



Grzegorz Nowak

**Wzrost i rozwój dębu czerwonego  
(*Quercus rubra* L.) w zależności  
od sposobu przygotowania podłoży  
z dodatkiem popiołużużli**





lemp 5x2

275132

Oreff.

192880

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Spis treści

Wstęp	.....
1. Cel i zakres pracy	.....
2. Przepis literatury	.....
2.1. Wprowadzenie	.....
2.2. Składniki składników	.....
2.2.1. Rodzaje składników	.....
2.2.2. Określenie właściwości	.....
2.2.3. Metody badania	.....
2.2.4. Terminy badania	.....
2.3. Charakterystyka składników	.....
2.3.1. Charakterystyka podstawowych	.....
2.3.2. Charakterystyka dodatków	.....
3. Materiał i metody	.....
3.1. Określenie materiału	.....
3.2. Przygotowanie	.....
3.3. Badania laboratoryjne	.....
3.4. Badania polowe	.....
3.5. Wyniki	.....
4. Charakterystyka i właściwości wygotowanych podłoży	.....
4.1. Ciężar właściwy	.....
4.1.1. Wprowadzenie	.....
4.1.2. Analiza chemiczna	.....
4.2. Wskaźnik pH	.....
4.3. Ciężar właściwy	.....
4.4. Ciężar właściwy	.....
4.5. Ciężar właściwy	.....
4.6. Ciężar właściwy	.....
4.7. Ciężar właściwy	.....
4.8. Ciężar właściwy	.....
4.9. Ciężar właściwy	.....
4.10. Ciężar właściwy	.....
4.11. Ciężar właściwy	.....
4.12. Ciężar właściwy	.....
4.13. Ciężar właściwy	.....
4.14. Ciężar właściwy	.....
4.15. Ciężar właściwy	.....
4.16. Ciężar właściwy	.....
4.17. Ciężar właściwy	.....
4.18. Ciężar właściwy	.....
4.19. Ciężar właściwy	.....
4.20. Ciężar właściwy	.....
4.21. Ciężar właściwy	.....
4.22. Ciężar właściwy	.....
4.23. Ciężar właściwy	.....
4.24. Ciężar właściwy	.....
4.25. Ciężar właściwy	.....
4.26. Ciężar właściwy	.....
4.27. Ciężar właściwy	.....
4.28. Ciężar właściwy	.....
4.29. Ciężar właściwy	.....
4.30. Ciężar właściwy	.....
4.31. Ciężar właściwy	.....
4.32. Ciężar właściwy	.....
4.33. Ciężar właściwy	.....
4.34. Ciężar właściwy	.....
4.35. Ciężar właściwy	.....
4.36. Ciężar właściwy	.....
4.37. Ciężar właściwy	.....
4.38. Ciężar właściwy	.....
4.39. Ciężar właściwy	.....
4.40. Ciężar właściwy	.....
4.41. Ciężar właściwy	.....
4.42. Ciężar właściwy	.....
4.43. Ciężar właściwy	.....
4.44. Ciężar właściwy	.....
4.45. Ciężar właściwy	.....
4.46. Ciężar właściwy	.....
4.47. Ciężar właściwy	.....
4.48. Ciężar właściwy	.....
4.49. Ciężar właściwy	.....
4.50. Ciężar właściwy	.....
4.51. Ciężar właściwy	.....
4.52. Ciężar właściwy	.....
4.53. Ciężar właściwy	.....
4.54. Ciężar właściwy	.....
4.55. Ciężar właściwy	.....
4.56. Ciężar właściwy	.....
4.57. Ciężar właściwy	.....
4.58. Ciężar właściwy	.....
4.59. Ciężar właściwy	.....
4.60. Ciężar właściwy	.....
4.61. Ciężar właściwy	.....
4.62. Ciężar właściwy	.....
4.63. Ciężar właściwy	.....
4.64. Ciężar właściwy	.....
4.65. Ciężar właściwy	.....
4.66. Ciężar właściwy	.....
4.67. Ciężar właściwy	.....
4.68. Ciężar właściwy	.....
4.69. Ciężar właściwy	.....
4.70. Ciężar właściwy	.....
4.71. Ciężar właściwy	.....
4.72. Ciężar właściwy	.....
4.73. Ciężar właściwy	.....
4.74. Ciężar właściwy	.....
4.75. Ciężar właściwy	.....
4.76. Ciężar właściwy	.....
4.77. Ciężar właściwy	.....
4.78. Ciężar właściwy	.....
4.79. Ciężar właściwy	.....
4.80. Ciężar właściwy	.....
4.81. Ciężar właściwy	.....
4.82. Ciężar właściwy	.....
4.83. Ciężar właściwy	.....
4.84. Ciężar właściwy	.....
4.85. Ciężar właściwy	.....
4.86. Ciężar właściwy	.....
4.87. Ciężar właściwy	.....
4.88. Ciężar właściwy	.....
4.89. Ciężar właściwy	.....
4.90. Ciężar właściwy	.....
4.91. Ciężar właściwy	.....
4.92. Ciężar właściwy	.....
4.93. Ciężar właściwy	.....
4.94. Ciężar właściwy	.....
4.95. Ciężar właściwy	.....
4.96. Ciężar właściwy	.....
4.97. Ciężar właściwy	.....
4.98. Ciężar właściwy	.....
4.99. Ciężar właściwy	.....
4.100. Ciężar właściwy	.....

Grzegorz Nowak

**Wzrost i rozwój  
dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.)  
w zależności od sposobu przygotowania podłoża  
z dodatkiem popiołu żużli**

Recenzenci  
JACEK BOROWSKI  
JERZY HETMAN

Opracowanie redakcyjne  
Katarzyna Mitan



Zdjęcie na okładce  
Grzegorz Nowak

*Cl. 55432*

WYDANO ZA ZGODĄ  
REKTORA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIWERSYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE

ISBN 978-83-7663-129-5

Praca realizowana w ramach projektu badawczego 3P06S 017 25, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz przez Zespół Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie (nr umowy: 029/03/EAE, nr umowy: AR 23/2003)

WYDAWNICTWO UCZELNIANE ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIWERSYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE  
70-311 Szczecin, al. Piastów 50, tel. 91 449 47 60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl  
Druk: PPH „Zapoli” Dmochowski, Sobczyk, Sp.j., 71-062 Szczecin, al. Piastów 42, tel. 91 434 10 21  
e-mail: zarzad@zapol.com.pl

*D. 09/2012*

## Spis treści

Wstęp .....	5
1. Cel i zakres pracy .....	7
2. Przegląd literatury .....	9
2.1. Wprowadzenie .....	9
2.2. Składowiska odpadów .....	11
2.2.1. Rodzaje odpadów i składowisk oraz zasady składowania .....	11
2.2.2. Oddziaływanie składowisk odpadów na środowisko .....	12
2.2.3. Składowiska odpadów paleniskowych .....	12
2.2.4. Tereny zdegradowane i ich rekultywacja .....	13
2.3. Charakterystyka botaniczna .....	15
2.3.1. Charakterystyka botaniczna rodzaju dąb ( <i>Quercus</i> sp.) .....	15
2.3.2. Charakterystyka botaniczna dębu czerwonego ( <i>Quercus rubra</i> L.) .....	15
3. Materiał i metody .....	21
3.1. Układ doświadczenia .....	21
3.2. Pomiary biometryczne .....	22
3.3. Badania fizjologiczne .....	25
3.4. Badania zawartości makro- i mikroelementów w korzeniach i liściach .....	26
3.5. Mikoryzy .....	26
4. Charakterystyka warunków przyrodniczych terenu doświadczeń .....	29
4.1. Cechy charakterystyczne wykorzystanego podłoża .....	29
4.1.1. Wprowadzenie .....	29
4.1.2. Analizy chemiczne nadkładów i podkładów .....	30
4.2. Warunki pogodowe .....	31
5. Wyniki i ich omówienie .....	37
5.1. Przyrosty pędów .....	37
5.2. Zróżnicowanie morfologii liści .....	41
5.3. Parametry fizjologiczne .....	55
5.4. Zawartość makro- i mikroelementów w korzeniach i liściach .....	59
5.5. Mikoryzy .....	67
5.5.1. Morfotypy .....	67
5.5.2. Morfologia strzępek .....	68
6. Podsumowanie wyników i dyskusja .....	73
Wnioski .....	79
Piśmiennictwo .....	81
Summary .....	91
Zusammenfassung .....	93





## Wstęp

Degradacja środowiska jest jednym z podstawowych negatywnych skutków działalności górniczej, przemysłowej i urbanizacyjnej. Środowisko ulega degradacji, a warunki w nim panujące są coraz trudniejsze dla człowieka oraz innych organizmów ze względów zdrowotnych, estetycznych oraz ekonomicznych. Zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepłą wzrasta z każdym rokiem, a jej pozyskiwanie ze źródeł alternatywnych nie jest w stanie tego zrekompensować. Uzyskiwanie energii elektrycznej ze spalania węgla kamiennego i brunatnego powoduje powstawanie znacznych ilości odpadów, które są składowane w formie hałd. Należy liczyć się z tym, że masa popiołów lotnych i żużli będzie wzrastała. Wskazuje to na konieczność wykorzystania takich odpadów między innymi do niwelacji terenu, rekultywacji wyrobisk i odtwarzania gleb, a także w budownictwie. Trzeba też dążyć do przekształcenia składowisk w tereny leśne i rekreacyjne, na których będą rosły drzewa i krzewy ozdobne.

Odtworzenie w zdegradowanych glebach naturalnych procesów obiegu materii organicznej jest podstawowym celem rekultywacji, mogącym służyć jednocześnie jako parametr określający jej skuteczność i przebieg. Odpady paleniskowe pochodzące ze spalania węgla kamiennego powinny być pokrywane roślinnością, która chroniłaby nasypy przed erozyjnym działaniem wody i wiatru, a jednocześnie poprawiłaby estetykę krajobrazu. Opracowania teoretyczne wskazują na przydatność do tych celów roślin o małych wymaganiach glebowych, wytrzymałych na suszę. Rośliny wpływają ponadto na przebieg rekultywacji podłoża i na rozwój mikoryz, co może determinować wzrost i rozwój drzew.

Prowadzone dotąd badania wskazują na przydatność dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) do zadrzewień rekultywacyjnych. Gatunek ten preferuje stanowiska słoneczne, dobrze rośnie na glebach piaszczystych, umiarkowanie suchych. Charakteryzuje się dużą odpornością na mrozy oraz na letnie upały i warunki panujące w miastach. Jego istotnymi cechami są odporność na zanieczyszczenia powietrza i małe wymagania siedliskowe. Odporność dębu czerwonego na niekorzystne warunki środowiska oraz zanieczyszczenia sprawia, że jest on też coraz częściej sadzony przy ulicach, a atrakcyjny wygląd, zwłaszcza jesienią, gdy liście są barwy purpurowoczerwonej, przyczynia się do tego, że drzewo to jest sadzone w ogrodach oraz na zieleńcach.

Prace prowadzone w różnych ośrodkach dotyczyły głównie zagadnień związanych z wpływem popiołów na glebę i rośliny. Dotychczas brak jest jednak kompleksowych badań łączących ocenę gleboznawczą, chemiczną, mikrobiologiczną i fizjologiczną, a także pozwalających na rozwiązanie występujących problemów w sposób modelowy. Powoduje to konieczność dalszych, szczegółowych badań właściwości i zachowania popiołów oraz roślin drzewiastych w takim środowisku. Wiedza zdobyta w trakcie szczegółowego wykonywania doświadczenia nad wpływem popiołożużli oraz popiołożużli z domieszkami substancji organicznych (takich jak osady ściekowe, korowina, torf czy odpady zieleni miejskiej) na glebę, wodę i biosferę, prowadzonego z wykorzystaniem drzew, pozwoli na dobranie optymalnego wariantu zadrzewienia rekultywacyjnego. Nie prowadzono dotąd badań nad występowaniem grzybów mikoryzowych u drzew dębu czerwonego rosnącego na podłożach utworzonych z popiołożużli.

Są to więc prace pionierskie, jeżeli chodzi o kompleksowość ujęcia tego zagadnienia. Konieczne jest jednak kontynuowanie badań, aby uzyskać pełną charakterystykę gatunku.

Wymienione wyżej uwarunkowania, jak i ograniczona dostępność informacji w literaturze wpłynęły na decyzję o podjęciu badań nad wykorzystaniem różnych gatunków drzew i krzewów do rekultywacji odpadów paleniskowych Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. Jednym z gatunków rokujących powodzenie w uprawie w tak trudnych warunkach glebowych jest dąb czerwony (*Quercus rubra* L.).



# 1. Cel i zakres pracy

Celem pracy była ocena wzrostu dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnącego na różnych kombinacjach podłoży mineralno-organicznych z dodatkiem popiołożużli pochodzących ze spalania węgla kamiennego oraz określenie układu tych podłoży najbardziej przydatnego w rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych. W budowie układu doświadczalnego zastosowano różne warianty zmiany chemizmu popiołożużli przez użycie w wierzchniej warstwie poszczególnych surowców, w tym także odpadowych.

Aby uzyskać powyższe zamierzenia, wykonano następujące zadania:

- założenie doświadczenia dwuczynnikowego z różnymi kombinacjami podłoży,
- pomiary biometryczne pni i pędów,
- pomiary biometryczne liści,
- pomiary współczynnika zazielenienia liści,
- pomiary natężenia jednostkowego asymilacji dwutlenku węgla, aktywności fazy świetlnej fotosyntezy oraz żywotności,
- pomiary zawartości makro- i mikroelementów w korzeniach i liściach,
- określenie występowania mikoryz.

W efekcie przeprowadzonych doświadczeń i obserwacji zamierzano wykazać możliwość wykorzystania dębu czerwonego w rekultywacji terenów zdegradowanych odpadami paleniskowymi pochodzącymi ze spalania węgla kamiennego.



## 2. Przegląd literatury

### 2.1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie energii elektrycznej ze spalania węgla kamiennego pociąga za sobą powstawanie znacznych ilości odpadów, które są składowane w formie hałd. Łącznie na składowiskach Zespołu Elektrowni „Dolna Odra”, zajmujących prawie 300 ha, zgromadzono około 5,8 mln ton popiołożużli (PIOŚ 1997). Specyficzne, bardzo niekorzystne właściwości fizykochemiczne i biologiczne odpadów, niemające swego odpowiednika w przyrodzie (Rosik-Dulewska i Dulewski 1989; Niedźwiecki i Meller 1994; Stankowski i in. 2003), w znacznym stopniu kierunkują możliwość ich rekultywacji biologicznej. Stosowanie nadkładów z warstwy urodzajnej lub kompostów organicznych umożliwia wykorzystanie roślin o płytkim systemie korzeniowym, na przykład traw (Czyż i Kitczak 2003; Czyż i in. 2004). Silnie zasadowy odczyn, charakteryzujący odpady paleniskowe (Niedźwiecki i Meller 1994), ogranicza znacznie asortyment roślin przydatnych do ich rekultywacji. Opracowania teoretyczne wskazują na przydatność do tych celów roślin o małych wymaganiach glebowych, wytrzymałych na suszę (Kluczyński 1973; Bugala 2000; Seneta i Dolatowski 2008).

