sheep grazing in southeast Scotland. *J. Ecol.* **50**: 651—680.
- HUNTLY N., INOUE R., 1988. Pocket gophers in ecosystems: patterns and mechanisms. *BioScience* **38**: 786—793.
- ISERMANN M., 2005. Soil pH and species diversity in coastal dunes. *Plant Ecol.* **178**: 111—120.
- JABŁOŃSKA M., 2000. Main components of atmospheric dust particles their influence on natural environment. In: *Mineralogical factors in bioecology — proceedings material from 5—8 VI. Syktyvkar, Russia: Russian Academy of Sciences, Ural branch of Komi Scientific Center, Russian Mineralogical Societies*, s. 188—190.
- JACK G.V., 1956. The influence of man on soil fertility. *Adv. Sci.* **13**: 137—145.
- JAMES P.A., WHARFE A.J. 1989. Timescales of soil development in a coastal sand dune system, Ainsdale, North-West England. In: *Perspectives in Coastal Dune Management*. Eds. S.P.B. VAN DER MEULEN F., JUNGERIUS P.D., VISSER J.H. The Hague. Academic Publishing, s. 287—295.
- JANKOWSKI M., 2000. Chronologiczna i przestrzenna zmienność gleb na stanowisku archeologicznym Katarzynka (nr 242) w północnej części Kotliny Toruńskiej. *AUNC. Seria Geografia* **30**: 97—114.
- JANKOWSKI M., 2001. Warunki występowania, właściwości i geneza gleb śródwymowych wzbogaconych w żelazo. *Rocz. Glebozn.* **52**, Supl.: 49—63.
- JANKOWSKI M., BEDNAREK, R., 2000: Quantitative and qualitative changes of properties as basis for distinguishing development stages of soils formed from dunes sand. *Pol. J. Soil Sci.* **33**: 61—69.
- JANKOWSKI M., BEDNAREK R., 2002. Secondary development stages of soils formed on inland dunes under pine woodlands. *Transactions CD-ROM, Symp. 39, No 797, 17th WCSS, 14—21 August, Bangkok, Thailand*: 12 s.
- JECKEL G., 1975. Die Sandtrockenrasen (*Sedo-Scleranthetia*) der Allerdünen bei Celle-Boye. *Mitt. Flor.-Soz. Arbeitsgem. N.F.* **18**: 103—109.
- JECKEL G., 1984. Syntaxonomische Gliederung, Verbreitung und Lebensbedingungen nordwestdeutscher Sandtrockenrasen (*Sedo-Scleranthetia*). *Phytocoenologia* **12**: 9—153.
- JENNY H., 1941. *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. New York: McGraw Hill Book Company, 281 s.
- JENNY H., 1980. The soil resource. Origin and behavior. *Ecol. Stud.* **37**.
- JENTSCH A., BEYSCHLAG W., 2003. Vegetation ecology of dry acidic grasslands in the lowland area of central Europe. *Flora* **198**: 3—25.
- JENTSCH A., FRIEDRICH S., BEYSCHLAG W., NEZADAL W., 2002. Significance of disturbance for seedling establishment in dry acidic grasslands dominated by *Corynephorus canescens*. *Phytocoenologia* **32**: 553—580.
- JOBBAGY E.G., JACKSON R.B., 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* **53**: 51—77.
- JOHANSEN J.R., 1993. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *J. Phycol.* **29**: 140—147.
- JOHNSON W.C., BURGESS R.L., KEAMMERER W.R., 1976. Forest overstory vegetation and environment on the Missouri River floodplain in North Dakota. *Ecol. Monogr.* **46**: 59—84.
- JONES C.G., LAWTON J.H., SHACHAK M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* **69**: 373—386.
- JONES C.G., LAWTON J.H., SHACHAK M., 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology* **78**: 1946—1957.
- JUNGERIUS P.D., VAN DER MEULEN F., 1988. Erosion processes in a dune landscape along the Dutch coast. *Catena* **15**: 217—228.
- KACHI N., HIROSE T., 1983. Limiting nutrients for plant growth in coastal sand dune soils. *J. Ecol.* **71**: 937—944.
- KARPACHEVSKI L.O., 1983. Zierkalo landshafta. Moskva: Mysl.
- KĄCZKOWSKI J., 1993. *Biochemia roślin. T. 2. Metabolizm wtórny*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.
- KHARIN V.N., FEDORETS N.G., SHIL'TSOVA G.V., D'YANKOV V.V., SPEKTOR E.N., 2001. Geographic trends in the accumulation of heavy metals in mosses and forest litters in Karelia. *Russ. J. Ecol.* **32**(2): 138—141.
- KHOLOPOVA L.B. 1972. Variation in some physical and chemical soil properties with age of pine plantations. *Lesovedenie* **3**: 38—48.
- KELLY E.F., CHADWICK O.A., HILINSKI T.E., 1998. The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry* **42**: 21—53.
- KEEVER C., 1950. Causes of succession on old fields of the Piedmont, North Carolina. *Ecol. Monogr.* **20**: 231—250.
- KINDER M., VAGTS I., MÜLLER J., 1992. Auswirkungen der Flechtenvegetation auf die Sukzession eines Trockenrasens. *Inter. J. Mycol. Lichenol.* **5**: 67—76.
- KLEMM G., RISTOW M., 1995. Study on the vegetation and flora in the nature reserve Wilhelmshagen-Woltersdorf sand dune. *Verh. Bot. Ver.* **128**: 193—228.
- KLIKA J., 1936. Sukzession der Pflanzengesellschaften auf den Fluss-Alluvionen der Westkarpathen. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* **46**: 248—265.
- KLINKHAMER P.G.L., DE JONG T.J., 1988. The importance of small-scale disturbance for seedling establishment in

- Cirsium vulgare* and *Cynoglossum officinale*. J. Ecol. 76: 383—392.
- KNICKER H., SAGGAR S., BAÜMLER R., MCINTOSH., KÖGEL-KNABNER I., 2000. Soil organic matter transformations induced by *Heracium pilosella* L. in tussock grassland in New Zeland. Biol. Fert. Soils, 32: 194—201.
- KOBENDZINA J., 1969. Rola roślinności w powstawaniu wydm śródlądowych. Procesy i formy wydmowe w Polsce. Prace Geogr. 75: 75—100.
- KOBENDZINA J., KOBENDZA R., 1958. Rozwiewanie wydmy Puszcz Kampinoskiej. Wydmy śródlądowe Polski. Warszawa: PWN.
- KOBUS J., 1999. Interaction between soil, plant and microorganisms. Roczn. Glebozn. 50(3): 89—110.
- KOBYLECKA S., 1981. Stosunki litologiczno-glebowe Wyżyny Żarkowsko-Częstochowskiej. Katowice: Wydaw. UŚ, 85 s.
- KONIAS A., 1995. Kartograficzny obraz Śląska na podstawie map księstw śląskich Jana Wolfganga Wielanda i Mateusza Shubartha z połowy XVIII wieku. Katowice: Wydaw. UŚ, 156 s.
- KONIAS A., 2001. Pustynia Błędownska na mapach topograficznych od początku XIX wieku do końca XX wieku. W: Badania naukowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Red. PARTYKA J. Ojców, s. 375—391.
- KONONOVA N.N., 1986. Eolovye processy i landshafty poberezhij (na primere djunnogo pojasa severo-zapadnogo Sachalina). Vladivostok: Izdat. Dal'nevostochnogo Universiteta, 131 s.
- KOPECKY K., 1971. Proměnlivost druhového složení nitrofilnych lemových spočenstev v udoli Studéneho a Roháčského potoka v Liptovských Tatrách. Preslia 43: 344—365.
- KORNAS J., 1972. Zespoły wydm śródlądowych. W: Szata roślinna Polski. Red. SZAFER W., ZARZYCKI K. Warszawa: PWN.
- KORNAS J., MEDWECKA-KORNAS A., 1967. Zespoły roślinne Górców. I: Naturalne i na wół naturalne zespoły nieleśne. Fragm. Flor. et Geobot. 13(2): 167—316.
- Korneck D., 1978. *Sedo-Scleranthetea*. Süddeutsche Pflanzengesellschaften II. Ed. OBERDORFER E. 2. Auflage. Stuttgart: Fischer.
- KOVDA V.A., 1956. Mineralnij sostav rastenij i pochvoobrazovanie. Pochvovedenie 1: 6—38.
- KOGEL I., HEMPFLING R., ZECH W., HATCHER P.G., SCHULTEN H.-R., 1988. Chemical composition of the organic matter in forest soils. 1: Forest litter. Soil Sci. 146 (2): 124—136.
- KOGEL-KNABNER I., 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. Soil Biol. Biochem. 34: 139—162.
- KRAWCZYK Z., TREMBACZOWSKI J., 1986. Wpływ procesów colicznych na zmiany powierzchni ziaren kwarcu piasków Pustyni Błędownskiej. W: „Geographia, Studia et Dissertationes”. T. 9. Red. TREMBACZOWSKI J. Katowice: Wydaw. UŚ.
- KRUTIKOW A., 1961. Utrwalenie lotnych piasków śródlądowych za pomocą wydmuchrzycy. Las Polski 1.
- KUBIENA W., 1953. The Soils of Europe. London: Thomas Murby.
- KWIATKOWSKA A., 1957. Rozmieszczenie warzuchy polskiej *Cochlearia polonica* E. FRÖHLICH w okolicy Olkusza. Fragm. Flor. et Geobot. 3, 1.
- KWIATKOWSKA A., 1962. Warzucha polska, ginący gatunek endemiczny. Chronimy Przyrodę Ojczyzną 18, 3.
- KWIATKOWSKA A., 1988. Możliwość oceny stanu odżywiania i potrzeb nawożonych drzewostanów sosnowych na podstawie analiz składu chemicznego wybranych roślin runa. AUNC. Seria: Nauki Mat. Przyr. 69, Biologia 32: 139—166.
- LACHE D.W., 1976. Umweltbedingungen von Binnendünen und Heidegesellschaften im Nordwesten Mitteleuropas. Scripta Geobot. 11.
- LATHWELL D.J., GROVE T.L., 1986. Soil-plant relationship in the tropics. Ann. Rev. Ecol. Sys. 17: 1—16.
- LAWRENCE D.B., SCHOENIKE R.E., QUISPAL A., BOND G., 1967. The role of *Dryas drummondii* in vegetation development following ice recession at Glacier Bay, Alaska, with special reference to its nitrogen fixation by root nodules. J. Ecol. 55: 793—813.
- LEACH W., 1931. On the importance of some mosses as pioneers on unstable soils. J. Ecol. 19: 98—102.
- LEINWEBER P., SCHULTEN H. R., 1998. Advanced in analytical pyrolysis of soil organic matter. J. Anal. Appl. Pyrol. 47: 165—189.
- LEŚNIOK M., 1996. Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Katowice: Wydaw. UŚ, 124 s.
- LEWANDOWSKI J., ZIELIŃSKI T., 1990. Wiek i geneza osadów kopalnej doliny Białej Przemszy (Wyżyna Śląska). Biul. PIG 364.
- LEWIŃSKI J., 1914. Utwory dyluwialne i ukształtowanie powierzchni przedlodowcowej dorzecza Przemszy. Prace Tow. Nauk. Warszawskiego, T. 7.
- LIHOTSKY J., 1973. Contribution to the knowledge of the effect of forest tree species on the humus-forming processes from the viewpoint of soil degradation and regradation. Lesnictvi 19: 157—172.
- LICHTER J., 1998a. Primary succession and forest development on coastal Lake Michigan sand dunes. Ecol. Monogr. 68: 487—510.
- LICHTER J., 1998b. Rates of weathering and chemical depletion in soils across a chronosequence of Lake Michigan sand dunes. Geoderma 85: 255—282.
- LINDBERG S.E., HARRIS R.C., HOFFMAN W.A. JR, LOVETT G.M., TURNER R.R., 1989. Atmospheric chemistry, deposition, and canopy interactions. In: Analysis of Biogeochemical Cycling Processes in Walker Branch Watershed. Eds. JOHNSON D.W., VAN HOOK R. New York—Berlin—Heidelberg: Springer-Verlag, s. 96—163.
- LINDER S., 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecol. Bullet. 44: 178—190.