Popioły z węgla kamiennego są materiałem bezszkieletowym, drobnoziarnistym o dominacji w uziarnieniu frakcji pyłu (0,1–0,2 mm); ich strukturę stanowią składniki krystaliczne, substancje ilaste, szklivo oraz pozostałości niespalonego węgla. Chemizm popiołów determinuje wysoki odczyn (pH 9–13), spowodowany dużą zawartością tlenków wapnia i magnezu. Występują w nich także tlenki sodu, potasu, siarki i żelaza oraz fosfor i potas w ilości takiej, jak w mineralnych glebach uprawnych. Dominują jednak ich formy nieprzyswajalne lub trudno dostępne (Maciak i Hrynkiewicz 1990), aczkolwiek wprowadzenie popiołu (Ciećko i in. 1988; Nowak i Ciećko 1991; Murkowski i Stankowski 2002; Stankowski i in. 2003) powoduje, że zawartość niektórych pierwiastków przydatnych roślinom wzrasta lub jest na poziomie wystarczającym dla roślin (Prończuk 1994).

Właściwości fizyczne popiołów należy uznać za korzystne, gdyż w stanie czystym charakteryzują się dobrą zdolnością magazynowania wody oraz niską przepuszczalnością wodną. Ogranicza to możliwość wystąpienia odcieków, a jednocześnie może być wykorzystane przy zabiegach melioracyjnych poprawiających właściwości wodne gleb lekkich (Bogacz 1995; Siuta 1998).

Popioły są pozbawione substancji organicznych i azotu, co wskazuje na konieczność wykorzystania w rekultywacji materiałów organicznych bogatych w te składniki. Takimi surowcami mogą być osady ściekowe i komposty z nich wytworzone. O wartości kompostów z komunalnych osadów ściekowych decyduje przede wszystkim zawartość substancji organicznych, azotu, fosforu i pierwiastków śladowych (Baran i in. 1993; Krzywy i Wołoszyk 1996; Mazur 1996; Czekala 1999). Mogą one, oprócz korzystnych składników pokarmowych i mikroorganizmów, zawierać jednak metale ciężkie, drobnoustroje i pasożyty, w związku z czym poza analizami chemicznymi wskazana jest kontrola mikrobiologiczna.

Jak już wcześniej wspomniano, odpady paleniskowe charakteryzują się określonymi właściwościami fizykochemicznymi, alkalicznym pH oraz brakiem substancji organicznych. W takich warunkach rozwija się niewiele roślin, które skutecznie pokrywają składowisko odpadów, zabezpieczając je przed



pyleniem. Niewiele opracowań (Andruszczak i in. 1981; Kitczak i in. 1998, 1999; Siuta 1998; Góral i Rola 2001) dotyczących pokrycia roślinnością powierzchni składowanych odpadów paleniskowych jako metody rekultywacji charakteryzuje i poleca gatunki roślin, a szczególnie drzew i krzewów, przydatnych do tak specyficznych siedlisk oraz technologie ich zazieleniania.

Badania wykonane w latach 1996–1999 (Kitczak i in. 1999) wskazują, że korzystne warunki do rozwoju, po wcześniejszym wzbogaceniu podłoża w masę organiczną, znajdują następujące rośliny: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), kostrzewa trzcinowata (*Festuca arundinacea* Schreb.), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.), lucerna nerkowata (*Medicago lupulina* L.) i mannica odstająca [*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.]. Wyniki badań Kitczaka i in. (1998, 1999) oraz Czyża i in. (2003), prowadzone po 5 latach od zagospodarowania hałd, wskazują, że w trakcie tego procesu poza roślinami wprowadzonymi w mieszankach wiele gatunków weszło tam samoistnie. Ruń tego zbiorowiska, oprócz gatunków wykorzystanych do produkcji darniny, zawierała dodatkowo 33 gatunki roślin, w tym 13 gatunków traw i 7 gatunków roślin motylkowych. Wyniki badań Bogacza i in. (1997) wskazują, że po 15 latach na składowisku popiołów najlepiej przetrwały trzcinnik (*Calamagrostis* sp.), wiechlina (*Poa* sp.) i kostrzewa (*Festuca* sp.). Drzewa i krzewy charakteryzują się zróżnicowaną przydatnością do wykorzystania ich na terenach, na których występują odpady paleniskowe (Wolny i in. 1997; Bieszczad i Sobota 1999; Gilewska 2000).

Badania na modelu rekultywacji odpadów paleniskowych są prowadzone przez pracowników Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (wcześniej Akademii Rolniczej w Szczecinie) od 2004 roku. Wykorzystano do nich między innymi cztery gatunki traw, które były wysiewane w mieszankach o zróżnicowanym udziale procentowym. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że wykorzystane dodatki organiczne (torf niski, korowina drzew iglastych, kompost i prefermentowany komunalny osad ściekowy) stanowiły dobry materiał do przygotowania podłoża. Najlepsze wyniki osiągnięto na stanowisku przygotowanym z torfu niskiego i popiołu w stosunku 1:1. Jedną z możliwości zagospodarowania rekultywowanych terenów, szczególnie podczas początkowego etapu, jest uprawa roślin przeznaczonych do produkcji biomasy lub biopaliw, czyli tworzenie tzw. plantacji energetycznych. Rośliny te, poza wytwarzaniem dużych ilości masy zielonej, mogą inicjować procesy glebotwórcze lub pełnić funkcje fitoremediacyjne. Największą liczbę roślin stwierdzono w przypadku wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.), nieco mniejszą – ślazuwca pensylwańskiego [*Sida hermafrodita* (L.) Rusty], a zdecydowanie najniższą dla miskanta cukrowego [*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.]. Skuteczność introdukcji i przyrost biomasy badanych gatunków, z wyjątkiem miskanta cukrowego, były bardzo wysokie i pozwoliły na pozytywną ocenę ich możliwości uprawowych w tak specyficznym środowisku.

Prowadzono także badania nad wykorzystaniem róży pomarszczonej (*Rosa rugosa* Thunb.), perukowca podolskiego (*Cotinus coggygia* Scop.), świerka serbskiego [*Picea omorika* (Pančić) Purk.], jodły jednobarwnej [*Abies concolor* (Gordon et Glend.) Lindl. ex Hildebr.], gledicji trójciemiowej (*Gleditsia triacanthos* L.) oraz rokitnika pospolitego (*Hippophaë rhamnoides* L.) do rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych (Zieliński i Nowak 2004a, 2004b; Nowak i in. 2005; Maciorowski i in. 2007; Nowak 2007; Kubus i in. 2008; Nowak i in. 2008a, b; Nowak i Zieliński 2008; Nowak i in. 2009). Wstępne obserwacje sugerują przydatność tych gatunków, jeżeli podłoża zostaną wzbogacone w substancje organiczne. Są to wyniki zbieżne z uzyskanymi w doświadczeniach prowadzonych na składowiskach popiołu Zespołu Elektrowni Pątnów–Adamów–Konin SA (ZE PAK SA), z wykorzystaniem innych gatunków roślin drzewiastych (Gilewska 2000; Gilewska 2003; Maciorowski i in. 2006).



## 2.2. Składowiska odpadów

### 2.2.1. Rodzaje odpadów i składowisk oraz zasady składowania

Odpady towarzyszą prawie każdej działalności człowieka. Wraz ze zwiększającym się z roku na rok poziomem produkcji oraz konsumpcji ilość odpadów wzrasta. Ze względu na pochodzenie odpady dzielimy na dwie podstawowe grupy:

- komunalne,
- przemysłowe.

Zgodnie z Ustawą z dnia 27 czerwca 1997 roku o odpadach (DzU z 1997 roku, nr 96, poz. 592) „Przez odpady komunalne rozumie się stałe i ciekłe odpady powstające w gospodarstwach domowych, obiektach użyteczności publicznej i obsługi ludności, w tym nieczystości gromadzone w zbiornikach bezodpływowych, porzucone wraki pojazdów mechanicznych oraz odpady uliczne, z wyjątkiem odpadów niebezpiecznych z zakładów opieki zdrowotnej i weterynaryjnych”.

Według tej Ustawy „Odpady przemysłowe są to wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, a także nie będące ściekami substancje ciekłe powstałe w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu lub czasie, w którym powstały; za odpady uważa się również osady ściekowe” (DzU z 1997 roku, nr 96, poz. 592).

Składowiska odpadów przemysłowych dzieli się na trzy grupy: nadpoziomowe, podpoziomowe i podziemne. Składowiska powstałe na obszarze wydzielonym przez wybudowanie zapór noszą nazwę składowisk nadpoziomowych (fot. 1). Mogą one być dolinowe, zboczowe, zboczowo-dolinowe oraz równinne. Różnią się kształtem, długością oraz terenem, na którym są budowane. W odkrywkach po wydobytych złożach kopalin, na przykład żwiru, węgla, rudy, a także niekiedy w kotlinach znajdują się składowiska podpoziomowe. Odpady składowane podziemnie są gromadzone w podziemnych pustkach.



Fot. 1. Nadpoziomowe składowisko popiołożużli przy elektrowni Dolna Odra S.A. w Nowym Czarnowie (fot. G. Nowak)

Cytowana Ustawa (DzU z 1997 roku, nr 96, poz. 592) określa zasady, według których należy dokonywać składowania odpadów:

– miejsce pod składowisko winno być wyznaczane zgodnie z przepisami o zagospodarowaniu przestrzennym;

– na budowę składowiska potrzebne jest pozwolenie, ponieważ jest to obiekt budowlany; w pozwoleniu tym określone są normy, które należy spełnić;

– organ nadzoru budowlanego może nie wydać pozwolenia na budowę składowiska odpadów, jeśli odpady można wykorzystać lub unieszkodliwić;

– wydanie pozwolenia przez organ nadzoru budowlanego może być uzależnione od nakreślenia przez inwestora w ekspertyzie możliwości wykorzystania odpadów oraz podania innego niż składowanie sposobu ich unieszkodliwienia;

– danego miejsca nie uważa się za składowisko odpadów, jeżeli są spełnione łącznie trzy warunki: odpady są przeznaczone do wykorzystania; pochodzą z procesów technologicznych lub organizacyjnych, a ich składowanie nie przekracza terminów uzasadnionych zastosowaniem tych procesów; składowanie odbywa się na terenie, do którego osoba wytwarzająca odpady ma tytuł prawny (Bieszczad i Sobota 1999).

### 2.2.2. Oddziaływanie składowisk odpadów na środowisko

W okresie, w którym składowisko jest eksploatowane, może oddziaływać na wszystkie komponenty środowiska: powietrze, gleby, wody, rośliny, zwierzęta, a więc na całe ekosystemy i zdrowie ludzi. W zależności od rodzaju substancji gromadzonych w składowisku – ich zdolności do przemieszczania, biodyspozycyjności i toksyczności – różny jest rodzaj oraz zasięg istniejącego i prognozowanego oddziaływania składowiska na otoczenie. Monitoring środowiska oraz modele matematyczne służą do prognozowania wpływu deponowanych odpadów na środowisko.

Niebezpieczne może być przedostanie się zanieczyszczeń ze składowiska do wód powierzchniowych, a także do wód gruntowych, które jako woda pitna mogą bezpośrednio trafić do łańcucha pokarmowego. Natomiast gleby znajdujące się w otoczeniu składowiska są zagrożone przez wydostający się gaz oraz rozprzestrzenianie pyłów. Prowadzi to do pobierania przez korzenie roślin szkodliwych substancji, które w ten sposób mogą się przedostać do różnych ogniw łańcucha pokarmowego.

Aby zmniejszyć niekorzystne oddziaływanie składowiska, należy dobrze je lokalizować, zabezpieczać oraz prawidłowo eksploatować. Lokalizacja powinna znajdować się poza obszarem zasilania ujęć wody, powyżej maksymalnego poziomu wód podziemnych. Podłoże należy uszczelnić gliną, łem, folią, geomembraną itp., natomiast powyżej warstwy izolacyjnej zastosować drenaże poziome i pionowe, które odprowadzą zanieczyszczone wody do oczyszczalni (Bieszczad i Sobota 1999).

### 2.2.3. Składowiska odpadów paleniskowych

W elektrowniach ciepłych w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego powstają popioły elektrowniane oraz żużel. To właśnie ich składowiska są przyczyną występowania nieużytków przy



zakładach energetycznych. Intensywne badania związane z właściwym zagospodarowaniem składowisk odpadów paleniskowych są prowadzone w Polsce oraz w innych krajach uzyskujących energię elektryczną przede wszystkim ze spalania węgla (Nowosielski i in. 1991).

Dużym problemem związanym ze składowaniem odpadów jest ochrona środowiska przyrodniczego. Wiąże się to z zabezpieczeniem terenów przed pyleniem popiołów, zanieczyszczeniem wód, gleb i przedostawaniem się szkodliwych substancji do roślin oraz dążeniem do poprawy warunków higienicznych i estetycznych środowiska. W Polsce w 2003 roku powierzchnia składowisk odpadów paleniskowych wynosiła ponad 3000 ha, a w kolejnych latach wykazywała tendencję wzrostową (Maciak 2003).

Wśród głównych zabiegów rekultywacyjnych prowadzonych na składowiskach odpadów paleniskowych należy wymienić:

- wykonanie zabiegów technicznych i agrotechnicznych oraz bezpośredni obsiew mieszaną roślin trawiastych i motylkowych;
- ułożenie na powierzchni składowiska dywanów torfowo-trawiastych lub darni oraz ich pielęgnację;
- równomierne pokrycie powierzchni składowiska warstwą gleby mineralnej o grubości 0,1–0,5 m, a następnie – po wykonaniu zabiegów agrotechnicznych – wprowadzenie odpowiedniej roślinności (Maciak 2003).

#### 2.2.4. Tereny zdegradowane i ich rekultywacja

Zabiegi niezbędne do wykonania rekultywacji to: ukształtowanie rzeźby terenu, regulacja stosunków wodnych, odtworzenie gleb metodami technicznymi i biologicznymi, polepszenie fizycznych oraz chemicznych właściwości gruntów, umocnienie skarp, a także budowa dróg (Krzaklewski 1990). Zobowiązane do ich wykonania są osoby prawne lub fizyczne, których działalność przyczyniła się do utraty wartości użytkowych gruntów. Osoby te ponoszą też koszty wykonania rekultywacji (Guziel 1988, Strzałko i Mossor-Pietraszewska 1999).

Materia nieorganiczna, stanowiąca 5–30% węgla, w wyniku jego spalania częściowo topi się, a częściowo przeobraża strukturalnie. W efekcie uzyskuje się popioły (85–90%) oraz żużle (10–15%) – Grochowicz i Korytkowski (1998). Popioły lotne są pozostałością po spalaniu węgla w kotłach energetycznych, wychwyconą przez urządzenia odpyłające z dynamicznego ciągu spalin. Natomiast pozostałości po spalaniu węgla w kotłach energetycznych z paleniskiem rusztowym odkładające się samoistnie w urządzeniach i przewodach spalin to popioły – pyły dymnicowe. Pozostałości po spalaniu węgla w kotłach energetycznych opadające na dno paleniska lub pozostające na jego ruszcie i odprowadzane na zewnątrz to żużle (Rosik-Dulewska 2007).

Opady paleniskowe są wykorzystywane w przemyśle cementowym, budownictwie (niwelacja terenów, produkcja kruszyw budowlanych), w drogownictwie, górnictwie (podsadzki górnicze) oraz w rolnictwie (Glapińska i in. 1990; Kruger 2003; Naik i Chun 2003; Sakai i Hara 2003). Napotyka się jednak znaczne trudności wynikające z braku właściwej technologii przeróbki tych materiałów, metod użytkowania oraz ze złej, czasem szkodliwej jakości produktu wyjściowego. Zużycie odpadów palenisko-



wych do tych celów wynosi zaledwie 30% i dotyczy głównie odpadów z węgla kamiennego, gdyż zużycie popiołów z węgla brunatnego jest minimalne (Bieszczad i Sobota 1999; Naik i Chun 2003).

Sposoby użytkowania terenów zdewastowanych to: zagospodarowanie leśne, rolnicze oraz rekreacyjne (Bieszczad i Sobota 1999).

Według Draba (2002) „rekultywacja jest zespołem czynności inżynierskich i agrotechnicznych oraz procesów biogeochemicznych, kształtujących nową i jednocześnie pożądaną strukturę biocenotyczną industroziemnej gleby. Jest to zorganizowane współdziałanie czynników abiotycznych i biotycznych umożliwiających w możliwie krótkim czasie i przy zaangażowaniu możliwie najmniejszych środków, wytworzenie z gruntu – skały produktywnej gleby” (s. 7). Gleby wymagające rekultywacji to takie, na których produkcja roślinna, czyli ilość plonu roślin uprawnych oraz ich jakość spada pod wpływem zmieniających się czynników naturalnych czy niekorzystnej działalności człowieka (Rzęsa i in. 1999).

Przystępując do rekultywacji biologicznej, należy pamiętać o wyborze do wysiewu nasion o dobrej jakości, które zagwarantują szybki rozwój oraz dużą odporność roślin na niesprzyjające warunki podłoża. W wyniku prowadzenia wieloletnich doświadczeń z trawami Bieszczad i Sobota (1999) proponują między innymi: kostrzewę czerwoną (*Festuca rubra* L.), kępówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.), wiechlinę łąkową (*Poa pratensis* L.) i rajgras wyniosły [*Arrhenatherum elatius* (L.) P Beauv. ex J. & C. Presl], z roślin motylkowych – nostrzyk żółty [*Melilotus officinalis* (L.) Pallas], łubin biały (*Lupinus albus* L.), koniczynę czerwoną (*Trifolium pratense* L.) i lucernę siewną (*Medicago sativa* L.), a z roślin krzyżowych – gorczycę białą (*Sinapis alba* L.) i rzepak (*Brassica napus* L.).

W rekultywacji rolniczej ważne są zabiegi przygotowujące – wzbogacenie masy popiołowej substancją organiczną lub wstępny wysiew traw, które przyspieszają procesy glebotwórcze. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, iż rośliny z grupy okopowych i motylkowych, które były uprawiane na składowiskach popiołów, prawie wcale nie nadają się do skarmiania. Odpowiedniejsze są więc rośliny z grupy przemysłowych oraz rośliny energetyczne (Rosik-Dulewska 2007).

Rekultywację leśną zaczyna się także od zabiegów agrotechnicznych. Najważniejsze jest przy tym zabezpieczenie powierzchni przed erozją. Bardzo ważny jest odpowiedni dobór gatunków drzew i krzewów, które muszą być odporne na czynniki szkodliwe. Wyniki badań nad rekultywacją leśną wykazały, iż w przypadku żużli paleniskowych i popiołów najlepiej do tego celu nadają się między innymi: dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), klon pospolity (*Acer platanoides* L.), robinia akacja (*Robinia pseudoacacia* L.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), ligustr pospolity (*Ligustrum vulgare* L.) i róża pomarszczona (*Rosa rugosa* Thunb.) – Bieszczad i Sobota (1999).

W 1993 roku w Katedrze Rekultywacji Uniwersytetu Przyrodniczego im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu (wcześniej Akademii Rolniczej) rozpoczęto badania nad rekultywacją składowiska suchego odpopielania Elektrowni „Adamów” w Turku. Pierwszym zabiegiem, jaki wykonano na analizowanym terenie, była naprawa wadliwego chemizmu odpadów oraz przygotowanie substratu glebowego w skałe popiołowej. Następnie przystąpiono do doboru gatunków drzew i krzewów. Aby zadrzewić skarpy, wykorzystano karaganę syberyjską (*Caragana arborescens* Lam.), oliwnik wąskolistny (*Elaeagnus angustifolia* L.) i tamaryszek czteropęcikowy (*Tamarix tetrandra* Pall. ex M. Bieb.), na wierzchowinę zaś wprowadzono jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), jesion pensylwański (*F. pennsylvanica* Marshall) i klon jesionolistny (*Acer negundo* L.). Konsekwencją tych zabiegów było szybkie zadrzewienie i zadarnianie rekultywowanych składowisk oraz zasiedlenie ich przez ptaki i inne zwierzęta (Gilewska 2000).



## 2.3. Charakterystyka botaniczna

### 2.3.1. Charakterystyka botaniczna rodzaju dąb (*Quercus* sp.)

Jak podają Coombes (1996), Bugała (2000), Russell i in. (2008) oraz Seneta i Dolatowski (2008), do rodzaju dąb (*Quercus* sp.) należy wiele gatunków różniących się od siebie pokrojem, wyglądem liści, owoców i korowiny. Rosną one przede wszystkim w Europie, południowo-wschodniej Azji oraz Ameryce Północnej i Środkowej. Według wymienionych autorów do rodzaju dąb należy około 600 gatunków, jednak Komarnickij i in. (1962) podają, iż rodzaj ten obejmuje 400 gatunków, a Tomanek (1970), że zaledwie 300. Na terenie naszego kraju na stanowiskach naturalnych występują trzy gatunki dębu i ich mieszańce oraz uprawia się kilkanaście gatunków obcych.

Rodzaj dąb jest podzielony na trzy podrodzaje, a te następnie na sekcje (Tomanek 1970). Podrodzaj *Quercus* obejmuje gatunki, których liście opadają na zimę, a żołędzie dojrzewają w roku kwitnienia. Do tego podrodzaju należą między innymi: dąb bezszypułkowy [*Q. petraea* (Matt.) Liebl.], dąb biały (*Quercus alba* L.), dąb kaukaski (*Q. macranthera* Fisch. et C.A.Mey. ex Hohen.), dąb omszony (*Q. pubescens* Willd.), dąb szypułkowy (*Q. robur* L.), dąb węgierski (*Q. frainetto* Ten.) i dąb wielkoowocowy (*Quercus macrocarpa* Michx.). Podrodzaj *Cerris* skupia gatunki, których liście opadają na zimę, żołędzie zaś dojrzewają zwykle w drugim roku; jego reprezentantem spotykanym w uprawie jest dąb burgundzki (*Q. cerris* L.). Do podrodzaju *Erythrobalanus* należą gatunki, których liście są zimozielone lub opadają na zimę. Są one ościsto klapowane lub całobrzegie, żołędzie dojrzewają w drugim roku. Należą tu na przykład dąb błotny (*Q. palustris* Muenchh.), dąb czerwony (*Q. rubra* L.) i dąb szkarłatny (*Q. coccinea* Muenchh.) – Boratyński (1990), Bugała (2000).

Tomanek (1970), Bugała (2000) oraz Seneta i Dolatowski (2008) podają, że w skład rodzaju dąb (*Quercus* sp.) wchodzi głównie drzewa, rzadziej są to krzewy, natomiast Piątkowska i Zaleska (1972) twierdzą, iż ten rodzaj obejmuje tylko drzewa. Są one dużych rozmiarów, masywnie zbudowane, długowieczne. Liście dębów, zimotrwałe lub opadające, są pojedyncze i mają różny kształt (ząbkowane, piłkowane, pierzastosieczne, pierzastowrębne, rzadko całobrzegie) – Tomanek (1970). Wcięcia we wrębnych liściach są zaokrąglone (K. Rostański i K.M. Rostański 1999). Na końcach pędów znajdują się pąki, skupione po kilka i pokryte dachówkowato łuskami.

Dęby to drzewa rozdzielnopłciowe, jednopienne; ich kwiaty są niepozorne, wiatropylne. Męskie kwiaty są zielonkawe, zebrane w wąskie, zwisające kotki, żeńskie zaś są pojedyncze lub ułożone po kilka w kłosach (Tomanek 1970). Owoce to orzechy – żołędzie, osadzone pojedynczo w miseczkach pokrytych drobnymi łuskami. Dojrzewanie następuje w pierwszym lub drugim roku (Seneta i Dolatowski 2008). Kielkowanie nasion odbywa się podziemnie (Tomanek 1970).

### 2.3.2. Charakterystyka botaniczna dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.)

#### Pochodzenie

Ojczyzną dębu czerwonego jest wschodnia część Ameryki Północnej, charakteryzująca się klimatem sprzyjającym rozwojowi roślinności. Opady wynoszą tu 700–1300 mm w ciągu roku i występują głównie latem, średnia temperatura lipca waha się w granicach 18–27°C, a stycznia – 0–10°C. Gleby są szarobrunatne, zwykle zbielicowane, o różnej, ale niezbyt wysokiej zawartości próchnicy (Sander



1990; Podbielkowski 2002). Naturalny zasięg dębu czerwonego rozciąga się od Nowej Szkocji (obszaru Wielkich Jezior) aż po południowy Teksas (Krüssmann 1962; Godfrey 1988; Sander 1990; Kremer 1996). Bardziej szczegółowo zasięg dębu czerwonego omawiają Suszka i in. (2000). Za naturalny rejon występowania uważają oni, podobnie jak Little (1979), Godfrey (1988), W.H. Duncan i M.B. Duncan (1988), Spear (1989), Kremer (1996) oraz Russell i in. (2008), wschodnią część Ameryki Północnej, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów na wschód od rzeki Missisipi, z wyjątkiem Florydy, południowych rejonów stanów Alabama i Georgia, a także wschodnich obszarów Karoliny Północnej i Południowej. Na terenach północnych jest spotykany w południowej części prowincji Ontario i Quebec oraz w Nowym Brunszwiku, w Nowej Szkocji i na wyspie Cap Breton. W zachodnim rejonie występuje w stanie Minnesota, w stanie Iowa, z wyjątkiem jego północno-zachodniej części, na wschodnich obszarach stanów Nebraska, Kansas i Oklahoma oraz na zachodnich zboczach gór Allegheny i w dolinie rzeki Ohio, gdzie dorasta do 50 m wysokości, a średnica pnia osiąga do 150 cm.

Jak podają Smith i Golitz (1988), Millers i in. (1989), Sander (1990), Brand i Walkowiak (1991), Hahn (1991), Leatherberry i in. (1992), Roussopoulos (1992) oraz Podbielkowski (2002), omawiany gatunek rośnie w mieszanych, bogatych florystycznie lasach dębowo-tulipanowcowych, w skład których wchodzi między innymi tulipanowiec amerykański (*Liriodendron tulipifera* L.), kasztan amerykański (*Castanea dentata* Borkh.), lipa różnolistna (*Tilia heterophylla* Vent.), klon cukrowy (*Acer saccharum* Marshall), buk amerykański (*Fagus grandifolia* Ehrh.), dąb biały (*Q. alba* L.), dąb czerwony (*Q. rubra* L.), dąb szkarłatny (*Q. coccinea* Muenchh.), magnolia drzewiasta [*Magnolia acuminata* (L.)L.], magnolia górská (*M. fraseri* Walter), grab amerykański (*Carpinus caroliniana* Walter), orzesznik pięciolistkowy [*Carya ovata* (Mill.) K. Koch.], orzesznik gorzki (*C. tomentosa* Sarg.), jesion amerykański (*Fraxinus americana* L.) i orzech szary (*Juglans cinerea* L.).

Introdukcja dębu czerwonego do Europy nastąpiła pod koniec XVII wieku. W Szwajcarii pojawił się w 1691 roku, w Wielkiej Brytanii w 1724 roku, w Polsce zaś, w Krakowskim Ogrodzie Botanicznym, w 1806 roku (Benčat 1982, Hereźniak 1992, Russell i in. 2008). Jest rozpowszechniony głównie dzięki uprawom leśnym, rośnie też często w parkach i przy ulicach (Kremer 1996). Na Pomorzu Zachodnim występuje na terenie wiejskich i miejskich założeń ogrodowych, w tym na placach, wzdłuż ulic i w parkach, na cmentarzach i przy kościołach znajdujących się między innymi w pobliżu Elektrowni „Dolna Odra” (Kownas i Sienicka 1962; Sienicka i Kownas 1963; Stachak i Maślak 1986/87, 1989; Stachak i Grinn 1992; Stachak 1993; Stachak i in. 1996a, 1998, 1999, 2000, 2003; Stachak i Nowak 1998; Kubus i in. 2003; Nowak i Nowakowska 2012).

### Morfologia

Według Krüssmanna (1962), Sandra (1990), Pirca (2006) oraz Russella i in. (2008) dąb czerwony jest drzewem dorastającym do wysokości 20–25 m, o rozłożystej koronie szerokości około 12–18 m. T.M. Brodovič i M.M. Brodovič (1979) podają, że drzewa te mogą osiągać ogromne wymiary, dorastając nawet do 50 m wysokości. Heinz-Werner i Schwegler (1992) z kolei piszą, że maksymalna wysokość tych drzew to zaledwie 10–25 m wysokości.

Korowina na pniu jest cienka, barwy szarej i przez długie lata pozostaje gładka (Tomanek 1970; Russell i in. 2008; Johnson i More 2009). Jak zauważa Szymanowski (1974), korowina jest charakterystycznie srebrzystoplamista i ma metaliczny połysk (fot. 2). Godfrey (1988) dodaje, że z czasem staje się ciemnoszara, pokryta licznymi, ale niezbyt głębokimi bruzdami. Dąb czerwony charakteryzuje się



wzrostem monopodialnym. Pąki, ułożone skrętolegle, są stożkowate, pojedyncze lub obokległe, płytko osadzone i odchylone pod szerokim kątem od osi pędu. Łuski mają barwę cynamonową i są ciemnobrązowo obrzeżone. Ślady po wiązkach tykdrzewnych są rozmieszczone w trzech grupach – w środkowej kuliście po sześć–siedem i w dwóch bocznych po trzy. Pęd jest lekko zbieżysty, prosty, charakterystycznie kanciasty, gładki, o nierównych międzywęźlach. Rdzeń jest nieregularny, zielonkawy, a drewno jasnozielone (Szymanowski 1974).



Fot. 2. Pień i liście dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) – fot. G. Nowak

Liście dębu czerwonego, ułożone na pędzie skrętolegle, są głęboko wcinane, z ostro zakończonymi 4–6 parami kłap i ogonkiem długości 5 cm (Mitchell 1998). Długość liści waha się w granicach 12–22 cm, a szerokość 7–11 cm. Liście z wierzchniej strony są nagie, natomiast od spodu z kępkami brązowych włosków w kątach nerwów (Šepoŕev 1949; Krüssmann 1962; Russell i in. 2008; Johnson i More 2009). Z wierzchu są ciemnozielone, a od spodu jasnozielone; z nastaniem jesieni stają się barwy od pomarańczowoczerwonej do szkarłatnoczerwonej (Pirc 2006; Russell i in. 2008; Johnson i More 2009) – fot. 2.

Dąb czerwony jest rozdzielнопłciowy, jednopienny. Kwitnie w kwietniu lub maju przed rozwojem liści lub jednocześnie z ich rozwijaniem się. Zielonożółte kwiaty męskie, zebrane w kotki, pojawiają się w pachwinach ubiegłorocznych liści, a kwiaty żeńskie, pojedyncze lub tworzące większe skupiska, występują w pachwinach liści (Suszka i in. 2000; Russell i in. 2008).