- LODHI M.A.K., 1977. The influence and comparison of individual forest trees on soil properties and possible inhibition of nitrification due to intact vegetation. *Am. J. Bot.* **64**(3): 260—264.
- LOUCKS O.L., PLUMB-MENTJES M.L., ROGERS D., 1985. Gap processes and large-scale disturbances in sand prairies. In: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Eds. PICKETT S.T.A., WHITE P.S. San Diego: Academic Press, s. 71—83.
- LOVETT G.M., LINDBERG S.E., 1993. Atmospheric deposition and canopy interactions of nitrogen in forests. *Can. J. Forest Res.* **23**: 1603—1616.
- LUDWIG B., KHANNA P. K., ANURUGSA B., FÖLSTER H., 2001. Assessment of cation and anion exchange and pH buffering in an Amazonian Ultisol. *Geoderma* **102**: 27—40.
- LUKEŠOVÁ A., 2001. Soil Algae in Brown Coal and Lignite Post-Mining Areas in Central Europe (Czech Republic and Germany). *Restor. Ecol.* **9**: 341—350.
- LUKEŠOVÁ A., KOMÁREK J., 1987. Succession of soil algae on dumps from strip coal-mining in the most region (Czechoslovakia). *Folia Geobot. Phytotaxa* **22**: 355—362.
- LUNDSTRÖM U.S., VAN BREEMEN N., BAIN D., 2000. The podzolization process. A review. *Geoderma* **94**: 91—107.
- MACKNEY D., 1961. A podzols development sequence in oakwoods and heath in central England. *J. Soil Sci.* **13**: 23—40.
- MACMAHON J.A., 1980. Ecosystems over time: Succession and other types of change. W: *Forests: fresh perspectives from ecosystem analysis*. Proc. 40th annual Biology Colloquium. Ed. WARING R.H. Corvallis: Oregon State University Press, s. 27—58.
- MACNAEIDHE F., 1995. Procedures and precautions used in sampling techniques and analysis of trace elements in plant matrices. *Sci. Total Environ.* **176**: 25—31.
- MALAM ISSA O., LE BISSONNAIS Y., DÉFARGE C., TRICHET J., 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. *Geoderma* **101**: 15—30.
- MARKERT B., 1995. Sample preparation (cleaning, drying, homogenisation) for trace element analysis in plant matrices. *Sci. Total Environ.* **176**: 45—61.
- MARKOV K.K., 1948. *Osnovnye problemy Geomorfologii*. Moskva: OGIZ, 344 s.
- MARSHALL J.K., 1965. *Corynephorus canescens* (L.) BEAUV. as model for the *Ammophila* problem. *J. Ecol.* **53**: 447—463.
- MARSHALL J.K., 1967. *Corynephorus canescens* (L.) BEAUV. *J. Ecol.* **55**: 207—220.
- MARTINEZ M.L., MAUN M.A., 1999. Responses of dune mosses to experimental burial by sand under natural and greenhouse conditions. *Plant Ecol.* **145**: 209—219.
- MATUSZKIEWICZ W., 2001. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. Warszawa: Wydaw. Naukowe PWN, 537 s.
- MAUN A.R., 1994. Adaptions enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetatio* **111**: 59—70.
- MCBRIDE N., WILSON P., 1991. Characteristics and development of soils at Magilligan Foreland, Northern Ireland, with emphasis on dune and beach sand soils. *Catena* **18**: 367—378.
- MCINTYRE S., LAVOREL S., TREMONT R.M., 1995. Plant life-history attributes: their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation. *J. Ecol.* **83**: 31—44.
- MEDWECKA-KORNAŚ A., 1976. Zbiorowiska roślinne dolin Jaszczce i Jamne w Gorcach. *Stud. Natur. Ser. A*, **2**: 49—91.
- MELKE J., 1997. Niektóre prawidłowości w składzie chemicznym gleb brunatnych różnych regionów geograficznych. W: „Rozprawy Habilitacyjne”, 56. Lublin: Wydaw. UMCS, 113 s.
- MELKURED P., BAIN D., JONGMANS A., TARVAINEN T., 2000. Chemical, mineralogical and morphological characterization of tree podzols developed on glacial deposits in Northern Europe. *Geoderma* **94**: 125—148.
- MICHALIK S., 1967. Mapa zbiorowisk roślinnych rezerwatu „Turbacz” im. Władysława Orkana w Gorcach. *Ochr. Przyr.* **32**: 89—131.
- MICHALIK S., SKIBA S., 1995. Ocena relacji między pokrywą glebową a roślinnością w Bieszczadzkiem Parku Narodowym. *Rocz. Bieszczadzkie* **4**: 85—95.
- MIKRYAKOVA T.F., 2001. Seasonal distribution of chemical elements in *Alisma plantago-aquatica* L. and *Sagittaria sagittifolia* L. *Russ. J. Ecol.* **32**(4): 284—288.
- MILES J., 1985. The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession. *J. Soil Sci.* **36**: 571—584.
- MILES J., 1985a. Soil in the ecosystem. In: *Ecological interactions in the soil environment*. Ed. FITTER A.H. British Ecological Society Special Publication No 4. Oxford: Blackwell Scientific Publications, s. 407—427.
- MIREK Z., PIĘKOŚ-MIRKOWA H., ZAJĄC A., ZAJĄC M., 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist. Kraków: W. Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, 442 s.
- MOKMA D., BUURMAN P., 1982. Podzols and podzolisation in temperate regions. *ISM Monogr.* **1**. Wageningen: International Soil Museum, 126 s.
- MOKMA D.L., VANCE G.F., 1989. Forest vegetation and origin of some spodic horizons, Michigan. *Geoderma* **43**: 311—324.
- MORRIS W.F., WOOD D.M., 1989. The role of lupine in succession on Mount St Helens: Facilitation or inhibition? *Ecology* **70**: 697—703.
- MÜLLER P.E., 1884. Studier over Skovjord, som bidrag til skovdyrkingens teori. II Om muld mor I egeskove og paa heder. *Tidsskrift for Skovbrug* **7**: 1—232.
- NAŁKOWSKI W., 1888. Geograficzny rzut oka na dawną Polskę. Warszawa.
- NEZADAL W., RODER A., 1994. Die Vegetation der Brucker Lache. In: *Das Naturschutzgebiet Brucker Lache in Erlangen. Beiträge zum Grundwasser, zum Boden und zur Vegetation*. *Mitt. Fränk. Geograph. Ges.* **41**: 241—261.
- NIERING W.A., GOODWIN R.H., 1974. Creation of relatively stable shrublands with herbicides: arresting „succes-

- sion" on rights of way and pastureland. *Ecology* **55**: 784—795.
- NIEROP K.G.J., 1998. Origin of aliphatic compounds in a forest soil. *Org. Geochem.* **29**(4): 1009—1016.
- NIEROP K.G.J., 2001. Temporal and vertical organic matter differentiation along a vegetation succession as revealed by pyrolysis and thermally assisted hydrolysis and methylation. *J. Anal. Appl. Pyrol.* **61**: 111—132.
- NIEROP K.G.J., BUURMAN P., 1998. Composition of soil organic matter and its water-soluble fractions under young vegetation on drift sand, central Netherlands. *Eur. J. Soil Sci.* **49**: 605—615.
- NIEROP K.G.J., BUURMAN P., 1999. Water-soluble organic matter in incipient podzols: accumulation in B horizons or in fibres? *Eur. J. Soil Sci.* **50**: 701—711.
- NIEROP K.G.J., VAN LAGEN B., BUURMAN P., 2001. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession. *Geoderma* **100**: 1—24.
- NOBLE I.R., SLATYER R.O., 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio* **43**: 5—21.
- NORDÉN U., 1994a. Influence of tree species on acidification and mineral pools in deciduous forest soils of south Sweden. *Water Air Soil Poll.* **76**: 363—381.
- NORDÉN U., 1994b. Influence of broad-leaved tree species on pH and organic matter content of forest topsoil in Scania, south Sweden. *Scand. J. Forest Res.* **9**: 1—8.
- NORDÉN U., 1994c. Leaf litterfall concentrations and fluxes of elements in deciduous tree species. *Scand. J. Forest Res.* **9**: 9—16.
- OCHYRA R., SZMAJDA P. (red.), 1992. Atlas rozmieszczenia geograficznego mchów w Polsce. T. 8, s. 9—14.
- ODUM E. P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* **164**: 262—270.
- ODUM E.P., 1983. *Basic Ecology*. New York: Saunders.
- OLFF H., HUISMAN J., VAN TOOREN B.F., 1993. Species dynamics and nutrient accumulation during early primary succession in coastal sand dunes. *J. Ecol.* **81**: 693—706.
- OLSON J.S., 1958. Rates of succession and soil changes on southern Lake Michigan Sand dunes. *Bot. Gaz.* **119**: 125—170.
- ORGEAS J., OURCIVAL J.-M., BONIN G., 2002. Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France). *Plant Ecol.* **164**: 201—211.
- OSBORNOVÁ J., KOVÁROVÁ M., LEPŠ J., PRACH K., 1990. Succession in abandoned fields. *Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia. Geobotany* **15**.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIALKA Z., 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- OVINGTON J.D., 1950. The afforestation of the Culbin Sands. *J. Ecol.* **38**: 303—319.
- OVINGTON J.D., 1951. The afforestation of the Tensmuir Sands. *J. Ecol.* **39**: 363—375.
- OVINGTON J.F., MADGWICK H.A.I., 1959. Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine. *Forest Sci.* **5**(4): 344—355.
- PAGE G., 1971. Properties of some common Newfoundland forest soils and their relation to forest growth. *Can. J. Forest Res.* **1**: 174—192.
- PAGE D.W., VAN LEEUWEN A.J., SPARK K.M., MULCAHY D.E., 2002. Pyrolysis characterisation of plant, humus and soil extract from Australian catchments. *J. Anal. Appl. Pyrol.* **65**: 269—285.
- PEET R.K., CHRISTENSEN N.L., 1980. Succession: A population process. *Vegetatio* **43**: 131—140.
- PETAJA-RONKAINEN A., PEURANIEMI V., AARIO R., 1992. On podzolization in glaciofluvial material in Northern Finland. *Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. A, 3. Geol.-Geogr.* **156/19**.
- PETERSON D.L., ROLFE G.L., 1982. Nutrient dynamics and decomposition of litterfall in floodplain and upland forest of Central Illinois. *Forest Sci.* **28** (4): 667—681.
- PHARO E.J., KIRKPATRICK J.B., 1994. Vegetation of the alpine sand dunes at Lake Augusta, Tasmania. *Aust. J. Ecol.* **19**: 319—326.
- PHILIPPI G., 1971. Sandfluren, Steppenrasen und Saumgesellschaften der Schwetzingen Hardt. *Veröff. Landesst. Natursch. Landschaftspflege Baden-Württemberg* **39**: 67—130.
- PICINSKA-FALTYNOWICZ J., 1997. Glony. In: *Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego*. Ed. PIOTROWSKA H. Poznań—Gdańsk: Bogucki. Wydawnictwo Naukowe, s. 143—156.
- PICKETT S.T.A., 1976. Succession: an evolutionary interpretation. *Am. Nat.* **110**: 107—119.
- PICKETT S.T.A., 1989. Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies. In: *Long-term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*. Ed. LIKENS G.E. New York: Springer Verlag, s. 110—135.
- PICKETT S.T.A., COLLINS S.L., ARMESTO J.J., 1987. Models, Mechanisms and Pathways of Succession. *Bot. Rev.* **53**: 335—371.
- PICKETT S.T.A., McDONNELL M.J., 1989. Changing perspectives in community dynamics: a theory of successional forces. *Trend. Eco. Evol.* **4**(8): 241—244.
- PICKETT S.T.A., WHITE P.S., 1985. Patch-Dynamics — A synthesis. In: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Eds. PICKETT S.T.A., WHITE P.S. San Diego: Academic Press, s. 371—384.
- PIECH K., 1924. *Miraże w Pustyni Błędowskiej*. Kosmos **49**.
- PIGOTT C.D., 1970. Soil formation and development on the Carboniferous limestone of Derbyshire. 2: The relation of soil development on the plateau near Coombs Dale. *J. Ecol.* **58**: 529—541.
- PILOTEK D., NEZADAL W., 1989. Vergleichende Untersuchungen zur Gefährdung des Wildkrautbestandes auf Kalk- und Sandäckern in Franken. *Hoppea, Denksch. Rengsb. Bot. Ges.* **47**: 41—53.
- PIOTROWSKA H., 1988. The dynamics of the dune vegetation on the Polish Baltic coast. *Vegetatio* **70**: 169—175.
- PIOTROWSKA H., CELIŃSKI F., 1965. Zespoły psammofilne wysp Wolina i południowo-wschodniego Uznamu. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.* **16**: 123—170.