Owocami są orzechy – żołędzie kształtu szerokojajowatego, osadzone w talerzykowatej, płytkiej miseczce (Mowszowicz 1979; Godfrey 1988; Russell i in. 2008) pokrytej owalnymi, drobnymi, zastrzonymi i owłosionymi łuskami barwy czerwonawobrązowej. Długość żołędzi mieści się w granicach 12–31 mm, średnica zaś wynosi 12–16 mm. Ich rozwój trwa dwa lata, a pełną dojrzałość osiągają

jesienią drugiego roku. Wtedy służą jako materiał rozmnożeniowy (Šepořev 1949; Suszka i in. 2000; Johnson i More 2009). Dąb czerwony zaczyna owocować w wieku około 25 lat, a dużą ilość owoców zawiązuje co 2–5 lat (Sander 1990).

#### *Wymagania siedliskowe*

Dąb czerwony preferuje stanowiska słoneczne. Dobrze rośnie na glebach piaszczystych, umiarkowanie suchych, lecz najlepiej na przepuszczalnych gliniastych (od świeżych do wilgotnych) i o małej zawartości wapnia (Godfrey 1988; Archambault i in. 1990; Chapman i Bessette 1990; Sander 1990; Pirc 2006; Seneta i Dolatowski 2008). Jak podaje Tochowicz (1951), drzewa te lepiej rosną na stanowiskach gorszych i suchszych niż krajowe gatunki dębów, znosząc także ocienienie sosen. Wpływają też korzystnie na żyzność gleby, ponieważ dają duży opad liści. Stąd też drzewa tego gatunku były stosowane jako domieszkowe w lasach sosnowych.

Dąb czerwony charakteryzuje się dużą odpornością na mrozy oraz na letnie upały i warunki panujące w miastach (Benčat 1982; Sander 1990; Borowski i Latocha 2006; Pirc 2006); dobrze rośnie nawet w regionach klimatycznych Polski, w których minimalna temperatura może obniżyć się do  $-26^{\circ}\text{C}$ . Istotną cechą tego gatunku jest odporność na zanieczyszczenia powietrza i małe wymagania siedliskowe. Może być uprawiany na suchych i uboższych glebach, nawet lekkich i piaszczystych, nieco gorzej rośnie na madach, czarnych ziemiach i na glebach murszowych.

Kelty (1989) oraz Sander (1990) dodają, że omawiany gatunek wytwarza głęboki system korzeniowy i dlatego nie nadaje się na gleby o wysokim poziomie wód gruntowych. Cechuje się szybkim wzrostem oraz sporą odpornością na choroby (Bugala 2000).

#### *Zastosowanie*

Dąb czerwony jest często sadzony w parkach, także pojedynczo w przestrzeni otwartej, gdzie tworzy dużą, rozłożystą koronę (Tomanek 1970).

Pirc (2006) oraz Godet (2008) podają, że chociaż drewno dębu czerwonego jest miękkie, w Ameryce jest wykorzystywane nie tylko na podłogi, meble, okleiny, słupki ogrodzeniowe, ale także na podkłady kolejowe, na potrzeby górnictwa oraz na opał. Drewno to jest łatwe w obróbce i bardziej elastyczne od drewna naszych krajowych dębów.

Odporność dębu czerwonego na niekorzystne warunki środowiska oraz zanieczyszczenia sprawia, że jest on coraz częściej sadzony przy ulicach. Atrakcyjny wygląd, zwłaszcza jesienią, gdy liście są barwy purpurowoczerwonej, przyczynia się do tego, że drzewo to jest sadzone w ogrodach oraz na zieleńcach (Meyer 1978; Benčat 1982; Seneta i Dolatowski 2008). Dąb czerwony był wprowadzany do lasów w celu uzupełnień luk, jako domieszka do lasów sosnowych. Sadzono go też na ubogich siedliskach (Tomanek 1970).

Z przyrodniczego punktu widzenia wprowadzenie dębu czerwonego do naszych lasów jest szkodliwe, ponieważ z powodu szybkiego rozprzestrzeniania staje się on konkurencją dla drzew rodzimych. Runo leśne w miejscu występowania dębu czerwonego jest zazwyczaj ubogie, do czego przyczyniają się grube i trudno rozkładające się liście. Ich długie zaleganie w ściółce uniemożliwia wzrost innym roślinom (Król 1967).



### Mikroorganizmy korzeniowe

Korzenie wielu gatunków drzew współżyją z bakteriami, grzybami oraz innymi drobnoustrojami, które żyją w glebie. Najczęściej spotykanym zjawiskiem – u około 90% drzew – jest mikoryza, czyli symbiotyczny związek korzeni drzew z grzybami. Strzępki grzyba, wnikałce do wnętrza korzenia mniej lub bardziej głęboko, pełnią funkcję zanikających wówczas włośników korzeniowych. Drzewo w takim związku dostarcza grzybom węglowodanów, substancji wzrostowych i witamin, grzyb zaś dostarcza wody oraz soli mineralnych – głównie związków azotu i fosforu. Korzenie drzew w przypadku silnego mikotrofizmu są obficie owinięte gęstym „kożuchem” grzybni, dzięki czemu stają się krótkie i grube. Funkcje włośników korzeniowych przejmują „kożuch”, którego poszczególne strzępki wrastają do gleby, łącząc się z rozwijającą się w niej resztą grzybni. Strzępki grzybni wnikałce do miększu korowego korzenia, wrastając w przestwory międzykomórkowe (Grzywacz 2007). Ponadto Kowalski (2007) dodaje, że drzewa, które rosną w środowisku pozbawionym partnerów grzybowych, przejawiają zakłócenia fizjologiczne, chorują i w konsekwencji giną.

Dąb czerwony, chociaż jest gatunkiem u nas aklimatyzowanym, dostosowuje się stosunkowo łatwo do nowego środowiska, ponieważ w bardzo krótkim czasie jest w stanie wejść w symbiozę z nowymi gatunkami grzybów (Tomanek 1970).

### Ważniejsze szkodniki i choroby

Dąb czerwony to drzewo średnio podatne na choroby i na oddziaływanie szkodników. Entomofauna dębu czerwonego jest uboga, co może mieć związek z tym, że jest on u nas gatunkiem obcym. Także zdrowotność żółdki tego drzewa jest w Polsce zawsze dobra, lepsza niż dębów rodzimych (Suszka i in. 2000).

Zmiany chorobowe oraz miejsca żerowania zauważone w porę można opanować, stosując odpowiednie środki ochrony, a także zabiegi.

Najczęściej spotykane choroby dębu czerwonego to:

- zamieranie drzew spowodowane przez grzyby z rodzaju *Ceratocystis* ssp.,
- mączniak dębów (*Microsphaera alphitoides* Giffon et Blaub),
- opieńkowa zgnilizna korzeni wywoływana przez patogeny z rodzaju *Armillaria*,
- rak drzew spowodowany przez grzyby z rodzaju *Nectria*.

Zainfekowane pędy należy wyciąć, a następnie miejsca po chorej tkance powinno się posmarować białą farbą emulsyjną z fungicydem benzimidazolowym lub Funabenem 03 PA. Jeśli na liściach występuje biały, mączysty nalot, należy zastosować opryski siarką, preparatami zawierającymi fenarimol, lecytynę, mychlobutanil, sok z czosnku, wyciąg z grejpfruta lub triforynę (Suszka i in. 2000).

Wśród szkodników występują między innymi:

- miseczniki (*Parthenolecanium* sp.);
- motyle, między innymi zwójka dębowa (*Archips xylosteana* Hbn.), piędzik przedzimek (*Operophtera brumata* L.), brudnica mniszka (*Limantria monacha* L.), kuprówka rudnica (*Euproctis chrysoorrhoea* L.);
- mszyce, na przykład miodownica dębówka (*Lachnus roboris* L.);
- chrząszcze uszkadzające liście, między innymi chrabąszcz majowy (*Melolontha melolontha* L.), ogrodnica niszczylistka (*Phyllopertha horticola* L.) i opiętki (*Agrillus* sp.) – Stocki i in. (2008).

Części drzewa zaatakowane w dużym stopniu przez szkodniki ścina się i pali. W celu zmniejszenia ilości szkodników stosuje się opaski lepowe na pniach oraz pułapki feromonowe. Można także opryskiwać drzewa różnymi preparatami, na przykład takimi jak: Promanal 012 AL, Owadofos 540 EC, Basudin 25 EC, Decis 2,5 EC, Basudin 25 EC, Biobit 3,2 WP i Fastach 100 EC (Meudec i in. 2005; Zarzyński, [www.laspolski.net.pl](http://www.laspolski.net.pl), dostęp 7.10.2007).



### 3. Materiał i metody

#### 3.1. Układ doświadczenia

Badania prowadzono na modelu rekultywacji odpadów paleniskowych zlokalizowanym na terenie Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie – Stacji Badawczej Akademii Rolniczej w Szczecinie, obecnie (od 1 stycznia 2009 roku) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Doświadczenia założono w 2003 roku. Powierzchnia obiektu obejmuje około 0,75 ha. Od strony południowo-zachodniej graniczy z kanałem, który odprowadza wody ze składowiska popiołów; od strony północnej – ze zbiornikiem wodnym, porośniętym roślinnością wodną oraz szuwarową; od wschodu i południowego wschodu – z nieużytkiem, porośniętym roślinnością zielną, a także ze zbiorowiskiem leśnym o charakterze lasu mieszanego.

Podczas badań założono doświadczenie dwuczynnikowe w układzie podbloków losowych, w którym pierwszym czynnikiem był sposób przygotowania podłoża, a drugim zastosowany nadkład mineralno-organiczny. W doświadczeniu zastosowano między innymi kompost produkowany przez Spółkę Wodno-Ściekową „Gwda” Sp. z o.o. z Piły (GWDA), w którego tworzeniu wykorzystuje się przefermentowane lub stabilizowane tlenowo osady ściekowe zawierające składniki łatwo przyswajalne przez rośliny. W dalszych fazach kompostowanie odbywa się ze współdziałaniem pleśni i grzybów, które wytwarzają substancje o selektywnym działaniu antybiotycznym. W zastosowanej technologii kompostowania do osadów jest dostarczana dodatkowa masa organiczna, zawierająca węgiel organiczny, na przykład słoma, trociny, wióry, kora, drobne zrębki, węgiel brunatny lub organiczne odpady komunalne. Dodatek taki poprawia stosunki wodno-powietrzne, reguluje stosunek C:N, a w końcowej fazie kompostowania pozwala na wzrost grzybów i pleśni.

Jako pierwszy czynnik zastosowano dwa warianty:

- popiół surowy (p),
- popiół wzbogacony nawozami mineralnymi NPK (60:70:70 kg · ha<sup>-1</sup>) – p+.

Drugim czynnikiem były następujące nadkłady:

1. mieszanina torfu niskiego i popiołu w stosunku objętościowym 1:3;
2. mieszanina korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i popiołu w stosunku objętościowym 1:1:2:4;
3. mieszanina piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego, o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 15% słomy żytniej i 15% odpadów zieleni miejskiej w stosunku objętościowym 1:1:2;
4. mieszanina piasku luźnego, popiołu, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego, o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 30% odpadów zieleni miejskiej w stosunku objętościowym 1:1:2:4;
5. mieszanina korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego, o składzie w przeliczeniu na suchą masę: 70% osadu, 30% słomy żytniej w stosunku objętościowym 1:1:2:4.



Jako obiekty porównawcze zastosowano stanowiska utworzone na gruncie rodzimym – glebie o składzie granulometrycznym piasku lekkiego (gr0) oraz popiele surowym nienawożonym (p0). Poszczególne obiekty modelu utworzono przez wybranie gruntu rodzimego na głębokość 2,5 m, a następnie nasypanie około 2-metrowej warstwy popiołożużli lub popiołożużli z dodatkiem nawozów mineralnych oraz 40-centymetrowej warstwy nadkładów mineralno-organicznych. Każda kombinacja podłoży została odzielona nieprzepuszczalną membraną. Przygotowanie modelu – wypełnienie popiołem oraz położenie warstw nadkładów – zostało sfinansowane przez ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie.

Do badań wybrano dąb czerwony, jako gatunek lubiący stanowiska słoneczne, dobrze rosnący na glebach piaszczystych, umiarkowanie suchych. Charakteryzuje się on ponadto dużą odpornością na mrozy oraz letnie upały i warunki panujące w miastach. Odporność dębu czerwonego na niekorzystne warunki środowiska oraz zanieczyszczenia sprawia, że jest coraz częściej sadzony przy ulicach w miastach, a atrakcyjny wygląd, zwłaszcza jesienią, przyczynia się do tego, że drzewo to jest sadzone także w ogrodach oraz na zieleńcach.

Materiałem badawczym były drzewka dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) posadzone jesienią 2003 roku jako trzyletnie siewki wysokości 60–80 cm. Pochodziły one ze szkółki leśnej w Miłogoszcu. Rośliny posadzone w rozstawie 1,5 × 0,5 m. W międzyrzędziach wysiano mieszanekę pastwiskową traw z domieszką lucerny (*Medicago sativa* L.), a w rzędach utrzymywano czarny ugór mechaniczny o szerokości 0,5 m. Wykonywano standardowe zabiegi pielęgnacyjne; jedynie w pierwszym roku uprawy rośliny opryskano dwukrotnie insektycydem Calypso 480 SC (0,04%) ze względu na wystąpienie kuprówki rudnicy (*Euproctis chrysorrhoea* L.).

### 3.2. Pomiary biometryczne

Pomiary biometryczne pędów i liści wykonywano, aby zobrazować zauważalne różnice występujące we wzroście drzew w zależności od zastosowanego sposobu przygotowania podłoża.

Pomiary pędów przeprowadzono każdego roku, po zakończeniu wzrostu roślin, na trzech drzewach z każdego powtórzenia. W ramach badań mierzono:

- średnicę nasady pnia,
- wysokość roślin,
- liczbę pędów bocznych,
- długość przyrostów rocznych.

Długością mierzono przymiarem z podziałką milimetrową, a średnice – suwmiarką elektroniczną firmy Digital Caliper. Pomiary średnic zaokrąglono, podając je z dokładnością do 0,1 mm. Jeden termin pomiarów oraz jednolita metoda pomiarów pozwoliły ograniczyć błąd pomiaru. Materiał liczbowy, po uśrednieniu dla poszczególnych powtórzeń, poddano analizie statystycznej. Wyznaczono grupy jednorodne dla poszczególnych cech testem Tuckeya przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Obliczono odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności (Strzałko i Rożnowski 1992). Przeprowadzono także analizę skupień metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan przy pełnym wiązaniu. Analiza ta uwzględniła wszystkie badane cechy przyrostu roślin.

Liście zbierano po zakończeniu ich wzrostu, we wrześniu każdego roku. Z powtórzeń zbierano po 12 dobrze wykształconych liści. Wybierano je losowo, starając się jednak, aby reprezentowały cały przekrój korony. Po wysuszeniu wybrano losowo 30 liści z każdego obiektu, na których dokonano

pomiarów wybranych na podstawie literatury (Fijałkowski 1968; Białobrzaska 1970a, b, c; Andrearczyk 1971, 1979; Boińska 1974; Boińska i Nienartowicz 1979; Białobrzaska i Turchanowicz 1991; Staszkiwicz 1993, 1997; Danielewicz i Maciejewska 1994; Białobrzaska i Staszkiwicz 1997; Bednorz 1998; Zieliński 2008).

Długości i szerokości liści mierzono przymiarem z dokładnością do 0,5 cm, a kąty kątomierzem z dokładnością do 1 stopnia. Pomiaru powierzchni liści dokonano fotooptycznie, z użyciem urządzenia do mierzenia powierzchni liści Area Measurement System firmy Conveter Belt Unit.

Dla każdego powtórzenia wyliczono średnią arytmetyczną. Otrzymane średnie poddano transformacji logarytmicznej, a następnie analizie statystycznej. Dla każdej cechy obliczono przedziały ufności oraz wyznaczono grupy jednorodne testem Tuckeya przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Aby określić wpływ zastosowanych metod rekultywacji na wielkość i kształt liści, przeprowadzono analizę skupień metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan (Oktaba 1977; Strzałkowski i Śliżyński 1978; Żuk 1989; Zieliński 2008). Wszystkie obliczenia statystyczne dokonano z użyciem programu komputerowego Statistica 8. Liście badanych drzew porównano także między sobą na podstawie linii wielkości i kształtu, stosując metodę zaproponowaną przez Jentys-Szaferową (1951, 1959, 1964, 1970). Wykonano również ocenę parametryczną metodą cyklogramów (Boratyński 1980; Kuświk 1986/1987; Danielewicz 1993; Zieliński 2008). Poszczególne cechy wraz z wartościami parametrów zamieszczono w tabeli 1. Parametry te wykorzystano do porównania liści z wykorzystaniem wskaźnika mieszańczości (Anderson 1949; Danielewicz i Maliński 1994; Zieliński 2008).

Tabela 1. Ocena cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.).

Oznaczenie	Cecha	Wartość parametru	Ocena
1	długość liścia	7,70–9,69	1
		6,70–11,69	2
		11,70–13,69	3
		13,70–15,69	4
		15,70–17,60	5
2	długość blaszki liściowej	6,70–8,56	1
		8,57–10,43	2
		10,44–12,30	3
		12,31–14,17	4
		14,18–16,00	5
3	szerokość blaszki liściowej	4,60–5,91	1
		5,92–7,24	2
		7,25–8,56	3
		8,57–9,89	4
		9,90–11,20	5
4	odległość od najszerszego miejsca blaszki liściowej do podstawy blaszki liściowej	4,40–5,82	1
		5,83–7,25	2
		7,26–8,68	3
		8,69–10,11	4
		10,12–11,50	5
5	szerokość kłapy bocznej	1,90–2,24	1
		2,25–2,59	2
		2,60–2,94	3
		2,95–3,29	4
		3,30–3,60	5



Tabela 1. Ocena cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) – cd.

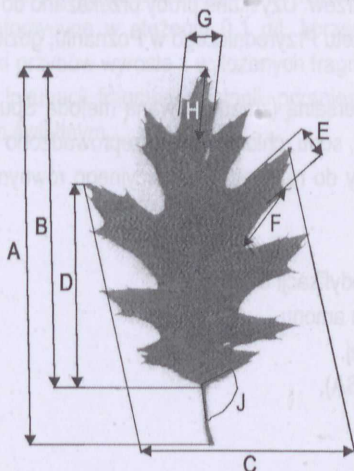
Oznaczenie	Cecha	Wartość parametru	Ocena
6	głębokość wcięcia	1,10–1,84	1
		1,85–2,59	2
		2,60–3,34	3
		3,35–4,09	4
		4,10–4,80	5
7	szerokość kłapy szczytowej	1,10–1,50	1
		1,51–1,91	2
		1,92–2,32	3
		2,33–2,73	4
		2,74–3,10	5
8	długość kłapy szczytowej	1,30–1,68	1
		1,69–2,07	2
		2,08–2,46	3
		2,47–2,85	4
		2,86–3,20	5
9	liczba kłap	6,80–7,70	1
		7,71–8,61	2
		8,62–9,52	3
		9,53–10,43	4
		10,44–11,30	5
10	kąt podstawy blaszki liściowej	29,60–35,52	1
		35,53–41,45	2
		41,46–47,38	3
		47,39–53,31	4
		53,32–59,20	5
12	stosunek szerokości do długości liścia	0,61–0,69	1
		0,70–0,78	2
		0,79–0,87	3
		0,88–0,96	4
		0,97–1,05	5
13	stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej	0,49–0,59	1
		0,60–0,70	2
		0,71–0,81	3
		0,82–0,92	4
		0,93–0,99	5

Mierzono następujące cechy:

- długość liścia z ogonkiem (na rys. 1 oznaczono literą A),
- długość blaszki liściowej (B),
- szerokość blaszki w najszerszym miejscu (C),
- odległość od podstawy blaszki liściowej do najszerszego miejsca blaszki (D),
- szerokość prawej największej kłapy bocznej (E),
- głębokość najgłębszego wcięcia (F),
- szerokość kłapy szczytowej (G),
- długość kłapy szczytowej (H),
- liczbę kłap (I),
- kąt pomiędzy prawą dolną kłapą a ogonkiem liścia (J),

- powierzchnię blaszki liściowej (K),
- stosunek szerokości do długości liścia ( $L = CA^{-1}$ ),
- stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej ( $M = DB^{-1}$ ).

Schemat wykonanych pomiarów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Sposób mierzenia liści

### 3.3. Badania fizjologiczne

Współczynnik zazielenienia liści określono analizatorem Chlorophyll Meter SPAD 502 firmy Minolta na pięciu losowo wybranych roślinach z każdego wariantu. Wykonano 10 pomiarów na roślinie. Liście do pomiarów wybierano losowo spośród takich, które nie wykazywały widocznych śladów uszkodzeń lub chorób i starano się przy tym, aby reprezentowały cały przekrój korony.

Pomiary na badanych drzewach dębu czerwonego wykonano w czterech terminach – w pierwszym tygodniu lipca, sierpnia, września i października. Pomiary A – natężenie jednostkowe asymilacji dwutlenku węgla – wykonano na pięciu roślinach gazoanalizatorem LCA-4 firmy ADC, z komorą wyposażoną w źródło światła o natężeniu  $1000 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Aktywność fazy świetlnej fotosyntezy oceniano na 10 roślinach metodą indukowanej fluorescencji chlorofilu, za pomocą fluorymetru polowego PEA firmy Hansatech. Czas pomiaru wynosił 3 s, czas adaptacji ciemieniowej 20 min, a natężenie światła wysycającego  $3000 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Następnie zgodnie z metodą zaproponowaną przez Strassera – tzw. *JIP test* (B.J. Strasser i R.J. Strasser 1995; Strasser i in. 1998; Srivastava i in. 1999) – wyliczono parametry określające kwantową produktywność fotosystemu II ( $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$ ).

Żywność roślin określono na podstawie pomiaru admitancji wykonanego miernikiem CX-741. Pomiary przeprowadzono w pełni fazy wzrostu roślin w ciągu jednego dnia na wszystkich obiektach (9–15 czerwca w latach 2004–2008). Pomiar wykonywano na jednorocznych pędach, umieszczając elektrodę w środkowej części pędu, na odcinku pomiędzy liśćmi. W pracy porównano średnie wartości wyliczone z 10 pomiarów dla każdej rośliny.



### 3.4. Badania zawartości makro- i mikroelementów w korzeniach i liściach

Aby rozpoznać stopień pochłaniania i transportu makro- i mikroelementów w roślinach, w 2008 roku pobrano 12 prób zbiorczych korzeni i liści. Na jedną próbę zbiorczą składały się trzy próby pojedyncze, które pozyskiwano ze strefy korzeniowej i korony drzew. Uzyskane próby przekazano do laboratorium Katedry Nawożenia Roślin Ogródniczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, gdzie wykonano dalsze badania.

W analizach podłoży posłużono się metodą uniwersalną (zmodyfikowaną metodą Spurwaya). Ekstrakcję azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki, sodu, chloru i boru przeprowadzono w 0,03-molowym  $\text{CH}_3\text{COOH}$  przy stosunku objętościowym próby do roztworu ekstrakcyjnego równym 1:10, w czasie 30 min (Nowosielski 1974).

Po ekstrakcji oznaczono:

- azot mikrodestylacyjnie, metodą Bremnera w modyfikacji Starcka,
- fosfor kolorymetrycznie z wanadomolibdenianem amonu,
- potas, wapń i sód metodą fotometrii płomieniowej,
- magnez absorpcyjną spektrometrią atomową (ASA),
- siarkę nefelometrycznie z  $\text{BaCl}_2$ ,
- chlor nefelometrycznie z  $\text{AgNO}_3$ ,
- bor kolorymetrycznie z kurkumina.

Mikroelementy metaliczne (żelazo, mangan, cynk, nikiel, miedź, ołów i kadm) ekstrahowano roztworem Lindsaya, który w 1 dm<sup>3</sup> zawiera: 5 g  $\text{EDTAH}_4$ , 9,0 ml 25% amoniaku, 4 g kwasu cytrynowego i 2 g  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Stosunek objętościowy próby do roztworu ekstrakcyjnego wynosił 1:4 przy ekstrakcji 30-minutowej. Po ekstrakcji oznaczono: żelazo, mangan, cynk, nikiel, miedź, ołów i kadm metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA).

### 3.5. Mikoryzy

W 2005 roku przeprowadzono obserwację w ryzosferze drzewek dębu czerwonego rosnących na analizowanych obiektach. Badania wykonano w trzech terminach (pierwszy – wiosenny, drugi – letni i trzeci – jesienny) na sześciu stanowiskach, obejmujących w podkładzie popiół nienawożony bez nadkładu i popiół nienawożony z nadkładami:

- stanowisko I – popiół + mieszanina piasku luźnego, popiołu, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego (p4);
- stanowisko II – popiół + mieszanina korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego (p3);
- stanowisko III – popiół + mieszanina torfu niskiego i popiołu (p1);
- stanowisko IV – popiół + mieszanina korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i popiołu (p2);
- stanowisko V – popiół + mieszanina korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i przefermentowanego komunalnego osadu ściekowego (p5);
- stanowisko VI – popiół (p0).

Materiał do badań mikoryzowych pozyskiwano przez rozkopanie podłoża w obrębie systemu korzeniowego drzew i odcięcie odnalezionych korzeni. Uzyskane korzenie oczyszczano pod bieżącą wodą, a następnie oceniano ich morfologię pod mikroskopem stereoskopowym. Fragmenty korzeni odkażano powierzchniowo 70-procentowym etanolem przez 10 s, a następnie traktowano przez 15 s 30-procentową wodą utlenioną. Przed wyłożeniem na pożywkę wg Pachlewskiego (1983), wzbogaconą o streptomycynę w stężeniu 0,1 g/l, korzenie płukano trzykrotnie w sterylnej wodzie destylowanej. Strzępki grzybów wyrosłe z wyłożonych fragmentów odszczepiono na świeżą pożywkę. Po dwóch tygodniach inkubacji fragmenty kolonii, przeniesione na szkiełko podstawowe, obserwowano pod mikroskopem świetlnym.

Utrudzenia związane z pobraniem próbek z drzew w celu wyizolowania grzybów, polegały na konieczności w nich zrobienia odpowiedniego otworu, który nie powinien być zbyt głęboki, aby nie spowodował uszkodzenia drzewa. Ponadto konieczne było zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem. W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem.

Stwierdzono, że w przypadku pobrania próbek z drzew, konieczne jest wykonanie odpowiedniego otworu, który nie powinien być zbyt głęboki, aby nie spowodował uszkodzenia drzewa. Ponadto konieczne było zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem. W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem.

W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem. W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem.

W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem. W celu uniknięcia uszkodzenia drzewa, w miejscu pobrania próbki, wykonano specjalne zabezpieczenie, które miało na celu zabezpieczenie miejsca pobrania próbki przed zanieczyszczeniem.





## **4. Charakterystyka warunków przyrodniczych terenu doświadczeń**

### **4.1. Cechy charakterystyczne wykorzystanego podłoża**

#### **4.1.1. Wprowadzenie**

Na modelu prowadzony jest monitoring warunków glebowych przez Zakład Chemii Środowiska i Rekultywacji. Przedstawiona poniżej charakterystyka została oparta na danych z tego monitoringu (Stankowski i in. 2005; Chudecka i Tomaszewicz 2009).

Uśrednione uziarnienie popiołów, będących podłożem w nowo utworzonych glebach, potwierdza dominację w nich frakcji pyłu, stanowiącego ponad 40% ich masy, co kwalifikuje je do grupy granulometrycznej pyłu zwykłego. Piasek tworzący podkład na stanowisku kontrolnym, reprezentujący skały macierzyste gleb tego obszaru, kwalifikuje się do grupy granulometrycznej piasku słabogliniastego, charakteryzującego się dominacją frakcji gruboziarnistej (piasku) i także niezbyt dużą zawartością łu koloidalnego.

Stopień aktualnego uwilgotnienia nadkładów średnio osiągał wartości 15,8–55,9%, wykazując znaczne zróżnicowanie zarówno między nadkładami, jak i pomiędzy latami badań. Wskazuje to na zróżnicowane zdolności zatrzymywania wody przez te materiały, co jest najprawdopodobniej związane z ich heterogenicznością, a w szczególności ze zróżnicowaną w nich zawartością materii organicznej. W przypadku podkładu popiołowego wilgotność aktualna objętościowa kształtowała się w granicach 25,6–40,8%, średnio osiągając poziom 28,0–38,9%. Grunt naturalny w porównaniu z popiołem charakteryzował się dwu–trzykrotnie niższą aktualną zawartością wody, co wskazuje na znacznie gorsze zdolności do jej magazynowania.

Pojemność kapilarna objętościowa wszystkich zastosowanych nadkładów (1–5) jest bardzo wysoka. Jeśliby przyjąć, iż dla gleb mineralnych optymalna wartość P<sub>kv</sub> powinna zawierać się w granicach 25–30% ich objętości, to zmierzone w kolejnych latach wartości tej cechy dla nadkładów są znacznie powyżej progu 30-procentowego. Pozwala to na stwierdzenie, że nadkłady to materiały o bardzo dużej możliwości magazynowania wody i ograniczonej zdolności jej filtrowania (odprowadzania jej nadmiaru w głąb gleby). Popiół charakteryzuje się, w porównaniu z nadkładami, wyższą (o 40–50%) wartością P<sub>kv</sub>, co świadczy o potencjalnie bardzo dużej zdolności magazynowania wody przez podłoże glebowe utworzone z tego materiału. Porowatość kapilarna objętościowa zmierzona dla piasku, wynosząca nieco ponad 30%, może być uznana za optymalną, zapewniającą dostatek wody dla roślin bez ryzyka nadmiernego uwilgotnienia podłoża i ograniczenia dostępności tlenu oraz zdolności filtracyjnej gleby.

W glebach mineralnych optymalna pojemność niekapilarna (P<sub>nk</sub>) powinna wynosić 20% ich objętości, przy czym podkreśla się, że wartości P<sub>nk</sub> ukształtowane poniżej 10% wskazują już na znaczne niedobory tlenu w glebie i możliwość stagnowania w niej wody opadowej. Wszystkie badane materiały glebotwórcze – nadkłady i podkłady – charakteryzowały się niskimi wartościami porowatości niekapilarnej, nieprzekraczającymi poziomu 10-procentowego, co potencjalnie wskazuje na ograniczoną ich przewiewność (warunki niedoboru tlenu) i niską przepuszczalność wodną (utrudnione odprowadzanie nadmiaru wód opadowych w głąb gleby). W okresie badań nastąpił dwu–trzykrotny wzrost w stosunku do stanu wyjściowego, co należy ocenić za bardzo korzystną zmianę właściwości wodno-powietrznych podłoża. Zmiany te mogą być powiązane ze strukturotwórczym oddziaływaniem systemów korzeniowych roślin oraz zasiedlaniem tego obszaru przez faunę glebową.