- PLICHTA W., 1981. Zagadnienie genezy, właściwości i klasyfikacji próchnicy mor. Toruń: Wydaw. UMK, 144 s.
- PODBIELKOWSKI Z., 1968. Rośliny wydm. Warszawa: PZWS.
- POKOJSKA U., 1976. Istota procesu bielnicowania w świetle analizy profilowego rozmieszczenia różnych form Fe, Al, Si, P. W: Proces bielnicowania (Materiały II Krajowej Konferencji, Toruń 4—5 maja 1976). Warszawa—Toruń: PTGleb, s. 75—96.
- POKOJSKA U., 1979. Geochemical studies on podzolisation. Part I: Podzolisation in the light of the profile distribution of various forms of iron and aluminium. *Rocz. Glebozn.* **30**(1): 189—215.
- POKOJSKA U., 1992. Adsorpcja i wymiana kationów w próchnicach leśnych. Toruń: Wydaw. UMK, 100 s.
- PONOMAREVA B.B., 1964. Teoria podzoloobrazowatelnego processa. Biochemicheskie aspekty. Moskwa—Leningrad: Nauka.
- PONOMAREVA B.B., PLOTNIKOVA T.A., 1980. Gumus i pochvoobrazowanie. Leningrad: Nauka.
- POTT R., 1992. Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Stuttgart: Ulmer.
- POUWELS A.D., BOON J.J., 1990. Analysis of beech wood samples, its milled wood lignin and polysaccharide fractions by curie-point and platinum filament pyrolysis-mass spectrometry. *J. Anal. Appl. Pyrol.* **17**: 97—126.
- PRACH, K., 1989. Primary forest succession in sand dune areas. De Dorschkamp, Research Institute for Forestry and Landscape Planning, Report 544, Wageningen.
- PRESCOT G.E., 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiol.* **22**: 1193—1200.
- PRUSINKIEWICZ Z., 1968. Materiały do poznania historii rozwoju gleb Polski zachodniej i środkowej w holoceenie. *Folia Quater.* **29**: 71—77.
- PRUSINKIEWICZ Z., 1969. Gleby wydm śródlądowych w Polsce. Procesy i formy wydmowe w Polsce. *Prace Geogr.* **75**: 117—144.
- PRUSINKIEWICZ Z., 1999. Środowisko i gleby w definicjach. Toruń: Oficyna Wydaw. „TURPRESS”, 477 s.
- PRUSINKIEWICZ Z., BIGOS M., 1978. Rhythmicity of accumulation and decomposition of forest litter in three mixed forest stands on the soil with different types of forest floor. *Ekol. Pol.* **26**: 325—345.
- PUCHALSKI T., PRUSINKIEWICZ Z., 1975. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. Warszawa: PWRiL, 619 s.
- PYANKOV V.I., IVANOV L.A., LAMBERS H., 2001. Chemical composition of the leaves of plants with different ecological strategies from the boreal zone. *Russ J. Ecol.* **32**(4): 221—229.
- QUIDEAU S.A., CHADWICK O.A., BENESI A., GRAHAM R.C., ANDERSON M.A. 2001. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. *Geoderma* **104**: 41—60.
- QUINGER B., MEYER N., 1995. Lebensraumtyp Sandrasen. Landschafts-Pflegekonzept Bayern II.4 (Hrsg.). Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL). München, 253 s.
- RAHMONOV O., 1998. Research for succession process in Błędów Desert. Praca doktorska. Uniwersytet Śląski, Sosnowiec. Maszynopis.
- RAHMONOV O., 1999. Procesy zarastania Pustyni Błędowskiej. Sosnowiec: Uniwersytet Śląski, s. 1—72.
- RAHMONOV O., 2001. The processes of soil and plant cover formation on the sand of Błędów Desert (in Polish). In: 45 lat Ojcowskiego Parku Narodowego. 20 lat Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych Województwa Małopolskiego. Badania Naukowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Red. PARTYKA J. Ojców, s. 201—205.
- RAHMONOV O., DZIERLA M., MALIK I., 2002. Habitat conditions and vegetation development in the area of former military training ground (a case study of Borne Sulnowo (N-W Poland). In: Regional Aspects of Land Use. Eds. ANDREJCZUK V.N., KORZHYK V.P. Chernivtsy—Sosnowiec, s. 151—159.
- RAHMONOV O., KRĘCIAŁA M., 2004. Wyspy glebowe i pokarmowe oraz ich rola w procesie sukcesji roślinno-glebowej. W: Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. T. 1: Przyroda. Red. PARTYKA J. Ojców: Wydaw. Ojców. Parku Narod., s. 233—238.
- RAHMONOV O., MALIK I., ORCZEWSKA A., 2004. The influence of *Salix acutifolia* WILLD. on soil formation in sandy areas. *Pol. J. Soil Sci.* **37**, 1: 77—84.
- RAHMONOV O., PIĄTEK J., 2007. Sand colonization and initiation of soil development by cyanobacteria and algae. *Ekol. Bratislava* **26**,1: 51—62.
- RAHMONOV O., SNYTKO V.A., SZCZYPEK T., 2005. Fitogenne bugry na terretorii Blendovskoj pustyni juzhnoj Polshe. *Geogr. Prirod. Resur.* **2**: 144—147.
- READ J., FERRIS J.M., JAFFRÉ T., 2002. Foliar mineral content of *Nothofagus* species on ultramafic soils in New Caledonia and non-ultramafic soils in Papua New Guinea. *Aust. J. Bot.* **50**: 607—617.
- REEVES F.B., WAGNER D., MOORMAN T., KIEL J., 1979. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semiarid west. I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. natural environments. *Am. J. Bot.* **66**: 6—13.
- REMEZOV N.P., 1961. Razlozhenije lesnych podstilkov i krugovorota elementov v lesu. *Pochvovedenie* **7**: 1—12.
- REVISED STANDART SOIL COLOUR CHARTS, 1999. Eijkelkamp Agrisearch Equipment. The Netherlands.
- ROBERTSON G.P., VITOUSEK P.M., 1981. Nitrification potentials in primary and secondary succession. *Ecology* **62**: 376—386.
- RODE M.W., 1995. Aboveground nutrient cycling and forest development on poor sandy soil. *Plant Soil* **168/169**: 337—343.
- RODE M.W., LEUSCHNER C., CLAUSS C., DANNER E., GERDELMANN V., MARGRAF S., RUNGE M., 1993. Changes in nutrient availability and nutrient turnover during heathland-forest succession in NW Germany. *Scripta Geobot.* **21**: 85—96.

- RODIN L.E., BAZILEVICH N.I., 1965. Dinamika organicheskogo veshstva i biologicheskij krugovorot zolnykh elementov i azota w osnovnykh typakh rastitelnosti zemnogo szara. Moskva—Leningrad: Nauka.
- ROO-ZIELIŃSKA E., SOLON J., 1998. Charakterystyka geobotaniczna i analiz zasięgów borów i borów mieszanych na transektach badawczych: klimatycznym (wzdłuż 52°N, od 12° do 30°E) i „śląskim”. Dok. Geogr. **13**: 79—98.
- RYCHNOVSKÁ-SOUDKOVÁ, 1961. *Corynephorus canescens* (L.) P. BEAUV. (Physiologisch-ökologische Studie einer Pflanzenart). Rozpr. Českoslov. Akad. Věd. **71**: 1—84.
- SABATÉ S., SALA A., GRACIA C.A., 1995. Nutrient content in *Quercus ilex* canopies: seasonal and spatial variation within a catchment. Plant Soil **168**: 297—304.
- SAIZ-JIMENEZ C., DE LEEUW J.W., 1986. Chemical characterization of soil organic matter fractions by analytical Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry. J. Anal. Appl. Pyrol. **9**: 99—119.
- SALISBURY E.J., 1922. The soils of Blakeney Point: a study of soil reaction and succession in relation to the plant covering. Ann. Bot. **36**: 391—431.
- SALISBURY E.J., 1925. Note on the edaphic succession in some dune soils with special reference to the time factor. J. of Ecol. **13**: 322—328.
- SANTESSON R., 1993. Het lichnes of Sweden and Norway. Stockholm and Uppsala.
- SCHARF D., LOSCH R., 1997. Die Sandtrockenrasen am Niederrhein. Decheniana **151**: 11—39.
- SCHIMEL J.P., CATES R.G., RUESS R., 1998. The role of Balsam Poplar Secondary Chemicals in controlling soil nutrient dynamics through succession in the Alaskan Taiga. Biogeochemistry **42**: 221—234.
- SCHLESINGER W.H., PILMANIS A.M., 1998. Plant-soil interactions in deserts. Biogeochemistry **42**: 169—187.
- SCHULTEN H.R., SCHNITZER M., 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. Biol. Fert. Soils **26**: 1—15.
- SCHULTEN H.R., SORGE-LEWIN C., SCHNITZER M., 1997. Structure of „unknown” soil nitrogen investigated by analytical pyrolysis. Biol. Fert. Soils **24**: 249—254.
- SCHWABE A., STORM C., ZEUCH M., KLEINE-WEISCHEDE H., KROLUPPER N., 2000. Sandökosysteme in Südhessen: Status quo, jüngste Veränderungen und Folgerungen für Naturschutz-Maßnahmen. Geobot. Kolloq. **15**: 25—45.
- SCHWERTMANN U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzener-nahrung Düngung Bodenkunde **105**, 3: 194—202.
- SHALTOUT K.H., EL-KADY H.F., AL-SODANY Y.M., 1995. Vegetation analysis of the Mediterranean region of Nile-Delta. Vegetatio **116**: 73—83.
- SHTINA E.A., GOLLERBAKH M.M., 1976. Ecology of soil algae. Moscov: Nauka, 127 s.
- SINGLETON G.A., LAVKULICH L.M., 1987. A soil chronosequence on beach sands, Vancouver Island, British Columbia. Can. J. Soil Sci. **67**: 795—810.
- SIREN G., 1955. The development of spruce forests on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Acta Fores. Fennica **62**: 4.
- SKIBA S., 1985. Rola klimatu i roślinności w genezie gleb na przykładzie gleb górskich z Tatr polskich i z gór Mongolii. W: „Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej”. Seria: Rozprawy Habilitacyjne **99**, 72 s.
- SKOWNO A.L., MIDGLEY J.J., BOND W.J., BALFOUR D., 1999. Secondary succession in *Acacia nilotica* (L.) savanna in the Hluhluwe Game Reserve, South Africa. Plant Ecol. **145**: 1—9.
- SKYLLBERG U., RAULUND-RASMUSSEN K., BORGGAARD O.K., 2001. pH buffering in acid soils developed under *Picea abies* and *Quercus robur* — affect of soil organic matter, adsorbed cations and soil solution ionic strength. Biogeochemistry **56**: 51—74.
- SOCHAVA V.B., 1962. Principles and methods of vegetation mapping. Moskva—Leningrad: Acad. Sci. USSR 300 s.
- SOKOLOV I.A., TARGULIAN V.O., 1976. Vzaimodeistvie pochvy i sredy: pochva-pamjat i pochva-moment. W: Izuchenie i osvoenie prirodnoj sredy. Moskva, s. 150—164.
- SOUSA W.P., 1979. Experimental investigation of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. Ecol. Monogr. **49**: 227—254.
- SPARKS D.L., 2003. Environmental soil chemistry. Academic Press, 352 s.
- SSYMANK A., HAUKE U., RUCKRIEM S., SCHRÖDER E., 1998. Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. Schr.-R. f. Landschaftspfl. und Natursch. **53**: 1—558.
- STARKS T.L., SHUBERT L.E., TRAINOR F.R., 1981. Ecology of soil algae: a review. Phycology **20**: 65—80.
- STARKS T.L., SHUBERT L.E., 1982. Colonization and succession of algae and soil algae interactions associated with disturbed areas. J. Phycol. **18**: 99—108.
- STEVENS P.R., WALTER T.W., 1970. The chronosequence concept and soil formation. Quarter. Rev. Biol. **45**: 333—350.
- STORM C., HERGET I., KAPPES J., VORMWALD B., 1998. Nährstoffökologische Untersuchungen im Darmstadt — Dieburger Sandgebiet in (teilweise ruderalisierten) Sandpionierfluren und -rasen. Botanik und Naturschutz in Hessen **10**: 41—86.
- STROBEL B.W., BERNHOLF I., BORGGAARD O.K., 1999. Low-molecular-weight aliphatic carboxylic acids in soil solutions under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. Plant Soil **212**: 115—121.
- STUCHLIK L., 1968. Zbiorowiska ziołoroślowe i źródłiskowe pasma Policy. Fragm. Flor. et Geobot. **14**(4): 489—490.
- STUCZYŃSKI T.I., MCCARTY G.W., REEVES J.B., WRIGHT R.J., 1997. Use of pyrolysis GC/MS for assessing changes in soil organic matter quality. Soil Sci. **162** (2): 97—105.
- STÜTZER A., 1998. Early stages of podzolization in young aeolian sediments, western Jutland. Catena **32**: 115—129.
- SYKES M.T., WILSON J.B., 1990. An experimental investigation into the response of New Zealand sand dune species to different depths of burial. Acta Bot. Neerl. **39**: 171—181.
- SYMONIDES E., 1979a. The structure and population dynamics of psammophytes on inland dunes. I. Population of initial stages. Ekol. Pol. **27**,1: 3—37.

- SYMONIDES E., 1979b. The structure and population dynamics of psammophytes on inland dunes. II. Loose-sod populations. *Ekol. Pol.* **27**,2: 191—234.
- SYMONIDES E., 1986. Seed bank in old-field successional ecosystems. *Ekol. Pol.* **34**(1): 3—29.
- Systematyka gleb Polski 1989. *Rocz. Glebozn.* **40**, 3/4.
- SZCZYPEK T., WACH J., 1989. Accumulation phases of the Quaternary deposits in the Błędów Desert based on lithological studies. *Quaest. Geogr. Special Issue 2*: 137—145.
- SZCZYPEK T., WACH J., WIKA S., 1994. Zmiany krajobrazów Pustyni Błędowskiej. Sosnowiec: WNoZ UŚ, s. 87.
- SZCZYPEK T., WIKA S., 1978. Wpływ rzeźby terenu na charakter zbiorowisk roślinnych na obszarze wydumowym w okolicy Piłki (północna część Wyżyny Śląskiej). W: „Geographia. Studia et Dissertationes”. T. 2. Red. TREMBACZOWSKI J. Katowice: Wydaw. UŚ.
- SZCZYPEK T., WIKA S., 1984. Vlijanje vetra na razmeshchenie rastitelnosti na teritorii Blendovskoj Pustyni. *Acta Fac. Paed. Ostraviensis* **89**: 65—76.
- SZCZYPEK T., WIKA S., 1988. Pustynia Błędowska. W: Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych. Warszawa: PWN.
- SZCZYPEK T., WIKA S., CZYŁOK A., RAHMONOV O., WACH J., 2001. Pustynia Błędowska — fenomen polskiego krajobrazu. Krzeszowice: Kubajak, 72 s.
- TAMM C., 1995. Towards an understanding of the relations between tree nutrition, nutrient cycling and environment. *Plant and Soil* **168/169**: 21—27.
- TAMM O., 1920. Bodenstudien in der Nordschwedischen Nadelwaldregion. *Meddelanden fran Statens skogsforsöksanstalt* **17**: 49—300.
- TAMMINEN P., STARR M., KUBIN E. 2004. Element concentrations in boreal, coniferous forest humus layers in relation to moss chemistry and soil factors. *Plant Soil* **259**: 51—58.
- TANSLEY A.G., 1920. The classification of vegetation and the concept of development. *J. Ecol.* **8**: 118—149.
- TARRANT R.F., TRAPPE J.M., 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environment. *Plant Soil. Spec. Vol.*: 335—348.
- TIKHOMIROV B.A., 1957. Dynamical phenomena in plant patches of Arctic tundra. *Bot. Zhur.* **42**: 12—21.
- TILMAN D., 1985. The resource ratio hypothesis of succession. *Am. Nat.* **125**: 827—852.
- TILMAN D., 1988. *Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities*. Princeton: Princeton Univ. Press.
- TILMAN D., 1990a. Mechanisms of plant competition for nutrients: The elements of a predictive theory of competition. In: *Perspectives on plant competition*. Eds. GRACE J.B., TILMAN D. London: Academic Press. s. 117—141.
- TILMAN D., 1990b. Constraints and tradeoffs: toward a predictive theory of competition and succession. *Oikos* **58**: 3—15.
- TILMAN D., 1993. Species richness of experimental productivity gradients: how important is colonization limitation? *Ecology* **74**: 2179—2191.
- TINOCO P., ALMENDROS G., CONZÁLEZ-VILA F.J., 2002. Impact of the vegetation on lignin pyrolytic signature of soil humic acids from Mediterranean soils. *J. Ann. Appl. Pyrol.* **64**: 407—420.
- TISCHEW S., MAHN E.G., 1998. Ursachen räumlicher und zeitlicher Differenzierungsprozesse von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf Flächen des mitteldeutschen Braunkohletagebaus. *Grundlagen für Renaturierungskonzepte. Verh. Ges. Ökol.* **28**: 307—317.
- TRUBETSKOJ O.A., TRUBETSKAJA O.E., SAIZ-JIMENEZ C., 2005. The study of stable electrophoretic fractions of humic acid by Pyrolytic Gas Chromatography — Mass Spectrometry. *Eurasian Soil Sci.* **11**: 1341—1344.
- TUSZYNSKI M., 1972. Chemical properties of forest litters. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, s. 90—108.
- TUXEN R., 1957. *Die Schrift des Bodens. Angew. Pflanzensoz.* Stolzenau, 14.
- TUXEN R., 1960. Zur Geschichte der Sandtrockenrasen (*Festuco-Sedetalia*) im nordwestdeutschen Alt-Diluvium. *Mitt. Flor.-Soz. Arbeitsgem.* **8**: 338—341.
- TUXEN R., 1975. Dauer-Pioniergesellschaften als Grenzfall der Initialgesellschaften. In: *Ber. Internat. Symp., Internat. Ver. f. Veget. kde. Ed. TUXEN R. Vaduz*, s. 13—30.
- UGOLINI F.C., 1968. Soil development and Alder invasion in a Recently Deglaciated Area of Glacier Bay, Alaska. In: *Biology of Alder*. Eds. TRAPPE J.M., FRANKLIN J.F., TARRANT R.F., HANSEN G.M. Portland, Oregon: Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, s. 115—140.
- UGOLINI F.C., EDMONDS R.L., 1983. Soil biology. In: *Pedogenesis and soil taxonomy. 1: Concepts and interactions*. Eds. WILDING L.P., SMECK N.E., HALL G.F. Amsterdam: Elsevier, s. 129—231.
- VAN BREEMEN N., BUURMAN P., 2002. *Soil formation. Dordrecht—Boston—London: Kluwer Academic Publishers*, 404 s.
- VAN BREEMEN N., FINZI A.C., 1998. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry* **42**: 1—19.
- VAN BREEMEN N., LUNDSTROM U.S., JONGMANS A.G., 2000. Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? *Geoderma* **94**: 163—171.
- VAN CLEVE K., VIERECK L.A., SCHLENTNER R.L., 1971. Accumulation of nitrogen in alder (*Alnus*) ecosystems near Fairbanks. Alaska. *Arctic Alpine Res.* **3**: 101—114.
- VAN HULST R., 1979. On the dynamics of vegetation: succession in model communities. *Vegetatio* **39**: 85—96.
- VAN DER MAAREL E., 1996. Vegetation dynamics and dynamic vegetation science. *Acta Bot. Neerl.* **45**: 421—442.
- VAN PELT R., FRANKLIN J., 2000. Influence of canopy structure on the understory environment in tall, old growth, conifer forest. *Can. J Forest Res.* **30**: 1231—1245.
- VAN RHEENEN J.W., WERGER M.J.A., BOBBINK R., DANIELS F.J.A., MULDER W.H.M., 1995. Short-term accumulation of organic matter and nutrient contents in two dry sand ecosystems. *Vegetatio* **120**: 161—171.