Maksymalna pojemność wodna objętościowa (Wtv) pozwala na ocenę porowatości ogólnej gleby. W przypadku nadkładów 1–5 wartości są wysokie, nawet niekiedy wyższe aniżeli występujące w warstwie ornej czarnoziemiu (55–60%). Oceniając maksymalną pojemność wodną objętościową w popiołach, stwierdzono, że są one materiałem o optymalnej porowatości. Piasek, dla którego Wtv była niższa, należy i tak uznać za materiał o dobrej przydatności jako siedliska dla roślin.

Oceniając odczyn mierzony w chlorku potasu (pH w KCl), stwierdzono wyraźne jego zmiany w trakcie prowadzenia badań. Na początku prowadzenia badań nadkłady charakteryzowały się odczynem od obojętnego do zasadowego (średnie pH w granicach 7,8–8,2). W kolejnych latach nastąpił spadek ich odczynu. O ile dla nadkładów 1 i 2 spadek odczynu w przybliżeniu o jedną jednostkę nie wskazuje na zmianę ich kategorii kwasowości (nadal wykazywały stan na granicy odczynu obojętnego i zasadowego), o tyle nadkłady 3, 4 i 5 należy określić jako materiały obojętne (średnie pH w granicach 6,4–6,9). Popiół charakteryzował się odczynem alkalicznym (pH 8,8–9,0), jednakże porównując dane dla kolejnych lat badań, obserwowano niewielki spadek pH, który nie przesądza o zmianie kategorii kwasowości. Grunt rodzimy, stanowiący obiekt kontrolny, nie wykazywał tej tendencji.

Zawartość materii organicznej w zastosowanych nadkładach wskazuje, że średnia ilość tego składnika pozwala na podzielenie badanych nadkładów na trzy grupy. Do pierwszej należą nadkłady 1 i 3, zakwalifikowane do grupy utworów glebowych mineralnych próchnicznych. Druga grupa obejmuje nadkłady 4 i 5, najzasobniejsze w materię organiczną, które można zaliczyć do utworów mineralno-organicznych. W grupie trzeciej lokuje się nadkład 2, w którym nastąpił największy spadek zawartości materii organicznej (z 12,9% do 4,8%).

#### 4.1.2. Analizy chemiczne nadkładów i podkładów

Po wykonaniu modelu rekultywacyjnego w 2003 roku, jesienią w roku założenia oraz wiosną i jesienią w kolejnych latach badań, pobierano próbki z nadkładów (miąższość 0–40 cm) i podkładów (miąższość 40–80 cm). W próbkach oznaczano formy ogólne azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki, kadmu, miedzi, manganu, niklu, ołowiu i cynku, formy fosforu, potasu i magnezu przyswajalne dla roślin, formy kadmu, miedzi, manganu, niklu, ołowiu i cynku rozpuszczalne w 1 mol-HCl.

Wyniki badań wskazują, że najwięcej form ogólnych azotu, fosforu, wapnia, magnezu i siarki było w nadkładach składających się głównie z komunalnego osadu ściekowego, wyprodukowanego z niego kompostu (GWDA) oraz popiołów paleniskowych z węgla kamiennego. Nadkłady najczęściej zawierały więcej form ogólnych azotu, fosforu, wapnia, magnezu i siarki aniżeli podkłady. Podkłady składające się z popiołu paleniskowego z węgla kamiennego bez i z dodatkiem nawozów mineralnych zawierały więcej formy ogólnej potasu aniżeli nadkłady z komunalnym osadem ściekowym i wyprodukowanym z niego kompostem (GWDA). To zjawisko można wytłumaczyć dużą zawartością azotu i fosforu w stosunku do potasu w komunalnym osadzie ściekowym i wyprodukowanym z niego kompoście (GWDA) oraz znaczną ilością potasu w stosunku do fosforu w popiele paleniskowym z węgla kamiennego. Należy także zaznaczyć, że popiół paleniskowy z węgla kamiennego nie zawierał azotu.

Z badań wynika, że średnio najmniej form fosforu, potasu i magnezu przyswajalnych dla roślin zawierały nadkłady składające się z piasku luźnego lub popiołu paleniskowego z węgla kamiennego. Najwięcej form tych pierwiastków przyswajalnych dla roślin było w nadkładach z komunalnym osadem ściekowym i wyprodukowanym z niego kompostem oraz popiele paleniskowym z węgla kamiennego.



W obowiązującym obecnie ustawodawstwie brak jest ściśle określonych norm zawartości form ogólnych metali ciężkich w mieszaninach odpadów przemysłowych (popioły paleniskowe z węgla kamiennego), komunalnych (osady ze ścieków komunalnych i sporządzone z nich komposty) oraz innych komponentów. Ze względu na wykorzystanie do budowy modelu rekultywacyjnego głównie popiołu paleniskowego z węgla kamiennego, komunalnego osadu ściekowego i wytworzonego z niego kompostu przyjęto liczby graniczne zawartości metali ciężkich dla gleb, do których mogą być wprowadzane komunalne osady ściekowe (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych, *DzU* z 2002 roku, nr 134, poz. 1140) – tabela 2. Liczby te wskazują na możliwość dopuszczenia do stosowania w rekultywacji gruntów mieszanin popiołów paleniskowych z węgla kamiennego z komunalnymi osadami ściekowymi.

Rezultaty badań wskazują, że zawartość form ogólnych miedzi, manganu, niklu i cynku w nadkładach i podkładach nie przekroczyła dopuszczalnych norm. Ilość form ogólnych ołowiu w większości nadkładów zawierała się w granicach przyjętych dla gleb lekkich oraz gleb średnich i ciężkich. Natomiast ilość form ogólnych kadmu mieściła się tylko w zakresie wartości przewidzianych dla gleb średnich i ciężkich.

Tabela 2. Dopuszczalne ilości metali ciężkich w wierzchniej (0–25 cm) warstwie gruntu przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie oraz w rekultywacji gruntów na cele rolne

Metale	Ilość metali ciężkich (w mg · kg <sup>-1</sup> suchej masy gruntu) nie większa niż:		
	grunty lekkie	grunty średnie	grunty ciężkie
Pb	40	60	80
Cd	1	2	3
Hg	0,8	1,2	1,5
Ni	20	35	50
Zn	80	120	180
Cu	25	50	75
Cr	50	75	100

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych, *DzU* z 2002 roku, nr 134, poz. 1140.

Najwięcej form ogólnych metali ciężkich było w nadkładach składających się głównie z popiołu paleniskowego z węgla kamiennego, komunalnego osadu ściekowego i wyprodukowanego z niego kompostu (GWDA). Najmniej form ogólnych metali ciężkich stwierdzono w nadkładach zawierających piasek luźny. W większości obiektów nadkłady zawierały więcej form ogólnych metali ciężkich aniżeli podkłady, co jest wynikiem wprowadzenia do nadkładów komunalnego osadu ściekowego i wyprodukowanego z niego kompostu. Podkłady z popiołu paleniskowego z węgla kamiennego z dodatkiem nawozu mineralnego zawierały więcej metali ciężkich w porównaniu z pozostałymi podkładami.

## 4.2. Warunki pogodowe

Elektrownia „Dolna Odra” znajduje się na obszarze fizycznogeograficznego mezoregionu określonego przez Kondrackiego (1988) jako Dolina Dolnej Odry, przy wschodniej odnodze Odry zwanej Regalicą.



Od wschodu rozciąga się Równina Wełtyńska, będąca wysoczyzną morenową wyniesioną do 50–70 m n.p.m., urozmaiconą przeważnie niewielkimi jeziorami. Jest to obszar w znacznej części użytkowany rolniczo, z najrozleglejszymi lasami w okolicy miejscowości Nowe Czarnowo (Borówka 2002).

Dolina Dolnej Odry – o powierzchni ponad 740 km<sup>2</sup> – rozciąga się na długości około 84 km od okolic Cedyni na południu, gdzie od wschodu graniczy z Pojezierzem Myśliborskim, aż po ujście Regalicy do jeziora Dąbie i Odry Zachodniej do Zalewu Szczecińskiego na północy (Borówka 2002). Od okolic Widuchowej jest to obszar Międzyodrza – masywu torfowego pomiędzy Regalicą a Odrą Zachodnią. Międzyodrże objęto ochroną, tworząc Park Krajobrazowy Doliny Dolnej Odry. Na południe od Szczecina Dolina Dolnej Odry przelamuje się przez obszar wzgórz – Góry Bukowe z Puszczą Bukową na wschodzie i Wał Bezleśny Bezzrzecze-Siadło, zwany też Walem Stobniańskim na zachodzie. Dalej na północy Odra Zachodnia płynie wzdłuż stromych stoków Wzgórz Warszawskich, w części zajętych przez Szczecin, a w części zalesionych.

Według mapy stref i podstref klimatycznych opracowanej przez Heinzego i Schreibera (1984) obszar Elektrowni „Dolna Odra” znajduje się w podstrefie 7a, ze średnią wieloletnią temperaturą minimalną od  $-17,7^{\circ}\text{C}$  do  $-15^{\circ}\text{C}$ . Wyższą średnią temperaturą minimalną, od  $-14,9^{\circ}\text{C}$  do  $-12,3^{\circ}\text{C}$ , charakteryzuje się jedynie niewielki fragment Pomorza Zachodniego, wysunięty najbardziej na północny zachód. Znajduje się poza omawianym obszarem, w podstrefie 7b. Według najnowszego podziału Polski na regiony klimatyczne Dolina Dolnej Odry, jak i Równina Wełtyńska oraz Pojezierze Myśliborskie znajdują się w obrębie regionu zachodniopomorskiego, gdzie jest „klimat łagodny z dość znaczną liczbą dni słonecznych oraz dni bez opadów. Względnie rzadziej (niż w Regionie Zachodniopomorskim) pojawiają się tutaj również dni przymrozkowe oraz mroźne” (Borówka 2002, s. 65).

Średnia temperatura roczna tego obszaru, wynosząca  $8,5^{\circ}\text{C}$ , oraz średnia temperatura lipca –  $18^{\circ}\text{C}$  – sprawia, że jest to jedna z najcieplejszych krain w województwie. W styczniu temperatura wynosi średnio  $-0,6^{\circ}\text{C}$ . Przymrozki wiosenne nie występują już pod koniec kwietnia, a jesienne odnotowuje się pod koniec września (Kozłowski i Michalska 2004).

Roczne sumy opadów wynoszą około 500–550 mm (Woś 1996, 1999; Martyn 2000), co nie jest korzystne dla roślin. Najwilgotniejszymi miesiącami są lipiec i sierpień, a najbardziej suchymi – luty, marzec i kwiecień. Na Pomorzu Zachodnim zimą notuje się stosunkowo niewielkie ilości opadu śniegu; teren ten charakteryzuje się także najniższą trwałością pokrywy śnieżnej w porównaniu z innymi regionami kraju (Kozłowski i in. 2007).

Średnia prędkość wiatru wynosi  $4,0\text{--}5,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Przeważają wiatry z kierunku południowo-zachodniego i zachodniego. Średnia roczna prędkość wiatru wynosi  $3,5\text{--}4,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Borówka 2002; Kozłowski i in. 2007).

Dla omawianego rejonu charakterystyczne są krótkie zimy i stosunkowo długie pory przejściowe, takie jak przedwiosnie i przedzimy. Panuje tu klimat łagodny z dość znaczną liczbą dni słonecznych oraz dni bez opadów. Rzadziej pojawiają się tutaj dni przymrozkowe oraz mroźne. Wiosna na Pomorzu Zachodnim jest długa, dochodzi nawet do 76 dni. Lato natomiast jest krótkie i trwa około 80 dni. Długa, ciepła oraz sucha jest jesień, trwająca 66–72 dni. Obszar ten charakteryzuje się najdłuższym w Polsce okresem wegetacyjnym (230 dni) – Kozłowski i Michalska (2004).

W tabeli 3 przedstawiono średnie temperatury powietrza, sumy opadów oraz średnią wilgotność powietrza z wielolecia, a w tabelach 4–5 i na wykresach-klimatogramach wg Waltera–Litha (rys. 2) wybrane dane meteorologiczne z lat 2004–2008, notowane przez stację meteorologiczną ZEDO S.A. w Nowym Czarnowie.



Tabela 3. Średnia temperatura powietrza i suma opadów z lat 1961–2000 oraz średnia wilgotność powietrza z lat 1956–1990 w Szczecinie

Cecha	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
Średnia temperatura powietrza (°C)	-0,6	0,2	-3,3	7,8	12,9	16,2	17,8	17,4	13,6	9,1	4,2	0,8	8,6
Suma opadów (mm)	36,0	29,0	35,0	37,0	54,0	59,0	65,0	56,0	46,0	37,0	42,0	42,0	538
Wilgotność (%)	87	84	79	74	73	74	76	77	80	85	87	88	80

Źródło: Koźmiński i in. (2007), Koźmiński i Czarniecka (1993).

Tabela 4. Średnie roczne i suma opadów w latach badań i w wieloletiu

Cecha	2004	2005	2006	2007	2008	1961–2000
Temperatura (°C)	9,4	9,5	9,2	10,7	10,3	8,6
Opady (mm)	430,6	392,3	338,2	570,7	319,3	538,0
Wilgotność (%)	74,1	74	73,6	74,3	74,1	80,0
Nasłonecznienie ( $W \cdot m^{-2}$ )	111,8	116,3	116	109	110,6	–

Źródło: dane stacji meteorologicznej ZEDO w Nowym Czarnowie, Koźmiński i in. (2007).