- VEJRE H., EMBORG J. 1996. Interactions between vegetation and soil in a near-natural temperate deciduous forest. *Forest Land. Res.* 1: 335—347.
- VIERECK L.A., 1966. Plant succession and plant development on gravel outwash of the Muldrow Glacier, Alaska. *Ecol. Monogr.* 36: 181—191.
- VIKTOROV S., 1980. Svjazi rastitelnosti s litologičeskimi uslovijami v peskach Tjue-su — ravninyj Mangyšlak, *Izvestija Voronezh. Geogr. Obshes.* 112/4.
- VITOUSEK P.M., WALKER L.R., 1987. Colonization, succession and resource availability: ecosystem-level interactions. In: *Colonization, succession and stability. Symposium of the British Ecological Society*, 26. Eds. GRAY A.J., CRAWLEY M.J., EDWARDS P.J. Oxford: Blackwell Scientific Publications, s. 207—224.
- VITOUSEK P.M., WALKER L.R., WHITEAKER L.D., MUELLER-DOMBOIS D., MATSON P.A., 1987. Biological invasion by *Myrica faya* alters primary succession in Hawaii. *Science* 238: 802—804.
- VITOUSEK P.M., WALKER L.R., 1989. Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: Plant demography, nitrogen fixation and ecosystem effects. *Ecol. Monogr.* 59: 247—265.
- WACH J., RAHMONOV O., SNYTKO V.A., SZCZYPEK T., 2005. Socjalno-geograficheskaja charakteristika Blendovskoj pustyni (Polsha). W: *Sovremennye problemy socjalnoj geografii. Irkuck: IG SO RAN, Wost.-Sib. Otd. Ros. Geogr. Obshes.*, s. 78—80.
- WALCZAK R.T., 1999. Modelling of processes in soil-plant-atmosphere-machine system. *Rocz. Glebozn.* 50, 3.
- WALKER L.R., 1989. Soil nitrogen changes during primary succession on a floodplain in Alaska, U.S.A. *Arctic Alpine Res.* 21: 341—349.
- WALKER L.R. (Ed.). 1999. *Ecosystems of disturbed ground.* Amsterdam: Elsevier.
- WALKER L.R., CHAPIN F.S., 1986. Physiological controls over seedling growth in primary succession on Alaskan floodplain. *Ecology* 67: 1508—1523.
- WALKER L.R., CHAPIN F.S., 1987. Interactions among processes controlling successional change. *Oikos* 50: 131—135.
- WARMING E., 1891. *De psammophile Vormationer, Danmark.* København. Medd. Naturh. For.
- WARMING E., 1895. *Plantesamfund. Grundtræk af den økologiska Plantgeografi.* København: Philipsens.
- WEIGELT A., 2001. Plant competition on inland dunes: Influence of water availability, nitrogen supply and the role of belowground processes. PhD thesis, Bielefeld: Universität Bielefeld.
- WEST N.E., 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Adv. Ecol. Res.* 20: 197—223.
- WEST D.C., SHUGART H.H., BOTKIN D.B. (ed.), 1981. *Forest succession. Concepts and Applications.* New York—Heidelberg—Berlin: Springer-Verlag, 317 s.
- WEZEL A., RAJOT J.L., HERBRIG C., 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.* 44: 383—398.
- WHITTAKER R.H., 1970. The population structure of vegetation. In: *Gesellschaftsmorphologie.* Ed. TÜXEN R. Verlag Dr W. Junk N.V., s. 39—59.
- WIESBAUER H., MAZZUCCO K., 1999. *Sandlebensräume in Niederösterreich und ihre Bedeutung für Stechimmen.* Wien: Umweltbundesamt, 72 s.
- WILSON K., 1960. The time factor in the development of dune soils at South Haven Peninsula. *Dorsets. J. Ecol.* 48: 341—359.
- WILSON P., 2001. Rate and nature of podzolisation in aeolian sands in the Falkland Islands, South Atlantic. *Geoderma* 101: 77—86.
- WITKAMP M., 1971. Soil as components of ecosystems. *Ann. Rev. of Ecol. Sys.* 2: 85—110.
- WOJTERSKI T. W., 1993. *Dry coastal ecosystems of Poland. Ecosystems of the World 2 A. Dry coastal ecosystems. Polar regions and Europe.* Amsterdam—London—New York—Tokyo: Elsevier, s. 145—163.
- WOOD D. M., DEL MORAL R., 1987. Mechanisms of early primary succession in subalpine habitats on Mount St Helens. *Ecology* 68: 780—790.
- World Reference Base for soil resources. *FAO ISRIC and ISSS. Rome 1998.*
- WRIGHT T.W., 1956. Profile development in the sand Dunes of Culbin Forest, Morayshire. 2: Chemical properties. *J. Soil Sci.* 7: 33—42.
- YAIR A., 1990. Runoff generation in a sandy area of the Nizzana Sands, western Negev, Israel. *Earth Surf. Proc. Land.* 15: 597—609.
- YAIR A., 2003. Effects of biological soil crusts on water redistribution in the Negev Desert, Israel: a case study in longitudinal dunes. *Ecol. Stud.* 150: 303—314.
- ZAADY E., GUTTERMAN Y., BOEFDKEN B., 1997. The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata*, and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crusts from the Negev Desert. *Plant Soil.* 190: 247—252.
- ZARZYCKI K., TRZCIŃSKA-TACIK H., RÓZAŃSKI W., SZELĄG Z., WOLEK J., KORZENIAK U., 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. *Biodiversity of Poland. Vol. 2.* Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 183 s.
- ZIELIŃSKA J., 1967. *Porosty Puszczy Kampinoskiej.* Monogr. Bot. 24: 1—130.
- ZIELIŃSKI T., LEWANDOWSKI J., 1990. *Analiza sedymentologiczna osadów kopalnej doliny Białej Przemszy na Wyżynie Śląskiej.* Biul. PIG 364.
- ZINKE P.J., 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology* 43(1): 130—133.
- ZONN S.V., 1954. *The influence of forests on the soil.* Moscow: Academy of Sciences.

Relations between vegetation and soil in initial phase of succession in sandy areas

Summary

Problems presented in this study refer to relations between vegetation and soil in primary phase of succession in sandy areas. The Błędów Desert, considering its specific character (lack of forest economy in the majority of area), makes the model area to observe vegetation succession and its influence on the process of soil formation. This study was realized on the base of analysis of historical sources and the interpretation of aerial photos (1955, 1973, 1996) as well as topographic maps originating from different periods (1801—1933). Apart from the above-mentioned analyses field researches on the vegetation dynamics and the initiation and development of soil processes under the influence of series of coniferous forest at its every phase and stage were carried out. Additionally, to know the relations occurring between vegetation and soil under the influence of individual species the researches on spatial changeability of soils and introduction of different species under the bushes and trees canopies were performed. Direct observations and field investigations included period of 1994—2004.

Aims of this study were as follows: to know mechanisms and succession rate in historical and contemporary expression; to evaluate lower organisms in succession initiation; to determine the influence of natural and anthropogenic factors on the succession development; to explain the influence of individual bush (*Salix arenaria* and *S. acutifolia*) and tree species (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Quercus robur*) on the rate and the course of succession of series of coniferous forest in sandy areas; to know relations between creating vegetation and soil cover during the primary and secondary succession; to recognize the influence of edaphicators on succession initiation and changes in properties of creating them soils (in the system plant — soil — vegetation); to know spatial physicochemical changes in soil properties under the influences of canopies of different plant species; to determine the influence of fossil soil on the rate of secondary succession. At realization of particular aims the proper methods were applied. Apart from standard methods — to determine the variety in the composition of organic matter of soils in the developing soil cover under the influence of vegetation of coniferous forest series at poor sandy area — method Py-GC/MS was applied. In Poland it was not hitherto

applied in researches on vegetation succession and the soil development.

On the base of analysis of maps from the years: 1804, 1911, 1914 and 1933 (Fig. 1—8) and aerial photos (1955, 1973 and 1996) the changes in size of area of Błędów Desert as the outline of permanent and drift sands as well as the gradual overgrowing of this area were estimated — at the beginning through dispersed clumps of bush and trees, and next their thickening, in some places in the form of forest. During 40 years (1955—1996) in the area analysed rather essential changes in vegetation-soil cover took place. All these changes have the connection with the dynamics of vegetation distribution. On the base of aerial photos analysis it is possible to state that as early as in 1955 (Fig. 9, 10) almost the whole area analysed was devoid of vegetation. Significant changes are observed in the photo from 1973 year (Fig. 11, 12). After a lapse of 40 years, in 1996 year (Fig. 13, 14), owing to human interference as well as natural succession and expansion of bushes of willows and grassy vegetation, areas occupied by vegetation decidedly increased in area. Alternate plantings of coniferous and broad-leaved species, creating the characteristic cheese-board, are well visible in aerial photos from 1996 year. This artificial afforestation caused the further decrease in area of drift sands and setback of natural course of succession processes. Apart from terrains, where afforestation was carried out, the vegetation introduction has spontaneous character. Clear increase in succession process, consisting in the thickening of arborescent vegetation, has been observed since the end of 1970s.

Investigations proved that vegetation succession in the area of Błędów Desert occurs in primary and secondary ways, where 9 phases (0—8) were divided, which were connected into 3 stages (primary, optimum and terminal — Fig. 17), including in total documented period of about 200 lat. Primary succession happens in the area of loose and bare sand, whereas secondary succession — at areas with the remains of fossil soils. Phases of succession kept in the longest time are connected with algae and grey hair and fodder grasses. The fastest are transitional (optimal) phases, connected with willow communities. The essential ecological importance and edaphic phases 0 with cooperation of representatives of algae (*Algae*) and cyanoses (*Cyanophyta*)

were stated, what is presented as a mechanism of facilitation of introduction for species of high ecological requirements through fixing of loose sands (Phot. 1a, b; 5b; 12a, b; 21), moisture absorption and retention and improvement in edaphic conditions. This phase was not hitherto described in respect of species and habitat composition. It was simply unnoticeable by the majority of research workers.

Broad-leaved species such as: *Salix acutifolia*, *Quercus robur* or *Betula pendula* (Fig. 22, 23) positively influence the succession rate, causing the species diversifying through canopy effect. *Pinus sylvestris* (Fig. 21) is not of significant influence on the succession rate because of weak decomposition of organic matter and formation of not very conducive conditions under the canopy for plant introduction.

The final plant community in the succession order in Błędów Desert are fresh or cup-moss coniferous forests. They create during not quite 50 years on fossil soils (secondary succession) and 60 years (primary succession) in the form of initial pine coniferous forest. The author determined period of formation of forest community on the base of aerial photos from the years 1955, 1973, 1996 (Fig. 9, 11, 13, 16, 17) as well as field investigations. In the case of artificial afforestation by means of forced succession pine monocultures, which are devoid of undergrowth and very weakly shaped humus horizons have originated.

Investigations on initiation and development of soil processes under the vegetation succession of coniferous forest series, carried out in the area of Błędów Desert in areas of different degree of soil cover and vegetation development, allowed determining the course of soil formation since the moment of initiating up to the partial stabilising (Fig. 25). The area of Błędów Desert before the mobilisation of aeolian processes was covered by podzolic soils and podzols, which were blown under the influence of aeolian processes caused by human activity. These soils developed under the influence of vegetation of pine coniferous forests, which is betokened by remaining of spodic horizon with characteristic humus-ferruginous sub-horizon Bhfe (Phot. 15, 16).

Process of soil cover formation occurs parallel to vegetation succession, with difference, that its rate is slower. From this reason the observation of soil processes is more difficult. Applied plant-soil chronosequence at diversified in age real plant communities facilitated the determination of relations between creating plant and soil covers during primary and secondary succession of coniferous forest series.