Tabela 5. Wybrane dane meteorologiczne z lat 2003–2008

Parametr	Miesiące												I–XII	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
2004														
Temperatura (°C)	śr.	-2,2	1,9	5,1	9,8	12,9	16,1	17,7	19,4	14,1	10,2	4,7	3,0	9,4
	min.	-10,9	-3,7	-0,7	4,3	8,3	12,3	14,2	14,1	10,8	3,7	-0,5	-2,5	–
	maks.	4,2	12,4	12,6	15,6	18,7	19,3	22,4	25,3	18,5	17,2	12,0	7,4	–
Opady (mm)	śr.	19,9	36,2	13,8	26,8	38,5	50,5	77,2	57,3	24,5	28,8	36,6	20,5	430,6
	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	maks.	4,4	6,8	5,4	6,3	8,9	11,0	16,1	14,5	14,8	12,6	8,9	5,6	–
Wilgotność (%)	śr.	83,7	76,7	71,6	63,9	69,3	66,9	70,0	66,5	71,2	78,9	84,3	85,8	74,1
	min.	70,8	38,2	54,3	34,1	48,8	45,4	51,6	43,3	51,0	54,9	61,1	68,0	–
	maks.	95,3	94,1	89,9	88,5	89,6	82,3	85,4	89,4	92,9	94,2	95,0	95,3	–
Nasłonecznienie ( $W \cdot m^{-2}$ )	śr.	27,6	53,8	98,6	169,0	182,2	203,2	196,1	181,8	121,3	62,5	31,0	14,2	111,8
	min.	6,1	13,6	22,9	55,4	55,9	91,1	90,1	75,5	32,4	6,1	4,8	3,0	–
	maks.	66,9	107,7	186,1	267,9	316,6	318,2	314,2	263,2	202,2	113,1	66,5	35,3	–
2005														
Temperatura (°C)	śr.	3,2	-0,1	3,2	9,3	13,9	16,5	19,5	16,8	15,3	10,9	4,7	1,4	9,5
	min.	-5,0	-6,0	-4,3	3,2	7,2	9,7	13,9	13,3	9,1	5,1	-1,3	-5,2	–
	maks.	10,0	4,2	12,6	16,8	25,7	24,1	24,1	21,8	20,7	15,0	12,0	7,4	–
Opady (mm)	śr.	26,4	17,1	19,2	16,4	31,7	41,6	90,1	39,3	33,1	26,6	25,5	25,3	392,3
	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–
	maks.	6,1	7,2	6,2	9,9	2,5	28,5	18,4	13,6	18,8	7,8	9,3	5,4	–
Wilgotność (%)	śr.	81,5	78,1	69,9	59,6	68,6	64,6	68,2	71,1	73,9	76,8	87,3	88,2	74
	min.	56,9	56,6	47,5	41,6	52,5	48,2	39,8	56,4	46,8	57,0	66,1	78,1	–
	maks.	92,8	92,5	90,3	80,9	83,9	87,5	92,9	88,2	91,2	91,4	95,1	95,1	–
Nasłonecznienie ( $W \cdot m^{-2}$ )	śr.	21,8	48,8	111,8	183,8	190,6	237,7	195,0	166,1	119,2	73,8	31,4	16,2	116,3
	min.	4,9	14,5	19,5	56,0	80,6	73,0	45,7	48,6	32,5	29,0	5,4	3,3	–
	maks.	75,7	105,7	211,2	276,0	311,2	343,4	328,0	257,6	194,8	106,0	69,8	50,6	–



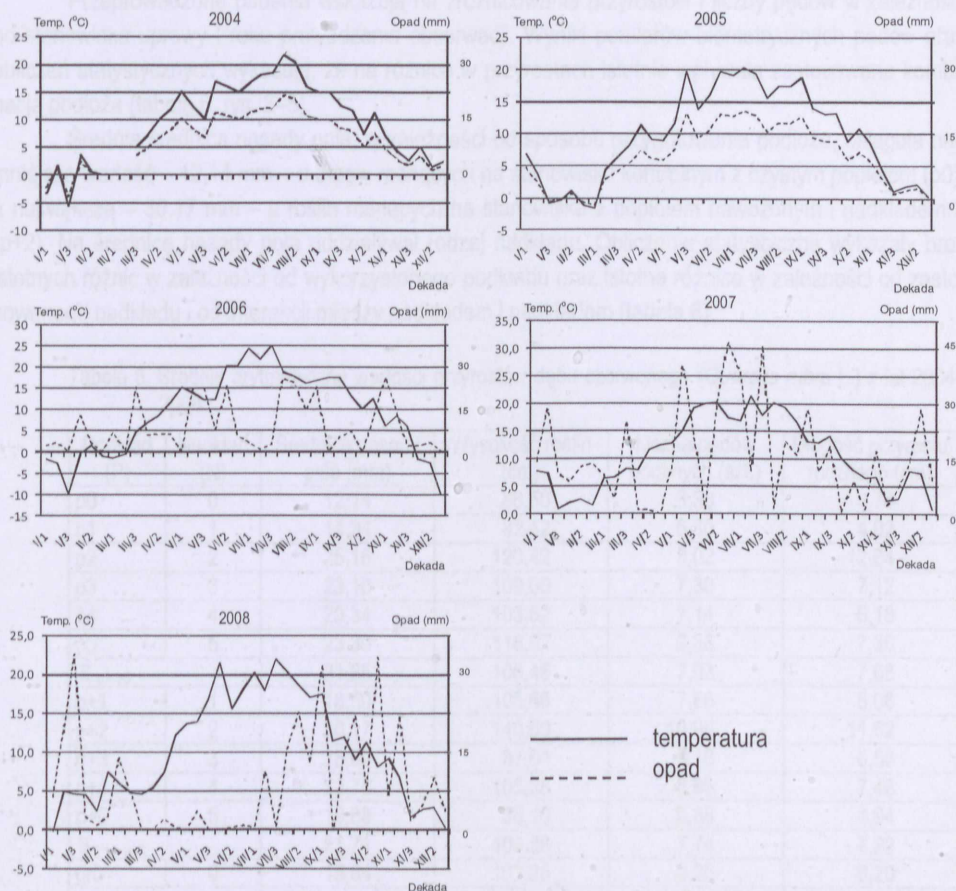
Tabela 5. Wybrane dane meteorologiczne z lat 2003–2008 (cd.)

Parametr	Miesiące												I–XII	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
2006														
Temperatura (°C)	śr.	-4,6	0,1	1,2	9,2	13,9	18,0	23,9	17,6	17,2	12,0	7,1	-4,6	9,2
	min.	-19,3	-7,8	-4,7	2,2	8,3	10,8	18,4	14,3	13,9	5,3	0,2	-19,3	-
	maks.	2,4	4,6	10,8	15,1	18,7	24,7	28,8	21,6	20,4	16,8	11,9	2,4	-
Opady (mm)	śr.	6,4	16,3	30,3	19,6	44,9	36,8	7,4	75,1	28,4	20,2	46,4	6,4	338,2
	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
	maks.	1,7	4,3	11,3	3,6	7,4	9,7	3,3	16,1	10,7	6,8	17,4	1,7	-
Wilgotność (%)	śr.	82,4	82,3	74,8	69,2	64,1	64,8	52,4	75,2	70,7	79,2	85,5	82,4	73,6
	min.	59,0	63,6	52,5	49,0	36,3	45,5	38,5	53,8	52,7	54,5	67,0	59,0	-
	maks.	95,3	95,0	95,3	84,2	89,2	88,7	71,0	90,6	88,9	94,3	95,9	95,3	-
Nasłonecznienie (W·m <sup>-2</sup> )	śr.	31,3	41,0	87,9	154,8	203,2	228,5	266,4	137,9	119,7	60,3	30,2	31,3	116,0
	min.	6,6	12,1	25,3	53,4	66,5	89,2	163,4	55,5	47,8	14,3	8,0	6,6	-
	maks.	60,7	112,3	170,4	242,4	299,5	326,0	336,7	236,4	160,5	104,0	77,7	60,7	-
2007														
Temperatura (°C)	śr.	5,2	2,2	7,2	10,7	15,8	19,2	18,8	18,8	13,5	8,2	4,0	5,2	10,7
	min.	-4,3	-5,3	1,4	4,1	8,5	13,3	14,3	11,7	9,6	0,2	-0,9	-4,3	-
	maks.	12,6	6,1	11,7	17,5	24,3	24,6	29,0	24,5	16,7	13,1	10,8	12,6	-
Opady (mm)	śr.	54,3	35,6	37,9	2,0	78,8	77,7	96,3	37,5	58,5	10,9	26,9	54,3	570,7
	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
	maks.	15,0	8,5	11,4	1,0	14,9	13,4	29,7	11,7	16,0	3,7	7,5	15,0	-
Wilgotność (%)	śr.	78,6	84,0	71,6	57,9	65,3	70,0	70,1	70,5	77,3	81,1	86,4	78,6	74,3
	min.	56,0	59,3	42,7	43,5	40,3	50,8	51,6	55,7	62,2	68,4	69,8	56,0	-
	maks.	93,3	95,5	94,6	75,8	84,4	91,8	92,3	91,5	92,1	92,3	95,4	93,3	-
Nasłonecznienie (W·m <sup>-2</sup> )	śr.	21,4	38,7	97,7	190,1	214,0	201,7	189,6	157,2	93,8	57,7	24,1	21,4	109,0
	min.	5,7	10,6	14,1	62,9	81,5	62,0	42,4	39,9	34,1	9,3	8,4	5,7	-
	maks.	61,0	94,5	170,5	283,2	293,3	317,7	307,0	267,0	154,5	105,9	55,7	61,0	-
2008														
Temperatura (°C)	śr.	3,2	4,4	5,1	8,6	14,9	18,4	20,1	18,6	13,6	9,5	5,9	1,9	10,3
	min.	-6,0	-2,9	-1,2	2,6	9,7	11,8	14,1	14,2	9,8	4,6	-0,3	-7,5	-
	maks.	8,3	9,8	12,2	17,4	22,6	24,2	27,2	26,0	20,1	14,3	12,8	8,1	-
Opady (mm)	śr.	59,4	6,6	20,7	2,8	3,7	1,4	12,2	51,2	47,1	63,0	30,8	20,4	319,3
	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
	maks.	13,7	2,1	11,6	0,7	2,1	0,5	10,7	8,1	15,4	21,8	12,6	4,7	-
Wilgotność (%)	śr.	82,4	77,5	74,1	73,3	58,0	57,7	60,6	69,2	75,8	84,7	86,6	89,1	74,1
	min.	61,4	65,6	51,9	38,5	34,4	38,1	32,5	41,6	60,5	63,3	62,9	76,4	-
	maks.	96,4	95,4	92,8	92,4	76,9	88,8	83,6	86,1	88,6	94,5	95,3	95,8	-
Nasłonecznienie (W·m <sup>-2</sup> )	śr.	20,3	46,2	90,7	135,2	244,6	254,2	221,2	136,0	95,9	46,3	22,8	13,5	110,6
	min.	4,9	12,1	22,8	30,0	107,2	80,7	87,9	48,0	43,6	11,5	7,2	2,9	-
	maks.	37,5	88,6	172,7	263,5	312,6	341,3	361,2	242,4	157,7	87,5	46,7	31,2	-

Źródło: dane stacji meteorologicznej ZEDO w Nowym Czarnowie.

Warunki pogodowe w latach 2004–2008 były bardziej zróżnicowane niż w wieloleciu 1956–2000. Średnie roczne temperatury powietrza w latach prowadzenia badań były wyższe od średniej z wielolecia o 0,6–2,1°C, przy czym najwyższą średnią temperaturę roczną odnotowano w 2007 roku, w którym wystąpiły jednocześnie największe ilości opadów atmosferycznych, przewyższające średnią wieloletnią o 32,7 mm. W pozostałych latach badań średnie sumy opadów były niższe od średnich z wielolecia

o 107,4 w 2004 roku do 218,7 mm w 2008 roku, kiedy odnotowano zaledwie 319,3 mm opadów. Wilgotność powietrza we wszystkich latach badań była niższa od średniej z wielolecia – w przybliżeniu o 6% – i utrzymywała się na poziomie około 74%. Najkorzystniejsze warunki wzrostu ze względów klimatycznych wystąpiły w 2007 roku. Odnotowano wówczas najwyższą średnią roczną temperaturę powietrza wynoszącą 10,7°C i największą średnią ilość opadów – 570,7 mm. W roku tym wystąpiła też najwyższa wilgotność powietrza – 74,3% – ze wszystkich lat, w których prowadzono badania.

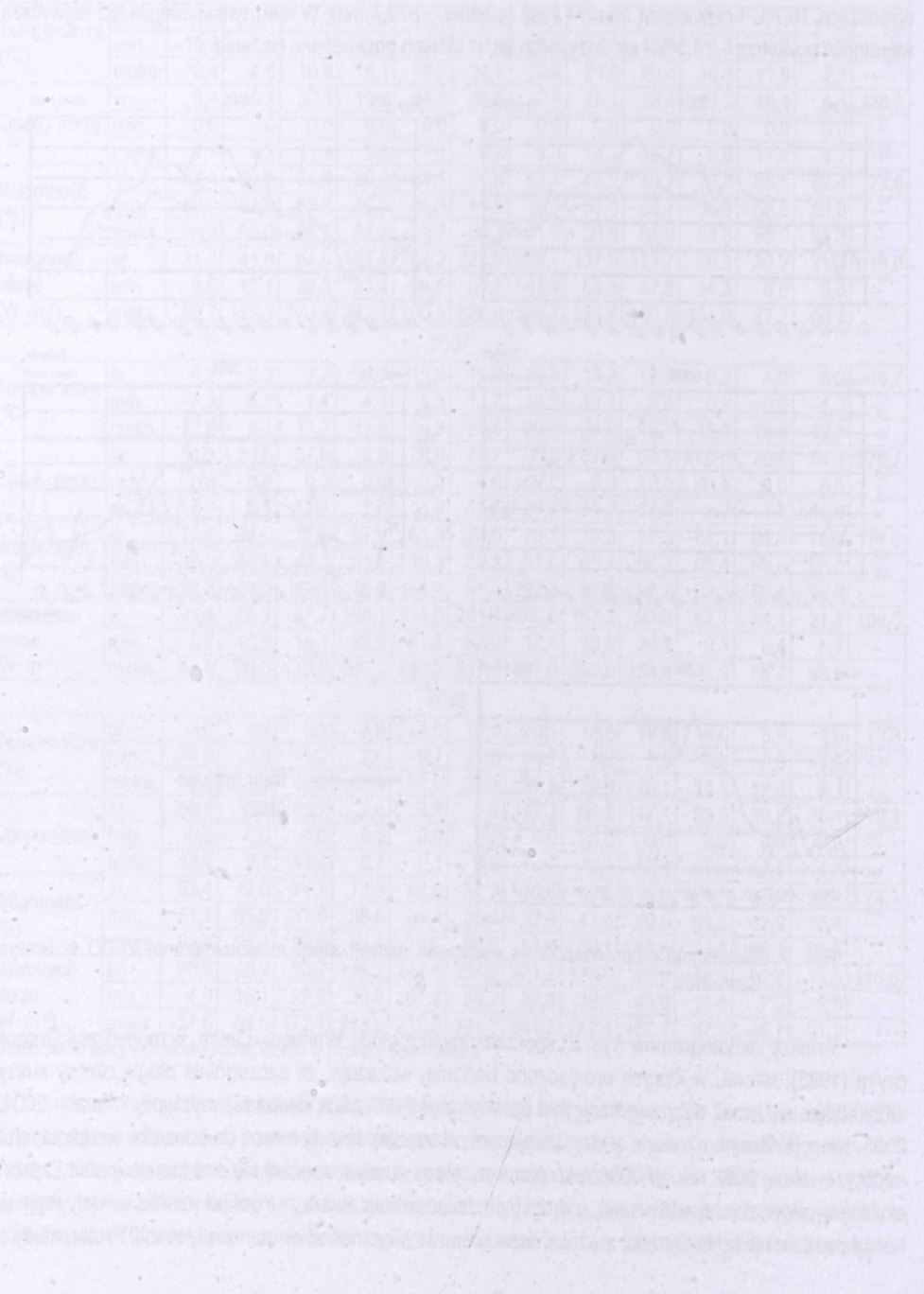


Rys. 2. Klimatogramy opracowane na podstawie danych stacji meteorologicznej ZEDO w Nowym Czarnewie

Analiza klimatogramów (rys. 2) sporządzonych metodą Walthera–Lietha, w modyfikacji Gregorczyka (1995), dla lat, w których prowadzono badania, wskazuje, że szczególnie długie okresy suszy, utrzymujące się przez całą wegetację (od połowy marca do końca listopada), wystąpiły w latach 2004–2005. Nieco krótszym okresem suszy, trwającym od trzeciej dekady marca do początku września, charakteryzował się 2008 rok. W 2006 roku pierwszy okres suszy rozpoczął się pod koniec marca i zakończył się w pierwszej dekadzie maja, a drugi był zdecydowanie dłuższy i trwał od trzeciej dekady maja do końca października. Najbardziej zróżnicowane warunki wilgotnościowe panowały w 2007 roku, kiedy to



okresy suszy i posuchy w czasie wegetacji występowały naprzemiennie z okresami o opadach wysokości nawet 45 mm. W roku tym, jedynym spośród lat badań, suma opadów była wyższa od średniej wieloletniej, w pozostałych latach sumy opadów były zdecydowanie (nawet do 200 mm) niższe niż w wieloleciu 1961–2000 (tabela 4).