Soils shaping in the area of Błędów Desert and in directly adjacent terrains show diversified profile structure and colour of particular genetic horizons (Tab. 10, 11, 12—22, 26—29) in dependence on development degree and density of plant communities. Systematic formation of following horizons or sub-horizons was also observed as soil plant succession of coniferous forest series advances. The thickness of solum in regosols and arenosols amounts on the average to from 10 to 25 cm, and in the case of podzolic soils in primary stage of development — about

50 cm. In earlier phases of succession the predominating soil-forming process is accumulation and humification of organic matter and in consequence the formation of organic-humus horizon (OA, O/A) and humus horizon (A). On the base of morphological features and accumulation of organic matter in the area investigated three development stages of soils were divided: initial (regosols), transitional (arenosols and half-mature — podzolic soils in initial stage of development) and mature (proper podzolic soils).

Comparable grain size composition (Tab. 10, 11) as well as the similarity in element total composition of sandy material in horizon C (Tab. 12) indicates the similarity of parent rock of creating themselves soils. The depth of this horizon, lying in profiles investigated fluctuates from 2 to about 15 cm, what also indicates the initiation of soil processes at similar material and in comparable time. The direction of soil-forming process in the area investigated is podzolization and already during 35 years the traces of this process are observed under the individuals of Scotch pine in the form of whitened quartz grains.

Clear difference is observed in the influence of particular communities with predominating species on the rate of soil-forming processes. These changes are visible in morphology as well as in chemical properties of soils as follows: content of organic carbon (Corg), total nitrogen (Nt), pH-reaction (pH), relation of carbon to nitrogen (C/N) and the content of pedogenic iron and aluminium oxides (Tab. 23—25, 30—34). The diversity in the content of pedogenic forms of iron (Fe) and aluminium (Al) is conditioned by stages and phases of vegetation succession and it can serve not only as the index of degree of soil development, but also it can be applied at the evaluation of plant succession promotion.

Clearly different is the influence of edaphicators on plant-soil succession, resulting from their biology and ecology. Within sandy field they create isolated surfaces in the form of soil and food islands. Surfaces of soil-plant islands of small area originate in result of phytogenic field activity, what is conditioned by canopy effect. Shape and size of canopies of particular species has different influence on the variety and rate of plant succession and the soil development. One from observed soil processes under species investigated is quick increase in the thickness of humus horizon, especially under *Salix acutifolia*, *S.*

arenaria and *Quercus robur*. Every soil property, together with soil organic matter, quickly changes as the area of shadow creates and increases and organic matter accumulates. The clear differences at formation of organic and humus horizons under investigated canopies of bush and tree species: *Salix acutifolia*, *Betula pendula*, *Quercus robur* and *Pinus sylvestris* (Fig. 34—42) were stated. The thickest humus horizon was observed under *Quercus robur*.

Thick organic and humus horizons under canopies of species investigated were stated at bases of trunks, and as the distance from them increases the opposite situation is observed. Process of organic matter accumulation and initiation of soil processes begins from the moment of

canopy formation under bush or tree. Therefore it is possible to conclude of periods of formation and age of soil through determination of species age, under which pedogenesis occurs. This way of determination can be used in areas, where primary succession with well-known history of vegetation takes place.

Organic horizons and subhorizons under canopies create the advantageous conditions for the development and existence of soil organisms, which then also influence the soil features. Considering young age of soil and weak differentiation of soil horizons, the organic matter lying directly over the mineral layer plays the essential ecosystem role in primary stages of plant-soil succession, where amount and quality of organic matter conditions the absorbing capacity and the number of cations. Significant contribution of alkaline cations in chemical composition of broad-leaved species causes the decrease in soil acidity.

Results of investigations carried out by means of Py-GC/MS indicate the clear differentiation in the composition of organic matter of soils in different phases of succession under predominating communities with cryptogamous (Fig. 43—45) and vascular plants (Fig. 46—50). The analysis of organic composition of tissues of plants covering the given area facilitates the determination of origin of the given group of organic compounds in the soil. The comparison of occurrence and diversity in composition of organic matter in plant tissues and humus horizon of soils developing under the influence of predominating communities of coniferous forest series in its primary stages and phases was made. Their large variety considering organic compounds under communities *Algae-*

-Cyanophyta, biological soil crusts and *Polytrichum piliferum* was stated.

Process of soil regeneration in the area of Błędów desert happens doubly. The first way occurs in areas, where soil cover was completely disturbed and blown. This way of soil formation happens under conditions of primary vegetation succession. Such surfaces should be appreciated as zero (start) phase of succession, which is mainly initiated by *Algae* and *Cyanophyta*, at which cooperation initial soils create (Phot. 22a, b, 23; Fig. 29, 30, 32). The second way of regeneration of soil cover in areas without humus horizon or whole-profile fossil soils occurs as secondary soil and plant succession in the form of cyclic changes (Phot. 15, 16). It is connected with deposition and re-deposition of sand as well as introduction of vegetation, which result is alternating occurrence of dark and bright sand. This cycle can repeat some times and this way the following sequences of soil create (Tab. 26, 27). This is the classic example of relation between vegetation and soil-forming process.

Investigations in sandy dunes present that the conception of ecosystem means more than biological association and its environment. The conception of physical-biological system dynamics is strictly connected with interaction of vegetation with physical forces, which — owing to aeolian processes — have built dunes, phytogenic hillocks and connected with them soils. It is presented especially through chemical transformation and element circulation during succession and soil development from loose sands up to stabilised surfaced and in consequence — well developed soil horizons.

Взаимоотношение между растительностью и почвой в инициальной фазе сукцессии в песчаных районах

Резюме

Представленные в работе проблемы касаются взаимоотношения между растительностью и почвой в инициальной фазе сукцессии в песчаных районах пустыни Блендовской, принимая во внимание особенность пустыни (отсутствие лесного покрова на большей части территории), является она модельным объектом для наблюдений сукцессии растительности и ее влияния на процесс почвообразования. Работа была реализована на основе анализа исторических источников, а также интерпретации аэрофотоснимков 1955, 1973, 1996 годов и топографических карт разных периодов (1801—1933). Кроме вышеупомянутых анализов проводились полевые наблюдения над динамикой растительности, а также над инициацией и развитием почвенных процессов в результате влияния сукцессии боровой серии во всех их фазах и стадиях. Дополнительно, чтобы изучить соотношения между растительностью и почвой в результате влияния отдельных видов растений, проводились исследования пространственного изменения почв и распространением разных видов под короной кустов и деревьев. Непосредственные наблюдения и полевые работы охватывали период 1994—2004.

Целями работы являются: установление механизмов и темпа сукцессии в историческом и современном ракурсе; определение влияния натуральных и антропогенных факторов на процесс сукцессии; выяснение влияния отдельных видов кустов (*Salix arnaria* и *S. acutifolia*) и деревьев (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Quercus robur*) на темп и период сукцессии боровой серии в песчаных районах; установление взаимоотношения между образующимся растительным покровом и почвой в результате первичной и вторичной сукцессии; установление влияния эдификаторов на инициацию сукцессии и изменение свойств формирующихся почв (в системе растение — почва — растение); выяснение пространственных изменений физико-химических свойств почвы в результате действия корон разных видов растений; определение влияния погребенных почв на темп вторичной сукцессии. При реализации отдельных целей использовано соответствующие методы. Кроме стандартных методов с целью определения разнообразия

состава органической материи почв в развивающемся почвенном покрове под влиянием растительности боровой серии в убогих песчаных районах использовано метод Рu-GC/MS. Этот метод до сих пор не был использован в исследованиях сукцессии растительности и развития почв.

На основе анализов карт 1804, 1911, 1914 и 1933 годов (рис. 1—8), а также аэрофотоснимков (1955, 1973, 1996) произведена оценка изменения площади пустыни Блендовской по контуру постоянных и движущихся песков и постепенного зарастания территории разбросанными кучками кустов и деревьев, уплотнение их в следующей стадии, местами до состояния леса. В течении 40 лет (1955—1996) на анализированной территории произошли существенные изменения растительно-почвенного покрова. Связано это было с динамикой распространения растительности. На основании анализа аэрофотоснимков можно утверждать, что еще в 1955 году (рис. 9, 10) практически вся анализированная территория была лишена растительности. Значительные изменения наблюдаются на снимке 1973 года (рис. 11, 12). По прошествии 40 лет, в 1996 году (рис. 13, 14) в результате антропогенного воздействия человека и вследствие натуральной сукцессии, а также экспансии кустов ивы и травянистого покрова, поверхность, занятая растительностью значительно увеличилась. Переменные посадки хвойных и лиственных видов, образующих характерную шахматную доску, хорошо видны на снимках 1996 года. Эти искусственные насаждения привели к дальнейшему уменьшению территории движущихся песков и сопутствовали торможению натурального хода сукцессийных процессов. Кроме тех территорий, где проводилось залесение, вторжение растительности носит спонтанный характер. Отчетливое ускорение сукцессийных процессов, выражающееся в уплотнении древовидной растительности, наблюдается с конца 70 годов XX века.

Исследования показали, что сукцессия растительности на территории пустыни Блендовской происходит путем первичной и вторичной сукцессии, где выделено 9 фаз (0—8), которые объединены в три стадии (инициальная, оптимальная, терминальная — рис. 17), охватывающая документированный период около 200

лет. Первичная сукцессия имеет место на поверхности рыхлого и голого песка, в то время как вторичная — на поверхностях с остатками погребенных почв. Более длительное время продолжаются фазы, связанные с водорослями и травяными сообществами с *Corynephorus canescens* и *Koeleria glauca*. Более быстро проходят переходные (оптимальные) фазы, связанные с сообществами ив. Установлено существенное экологическое и эдафическое значение фазы 0 с участием представителей водорослей (*Algae*) и сине-зеленых (*Cyanophyta*), что представляется как механизм подготовки распространения видов с высокими экологическими требованиями в результате закрепления рыхлых песков (фото 1а, б; 5б; 12а, б; 21), поглощения и задержки влаги, а также улучшения условий местобитания. Эта фаза не была до сих пор описана с учетом видового состава и биотопной характеристики, оставалась просто без внимания большого числа исследователей.

Лиственные виды, такие как: *Salix acutifolia*, *Quercus robur* czy *Betula pendula* (рис. 22, 23) положительно влияют на темп сукцессии, приводя до видового разнообразия в результате коронного эффекта (canopy effect). *Pinus sylvestris* (рис. 21) не имеет значительного влияния на темп сукцессии по причине слабого разложения органической материи и плохих условий местобитания под ее короной для заселения растений.

Конечным растительным сообществом в ряду сукцессии в пустыни Блендовской являются сосновые или сосново-лишайниковые боры. Они образуются в течении неполных 50 лет на погребенных почвах (вторичная сукцессия) и 60 лет (первичная сукцессия) в форме инициального соснового бора. Период образования лесного сообщества автор установил на основании аэрофотоснимков 1955, 1973, 1996 годов (рис. 9, 11, 13, 16, 17) и полевых работ. В случаях искусственных насаждений путем принудительной сукцессии образовывались сосновые монокультуры, лишенные мелколесья и со слабо сформированным гумусовым горизонтом.

Исследования над инициацией и развитием почвенных процессов под влиянием сукцессии боровой растительности, проводимые на территории пустыни Блендовской на поверхностях с разной степенью развития почвенного и растительного покрова, позволили установить ход процесса образования почвы от момента инициации и до его частичной стабилизации (рис. 25). Район пустыни Блендовской перед началом эоловых процессов, вызванных деятельностью человека, был покрыт подзолистыми почвами, которые были выветрены. Эти почвы развивались благодаря растительности сосновых боров, о чем свидетельствуют остатки илювиального горизонта (spodic) с характерным гумусово-железистым субгоризонтом Bhfe (фото 15, 16).

Процесс образования почвенного покрова происходит одновременно с сукцессией растительности с той

разницей, что его темп есть более медленным. По этой причине наблюдение почвенных процессов является более трудным. Используемая растительно-почвенная хроносеквенция на реальных разновозрастных растительных сообществах упростила определение соотношения между восстанавливающимися растительным и почвенным покровами в процессе первичной и вторичной сукцессии боровой серий.

Почвы, образующиеся на территории пустыни Блендовской, а также в ее окрестностях, проявляют разнородность в профильном строении и цвете отдельных генетических горизонтов (табл. 10, 11, 12—22, 26—29) в зависимости от степени развития и плотности растительных сообществ. Замечено также систематическое образование следующих горизонтов и субгоризонтов по мере того, как развивалась растительно-почвенная сукцессия боровой серии. Мощность совокупных горизонтов регосолов и ареносолов составляет в среднем от 10 до 25 см, а в случае подзолистых почв на инициальной стадии развития — около 50 см. В начальных фазах сукцессии доминирующим почвообразующим процессом является аккумуляция и гумификация органической материи, а как следствие образование органическо-гумусного (ОА, О/А) и гумусного (А) горизонтов. На основании морфологических признаков, а также аккумуляции органического вещества на исследуемой территории выделено три стадии развития почв: начальные (регосолы), переходные (ареносолы и наполовину дозревшие — подзолистые почвы в начальной стадии развития) и со всеми почвенными горизонтами (подзолистые почвы).

Сравнительный гранулометрический состав (табл. 10, 11), а также сходство валового элементного состава песчанного материала в горизонте С (табл. 12) указывает на сходство материнских пород образующихся почв. Глубина залегания этого горизонта в исследуемых профилях меняется от 2 до около 15 см, что также указывает на инициацию почвенных процессов на сходном материале и сравнимым по времени. Направлением почвообразующего процесса на исследуемой территории является подзолообразование и уже в течении 35 лет под образцами обычной сосны наблюдаются следы этого процесса в форме выбеленных зерен кварца.

Отчетливо видно, что на темп почвообразующих процессов влияют отдельные сообщества с доминирующими видами. Изменения эти заметны и в морфологии, и химических свойствах почв, таких как содержание органического угля (Corg), общего азота (Nt), реакции (pH), отношению угля к азоту (C/N), а также содержания педогенных окислов железа и алюминия (табл. 23—25, 30—34). Разнообразие содержания педогенных форм железа (Fe) и алюминия (Al) обусловлено стадиями и фазами сукцессии растительности и может служить не только как показатель степени развития почв, а также может быть использо-

вано при оценке степени развития сукцессии растительности.

Совсем другим является влияние эдификаторов на растительно-почвенную сукцессию, вытекающую с их биологии и экологии. Образуют они в пределах песчанного поля изолированные поверхности в форме почвенных и питательных островов. Небольшие поверхности почвенно-растительных островов образуются в результате действия фитогенного поля, что обусловлено эффектом корон. Форма и размер корон видов по-разному влияют на разнообразие и темп растительной сукцессии, а также на развитие почвы. Одним из наблюдаемых почвенных процессов под исследуемыми видами является быстрое увеличение мощности гумусового горизонта, особенно под *Salix acutifolia*, *S. arenaria* и *Quercus robur*. Все признаки и свойства почвы вместе с органической материей почв быстро изменяются в процессе образования и увеличения поверхности тени, а также аккумуляции органической материи. Установлены четкие различия при образовании органических и гумусовых горизонтов под исследуемыми коронами видов кустов и деревьев: *Salix acutifolia*, *Betula pendula*, *Quercus robur* и *Pinus sylvestris* (рис. 34—42). Наиболее мощный гумусовый горизонт зафиксирован под *Quercus robur*.

Более мощные органические и гумусовые горизонты под коронами исследуемых видов установлены у основания пней, а по мере удаления от них наблюдается обратная ситуация. Процесс накопления органической материи и инициация почвенных процессов начинается от момента образования короны под кустом или деревом. Поэтому можно оценить период образования и возраст почвы на основании установления возраста вида, под которыми проявляется педогенез. Такой способ определения может быть использован на территориях, где имеется первичная сукцессия с хорошо известной историей растительности.

Органические горизонты и субгоризонты под коронами создают эффективные условия для развития и обитания почвенных организмов, которые, в свою очередь, также влияют на свойства почвы. Принимая во внимание молодой возраст почвы и слабую дифференциацию почвенных горизонтов, органическая материя, лежащая непосредственно над минеральным слоем играет существенную экосистемную роль на начальных стадиях растительно-почвенной сукцессии, где количество и качество органической материи обуславливают сорбционный объем и количество катионов. Значительная доля основных катионов в химическом составе листовых видов вызывает уменьшение кислотности почвы.

Результаты исследований, проводимых при использовании Py-GC/MS указывают на отчетливые различия состава органической материи почв в разных фазах сукцессии под доминирующими сообществами с сообществами споровых (рис. 43—45) и сосудистых (рис. 46—50) растений. Анализ органического состава тканей растений, заростающих данную поверхность, упрощает определение происхождения данной группы органических соединений в почве. Произведено сравнение появления и разнообразия состава органической материи в тканях растений и в гумусовом горизонте почв, развивающихся под влиянием доминирующих сообществ боровой серии на ее начальных стадиях и фазах. Установлено их большое разнообразие на основании органических соединений под сообществами *Algae-Cyanophyta*, под биологической почвенной корочкой (*biological soil crusts*) и *Polytrichum piliferum*.

Процесс регенерации почв на территории пустыни Блендовской происходит двояко. Первый способ проявляется в районах, где почвенный покров был уничтожен и полностью развеян. Этот способ образования почвы происходит в условиях первичной растительной сукцессии. Такие поверхности следует признавать нулевыми (стартовыми) фазами сукцессии, инициированными *Algae* и *Cyanophyta*, при участии которых образуются начальные почвы (фото 22а, б, 23; рис. 29, 30, 32). Второй способ регенерации почвенного покрова на поверхностях над погребенными почвами без гумусового и частично элювиального горизонтов или полнопрофильными происходит как вторичная почвенная и растительная сукцессия в форме циклических изменений (фото 15, 16). Связано это с отложением и переотложением песка и заселением растительностью, результатом чего является попеременно появляющиеся темные и светлые пески. Этот цикл может повторяться несколько раз и, таким образом, образуются следующие секвенции почв (табл. 26, 27). Это является примером классического взаимоотношения между растительностью и почвообразующим процессом.

Исследования песчаных дюн показывают, что концепция экосистемы означает больше, чем биологическая ассоциация и ее окружающая среда. Концепция динамики физико-биологической системы тесно связана с взаимодействием растительности с физическими силами, которые в связи с эоловыми процессами образовывали дюны, фитогенные бугры и связанные с ними почвы. Это представлено химической трансформацией и круговоротом элементов во время сукцессии и развития почвы от рыхлых песков до стабильных поверхностей и впоследствии хорошо развитых почвенных горизонтов.

Spis tabel

Tabela 1.	Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie A. Heldenfelda z 1804 roku	24
Tabela 2.	Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie z 1911 roku.	24
Tabela 3.	Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie z 1914 roku.	29
Tabela 4.	Elementy krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na mapie z 1933 roku.	32
Tabela 5.	Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1955 rok	35
Tabela 6.	Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1973 rok	38
Tabela 7.	Udział zbiorowisk roślinnych na obszarze Pustyni Błędowskiej i jej okolic, 1996 rok	41
Tabela 8.	Wymiana gatunków zarodnikowych i następstwo zbiorowisk w trakcie sukcesji pierwotnej na obszarze Pustyni Błędowskiej.	45
Tabela 9.	Wymiana gatunków naczyniowych i następstwo zbiorowisk w trakcie sukcesji pierwotnej na obszarze Pustyni Błędowskiej	53
Tabela 10.	Uziarnienie materiału budującego współczesne gleby Pustyni Błędowskiej i okolic.	79
Tabela 11.	Uziarnienie materiału budującego młodsze (leżące nad glebami kopalnymi) i starsze gleby biellicowe.	80
Tabela 12.	Całkowita zawartość Fe, Al, Ca, Mg, P, K, Mn, Na i Zn w wybranych glebach.	81
Tabela 13.	Morfologia gleby w profilu I.1	83
Tabela 14.	Morfologia gleby w profilu I.2.	83
Tabela 15.	Morfologia gleby w profilu I.3.	83
Tabela 16.	Morfologia gleby w profilu I.4.	84
Tabela 17.	Morfologia gleby w profilu I.5.	85
Tabela 18.	Morfologia gleby w profilu I.6.	85
Tabela 19.	Morfologia gleby w profilu I.7.	86
Tabela 20.	Morfologia gleby w profilu I.8.	86
Tabela 21.	Morfologia gleby w profilu I.9.	87
Tabela 22.	Morfologia gleby w profilu I.10	88
Tabela 23.	Niektóre właściwości chemiczne gleb współczesnych tworzących się pod różnymi zbiorowiskami roślinnymi na Pustyni Błędowskiej	90
Tabela 24.	Sorpcyjne właściwości badanych gleb	93
Tabela 25.	Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników w badanych glebach Pustyni Błędowskiej	96
Tabela 26.	Morfologia gleby w profilu II.1	98
Tabela 27.	Morfologia gleby w profilu II.2	98

Tabela 28. Morfologia gleby w profilu III.1	99
Tabela 29. Morfologia gleby w profilu III.2	100
Tabela 30. Niektóre właściwości chemiczne gleb kopalnych ogłowionych i pełnoprofilowych przykrytych arenosolami na Pustyni Błędowskiej	103
Tabela 31. Sorpcyjne właściwości gleb kopalnych ogłowionych przykrytych arenosolami .	105
Tabela 32. Sorpcyjne właściwości gleb kopalnych pełnoprofilowych przykrytych arenosolami	105
Tabela 33. Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników w badanych glebach kopalnych ogłowionych przykrytych arenosolami	107
Tabela 34. Zawartość różnych form żelaza (Fe) i glinu (Al) oraz wartości niektórych wskaźników gleb kopalnych pełnoprofilowych przykrytych arenosolami .	107
Tabela 35. Skład chemiczny skorupy glonowej — wybrane pierwiastki	116
Tabela 36. Skład chemiczny <i>Polytrichum piliferum</i> — wybrane pierwiastki	121
Tabela 37. Skład chemiczny wybranych frakcji opadu <i>Pinus sylvestris</i>	134
Tabela 38. Skład chemiczny wybranych frakcji opadu <i>Juniperus communis</i>	134
Tabela 39. Skład chemiczny wybranych frakcji opadu <i>Salix acutifolia</i> , <i>Betula pendula</i> i <i>S. arenaria</i>	140
Tabela 40. Skład chemiczny wybranych frakcji opadu <i>Quercus robur</i>	147

Spis fotografii

Fot. 1.	Nalot glonowy na powierzchni piasku na polu deflacyjnym (a) oraz kolonizacja piasku przez glony nitkowate (b)	44
Fot. 2.	Fragment murawy szczytlichowej: a — postać inicjalna, b — postać typowa.	47
Fot. 3.	Płat <i>Polytrichum piliferum</i>	48
Fot. 4.	<i>Salix arenaria</i> na polu deflacyjnym (a) i korzenie <i>S. arenaria</i> w wkładce materiału pylastego w utworach piaszczystych (b)	49
Fot. 5.	Skorupa mszysto-porostowa (a) i skorupa glonowa (b)	51
Fot. 6.	Rozwijające się <i>P. sylvestris</i> na zniszczonej powierzchni biologicznej skorupy glebowej na Pustyni Błędowskiej	52
Fot. 7.	Fragment murawy strzępicowej na tle biogrup	52
Fot. 8.	Biogrupa wierzbowo-brzozowo-sosnowa	56
Fot. 9.	Wypieranie wierzby przez sosny w dojrzałych biogrupach (a), inicjalny bór sosnowy (b)	58
Fot. 10.	Skorupa porostowa z dominacją <i>Diploschistes muscorum</i>	61
Fot. 11.	Brak roślinności pod okapami sosen (a, b).	64
Fot. 12.	Fragment plechy glonu nitkowatego (a), siatka glonów nitkowatych utrwalająca piasek (b)	72
Fot. 13.	Zasypana piaskiem kępa <i>Corynephorus canescens</i>	74
Fot. 14.	Wkraczanie sosny pod wierzbę ostrolistną	75
Fot. 15.	Przykład wtórnej sukcesji glebowej i jej cykliczność nad glebami kopalnymi ogłowionymi	101
Fot. 16.	Przykład wtórnej sukcesji glebowej i jej cykliczność nad glebami kopalnymi częściowo ogłowionymi	101
Fot. 17.	Korzenie penetrujące warstewki próchniczne	102
Fot. 18.	Zatrzymywanie substancji allochtonicznej przez wierzbę piaszkową <i>Salix arenaria</i>	111
Fot. 19.	Tworzenie się poziomego wymycia pod inicjalnym borem sosnowym świeżym	112
Fot. 20.	Pojedyncze ziarna piasku oblepione przez glony i sinice (a) oraz utrwalanie piasków przez glony nitkowate (b)	117
Fot. 21.	Różny stopień zasiedlania piasków przez kolonie <i>Cylindrocapsa</i> sp.: tworzenie wojułoku (a) i postać siatkowata (b)	118
Fot. 22.	Wierzchnia warstwa skorupy glonowej — wnikanie glonów do piasku (a), dolna warstwa skorupy glonowej (b).	122
Fot. 23.	Skorupa glonowa zasypywana piaskiem.	123
Fot. 24.	Wiązanie ziaren piasku przez ryzoidy <i>Polytrichum piliferum</i>	124
Fot. 25.	Udział ryzoidów <i>Polytrichum piliferum</i> w tworzeniu poziomego próchnicznego A.	125
Fot. 26.	Zatrzymywanie substancji organiczno-mineralnej na łożysce <i>Polytrichum piliferum</i>	125

Fot. 27. Ślady komórek glonowych na ziarnie piasku: pojedyncze glony jednokomórkowe (a) i postać kolonialna (b)	128
Fot. 28. Igliwie sosnowe zatrzymane i skolonizowane przez glony nitkowate	129
Fot. 29. Nagromadzenie substancji allochtonicznej w zagłębieniach terenu	138
Fot. 30. Mrowisko w obrębie murawy szczotlichowej (a) i rozwój młodych okazów sosny wokół mrowiska (b)	162

Spis rysunków

Rys. 1. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1804 rok.	22
Rys. 2. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1804 roku	23
Rys. 3. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej z 1911 roku, stan na lata 1902—1903	25
Rys. 4. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1911 roku.	26
Rys. 5. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1914 rok.	27
Rys. 6. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1914 roku.	28
Rys. 7. Pustynia Błędowska i jej okolice na mapie topograficznej, stan na 1933 rok.	30
Rys. 8. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie mapy z 1933 roku.	31
Rys. 9. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1955 rok .	33
Rys. 10. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1955 roku	34
Rys. 11. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1973 rok .	36
Rys. 12. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1973 roku	37
Rys. 13. Pustynia Błędowska i jej okolice na zdjęciach lotniczych, stan na 1996 rok .	39
Rys. 14. Szkic interpretacyjny elementów krajobrazu Pustyni Błędowskiej i jej okolic na podstawie zdjęć lotniczych z 1996 roku	40
Rys. 15. Schemat przebiegu sukcesji na obszarze Pustyni Błędowskiej (wg RAHMONOVA, 1998, zmienione)	43
Rys. 16. Zmiany roślinności wybranych powierzchni Pustyni Błędowskiej na zdjęciach lotniczych z lat 1955, 1973, 1996: obszary związane z sukcesją pierwotną (a); obszary związane z sukcesją wtórną na glebach kopalnych (b)	59
Rys. 17. Zmiany roślinności w zachodniej części Pustyni Błędowskiej na zdjęciach lotniczych z lat 1955, 1973, 1996: pierwotna sukcesja (a), wtórna „wspomagana” sukcesja (b)	59
Rys. 18. Udział grup systematycznych w poszczególnych fazach sukcesji.	60
Rys. 19. Liczba gatunków poszczególnych grup systematycznych biorących udział w sukcesji	60
Rys. 20. Liczba gatunków roślin naczyniowych w poszczególnych fazach sukcesji .	62
Rys. 21. Plan rozmieszczenia roślinności w biogrupie z dominacją sosny zwyczajnej .	63
Rys. 22. Plan rozmieszczenia roślinności pod okapem dębu i brzozy	65
Rys. 23. Plan rozmieszczenia roślinności w biogrupie wierzbowo-brzozowej.	67

Rys. 24. Przebieg sukcesji roślinności na ruchomych piaskach Hulshorster Sand w centralnej Holandii (A) oraz na wydmach śródlądowych na południu Niemiec (B).	71
Rys. 25. Przebieg pierwotnej (A) i wtórnej (B) sukcesji glebowej na Pustyni Błędowskiej i w jej sąsiedztwie.	109
Rys. 26. Zmienność zawartości Corg w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji .	110
Rys. 27. Zmienność Nt i C/N w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji	110
Rys. 28. Zmienność odczynu w poziomie próchnicznym w trakcie sukcesji	111
Rys. 29. Skorupa glonowa jako siatka wychwytyjąca różne drobne cząstki mineralne .	119
Rys. 30. Minerale przechwytywane przez sieć nitkowatych glonów	120
Rys. 31. Zatrzymywanie frakcji mineralnej na powierzchni listków <i>Polytrichum piliferum</i>	126
Rys. 32. Przeobrażenie powierzchni ziarna piasku przez glony pod wpływem wietrzenia biologicznego	127
Rys. 33. Ziarno piasku w sieci ryzoidów wraz z absorbowanymi minerałami	130
Rys. 34. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchnicznego (OA), organicznego (O) i próchnicznego (A) w biogrupie sosnowej	133
Rys. 35. Poletko badawcze w biogrupie sosnowej	136
Rys. 36. Właściwości chemiczne gleb w biogrupie sosnowej	137
Rys. 37. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchnicznego (OA), organicznego (O) i próchnicznego (A) w biogrupie wierzbowo-brzozowej	139
Rys. 38. Poletko badawcze w biogrupie wierzbowo-brzozowej	141
Rys. 39. Właściwości chemiczne gleb w biogrupie wierzbowo-brzozowej	143
Rys. 40. Przestrzenna zmienność poziomu organiczno-próchnicznego (OA), organicznego (O) i próchnicznego (A) pod okapem <i>Quercus robur</i>	144
Rys. 41. Poletko badawcze pod okapem <i>Quercus robur</i>	145
Rys. 42. Właściwości chemiczne gleb pod okapem <i>Quercus robur</i>	146
Rys. 43. Procentowy udział związków organicznych w plesze glonowej (A), poziomie próchnicznym (B) oraz skale macierzystej (C)	150
Rys. 44. Procentowy udział związków organicznych w plesze biologicznej skorupy glebowej (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)	151
Rys. 45. Procentowy udział związków organicznych w plesze <i>Polytrichum piliferum</i> (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)	152
Rys. 46. Procentowy udział związków organicznych w nadziemnej części <i>Corynephorus canescens</i> (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)	153
Rys. 47. Procentowy udział związków organicznych w nadziemnej części <i>Koeleria glauca</i> (A) oraz w poziomie próchnicznym (B)	154
Rys. 48. Procentowy udział związków organicznych w poziomie organicznym (Olf) (A) oraz w poziomie próchnicznym (B) pod <i>Salix arenaria</i>	155
Rys. 49. Procentowy udział związków organicznych w poziomie organicznym (Olf) pod <i>Salix acutifolia</i> (A) oraz w poziomie próchnicznym (B) pod <i>Salix acutifolia</i> .	156
Rys. 50. Procentowy udział związków organicznych w podpoziomach OI (A), Of (B) oraz w poziomie próchnicznym (C) pod <i>Pinus sylvestris</i>	157

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Przegląd literatury.	8
2.1. Stan badań nad dynamiką roślinności obszarów piaszczystych	8
2.2. Stan badań nad rozwojem gleb piaszczystych	10
3. Cele i zakres badań	13
4. Obiekt badań.	14
5. Materiały i metody.	16
5.1. Materiały kartograficzne i zdjęcia lotnicze	16
5.2. Badania roślinności	16
5.2.1. Metody fitosocjologiczne	17
5.2.2. Metody kartowania roślinności	17
5.2.3. Metody badania skorupy glonowej	17
5.2.4. Metody analizy chemicznej materiału roślinnego	18
5.3. Badania gleb	18
5.3.1. Metody terenowe	19
5.3.2. Metody laboratoryjne	19
6. Przebieg sukcesji na obszarze Pustyni Błędowskiej	21
6.1. Zmiany w rozmieszczeniu roślinności Pustyni Błędowskiej w latach 1804—1996.	21
6.2. Stadia i fazy sukcesji	42
6.3. Sukcesja jako proces wymiany gatunków	60
6.4. Wpływ wybranych gatunków krzewów i drzew na zróżnicowanie składu florystycznego podczas sukcesji	62
6.5. Podsumowanie i dyskusja	66
7. Rozwój gleb na obszarze Pustyni Błędowskiej	78
7.1. Specyfika utworów macierzystych gleb	78
7.2. Morfologia gleb współczesnych w relacji do sukcesji pierwotnej	82
7.3. Właściwości gleb współczesnych	89
7.4. Morfologia gleb kopalnych w relacji do sukcesji wtórnej	97
7.5. Właściwości gleb kopalnych	102
7.6. Podsumowanie i dyskusja	108
8. Rola roślinności w kształtowaniu gleby w inicjalnych fazach sukcesji	116
8.1. Glebotwórcze znaczenie roślin niższych	116
8.2. Glebotwórcze znaczenie wybranych roślin wyższych w strefie oddziaływania ich okapów.	131

8.2.1. Wpływ sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i>)	132
8.2.2. Wpływ brzozy brodawkowatej (<i>Betula pendula</i>), wierzby ostrolistnej (<i>Salix acutifolia</i>) i wierzby piaskowej (<i>S. arenaria</i>).	138
8.2.3. Wpływ dębu szypułkowego (<i>Quercus robur</i>)	142
8.3. Zróżnicowanie materiału roślinnego i materii organicznej gleb w przebiegu sukcesji na poziomie molekularnym	148
8.4. Podsumowanie i dyskusja	158
9. Uwagi końcowe i wnioski	163
Literatura	169
Summary	183
Резюме	187
Spis tabel	191
Spis fotografii	193
Spis rysunków	195

RUŚ

nr inw.: BG - 359623



BG N 286/2506