## 5. Wyniki i ich omówienie

### 5.1. Przyrosty pędów

Przeprowadzone badania wskazują na zróżnicowanie przyrostów i liczby pędów w zależności od stanowiska uprawy i roku prowadzenia obserwacji. Wyniki pomiarów biometrycznych pędów oraz obliczeń statystycznych wykazują, że na różnice w przyrostach istotnie wpływała zastosowana kombinacja podłoża (tabela 6, rys. 3–5).

Średnia średnica nasady pnia, w zależności od sposobu przygotowania podłoża, osiągała najmniejszą wartość – 12,14 mm – u drzew rosnących na stanowisku kontrolnym z czystym popiołem (p0), a największą – 30,17 mm – u roślin rosnących na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2). Na średnicę nasady pnia oddziaływał rodzaj nadkładu. Obliczenia statystyczne wykazały brak istotnych różnic w zależności od wykorzystanego podkładu oraz istotne różnice w zależności od zastosowanego nadkładu i od interakcji między podkładem i nadkładem (tabela 6).

Tabela 6. Średnie arytmetyczne wartości przyrostów dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008

Podkład (P)	Nadkład (N)	Średnica nasady pnia (mm)	Wysokość roślin (cm)	Liczba pędów bocznych (szt.)	Długość przyrostu rocznego (cm)							
p0	0	12,14	86,50	3,38	3,74							
p1	1	14,34	82,42	6,80	4,92							
p2	2	25,16	120,42	9,02	12,84							
p3	3	23,10	109,00	7,30	7,12							
p4	4	20,34	103,62	7,14	6,18							
p5	5	23,30	116,82	9,38	7,36							
$\bar{x}_{p1-p5}$		21,25	106,46	7,93	7,68							
p+1	1	18,50	105,66	7,66	5,06							
p+2	2	30,17	140,60	10,96	11,62							
p+3	3	18,02	87,64	5,18	6,56							
p+4	4	22,78	105,28	8,86	7,46							
p+5	5	19,08	85,10	5,88	4,94							
$\bar{x}_{p+1-p+5}$		21,71	104,86	7,74	7,22							
gr0	0	15,84	102,26	9,20	6,20							
NIR <sub>0,05</sub>	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N
	ns	2,07	3,15	ns	6,31	10,27	1,16	2,55	3,17	0,37	0,85	1,12

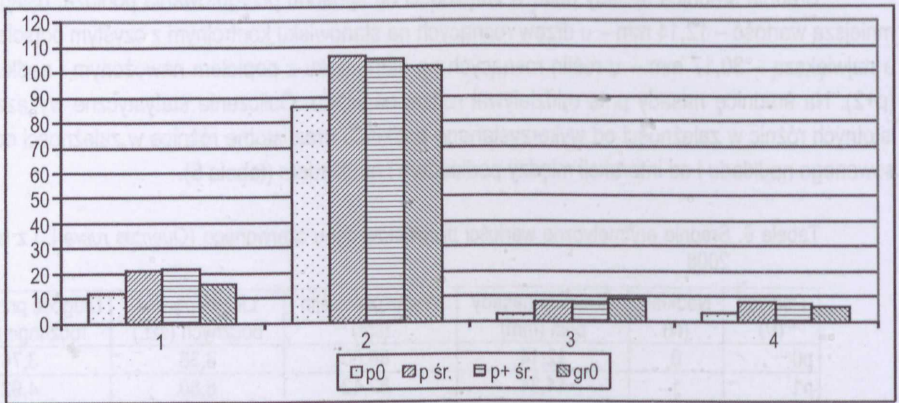
Średnia wysokość roślin po pięciu latach badań osiągnęła najniższe wartości – 82,42 cm – na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1), a najwyższe – 140,60 cm – podobnie jak średnice pnia, na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2). Obliczenia statystyczne wykazały, że na zaobserwowane różnice istotny wpływ miały zastosowane nadkłady, a także interakcja podłoża i nadkładu. Nie da się jednak ich powiązać ze sposobem przygotowania podłoża (tabela 6).

Nawożenie podłoża popiołowego pełną dawką NPK wpłynęło na osiągnięcie 1,7 razy większej średnicy nasady pnia w porównaniu z drzewami rosnącymi na stanowisku kontrolnym, nienawożonym, utworzonym na popiele (p0) i niemal 1,4 razy większej w stosunku do drzew rosnących na obiekcie

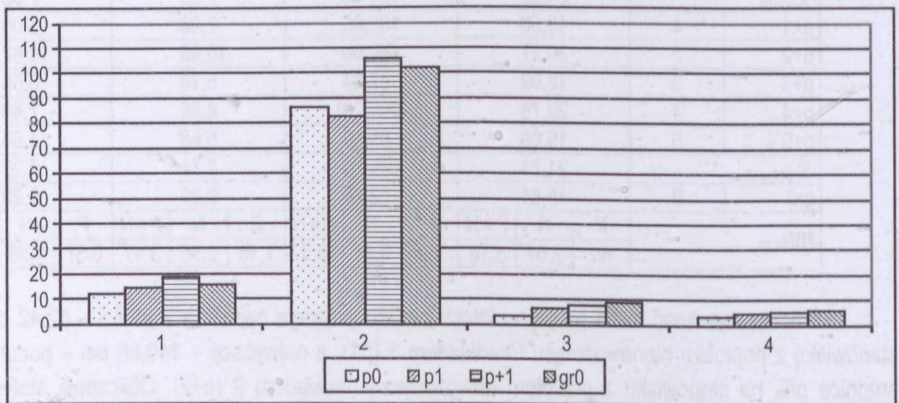


kontrolnym utworzonym na gruncie naturalnym z piasków aluwialnych (gr0). Wysokość roślin, liczba pędów oraz długość przyrostu rocznego u drzew rosnących na popiele nienawożonym były mniejsze o 20–50% niż roślin rosnących na pozostałych stanowiskach (rys. 3). Spośród nadkładów wykorzystanych w doświadczeniu największe różnice spowodował nadkład 2 (p+2), po którego zastosowaniu wysokość roślin była większa o prawie 40% niż roślin rosnących na stanowisku kontrolnym z popiołem nienawożonym (p0) – rys. 4.

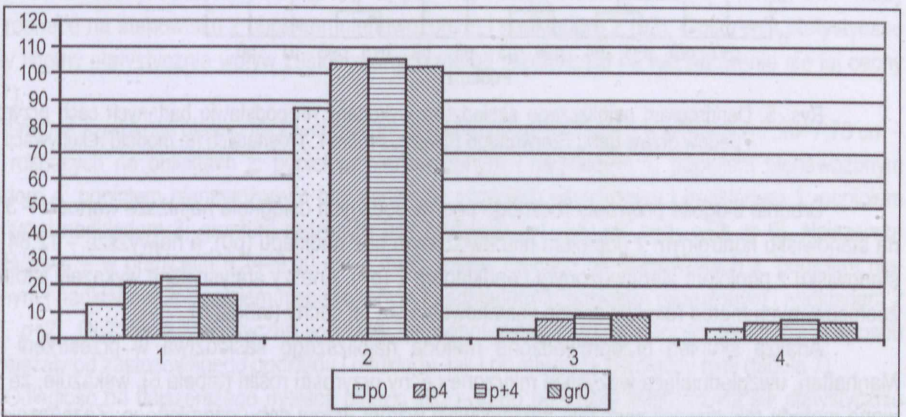
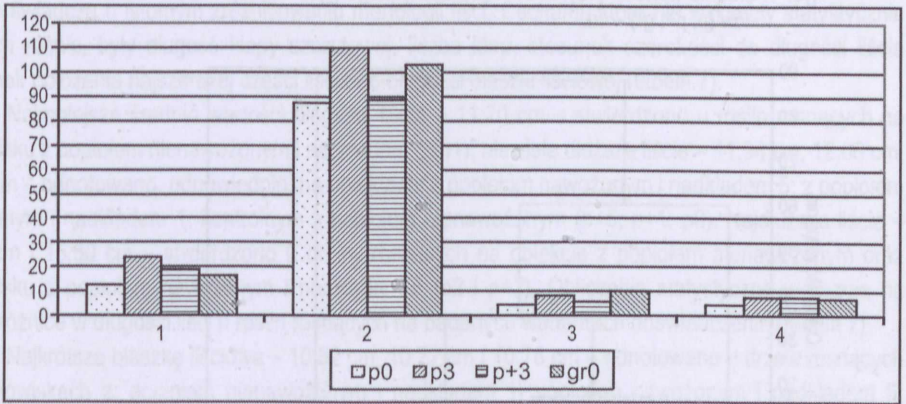
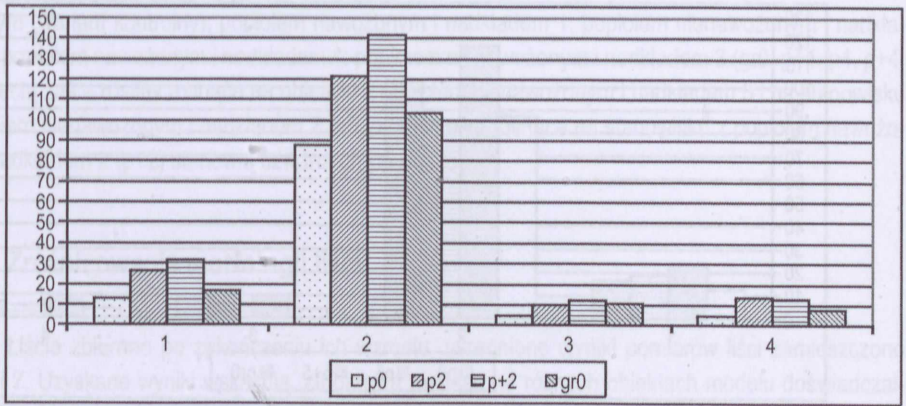
Najmniejszą liczbę pędów bocznych – średnio 3,38 sztuk – stwierdzono u roślin rosnących na obiekcie kontrolnym z popiołem nienawożonym bez nadkładu (p0), a największą – średnio 10,96 sztuk – podobnie jak w wyżej opisywanych przypadkach na stanowisku p+2. Analizy statystyczne wykazały, że we wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach zróżnicowanie tej cechy było istotne (tabela 6).



Rys. 3. Średnie wartości przyrostów dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla podkładów (p, p+, gr): 1 – średnica nasady pnia (mm), 2 – wysokość roślin (cm), 3 – liczba pędów bocznych (szt.), 4 – długość przyrostu rocznego (cm); oznaczenia jak w metodach

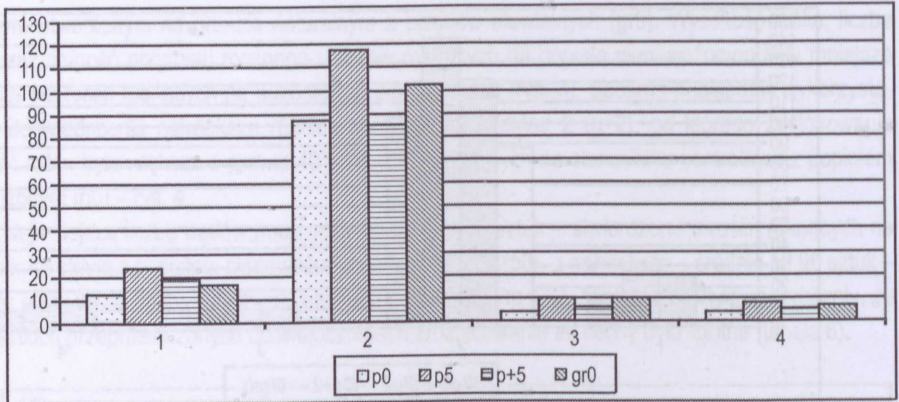


Rys. 4. Średnie wartości przyrostów dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla nadkładów (p, p+, gr): 1 – średnica nasady pnia (mm), 2 – wysokość roślin (cm), 3 – liczba pędów bocznych (szt.), 4 – długość przyrostu rocznego (cm); oznaczenia jak w metodach

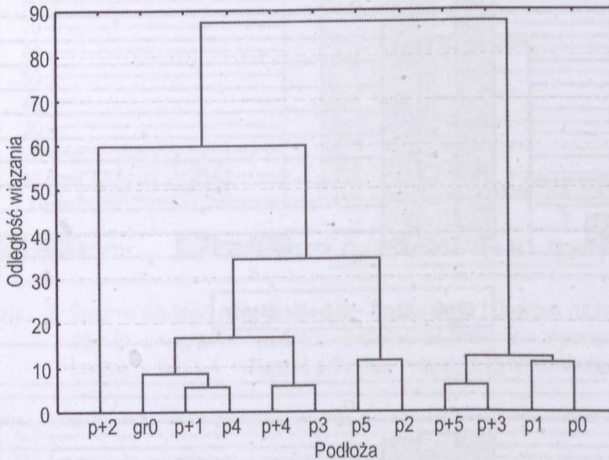


Rys. 4. Średnie wartości przyrostów dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla nadkła-  
dów (p, p+, gr) – cd.





Rys. 4. Średnie wartości przyrostów dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla nadkładów (p, p+, gr) – cd.



Rys. 5. Dendrogram najbliższego sąsiedztwa wykonany na podstawie badanych cech przyrostu pnia i pędów drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji

Średnia długość przyrostu rocznego pędów bocznych osiągnęła najniższe wartości – 3,74 cm – na stanowisku kontrolnym z popiołem nienawożonym bez nadkładu (p0), a najwyższe – 12,84 cm – na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2). Analizy statystyczne wykazały istotny wpływ zastosowanych metod rekultywacji na kształtowanie się tej cechy (tabela 6).

Analiza skupień przeprowadzona metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan, uwzględniająca wszystkie mierzone cechy przyrostu roślin (tabela 6), wskazuje, że zastosowane metody rekultywacji wyraźnie zróżnicowały wzrost drzew dębu czerwonego. Zaznaczają się jednak cztery wyraźne grupy, w których drzewa osiągnęły zbliżone parametry wzrostu. Pierwszą grupę stanowią drzewa rosnące na stanowiskach z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym z nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p1, p+3, p+5). Analizując dane z tabeli 6, można zauważyć, że na tych stanowiskach odnotowano najniższe wartości przyrostu drzew. Drugą grupę stanowią drzewa rosnące na stanowiskach z: gruntem

rodzimy (wariant kontrolny); popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 4; popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (gr0, p+1, p4, p+4, p3), trzecią zaś – rośliny rosnące na obiekcie z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 i na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p5, p2). Drzewa rosnące na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2) stanowią czwartą grupę (rys. 5).

## 5.2. Zróznicowanie morfologii liści

Liście zbierano po zakończeniu ich wzrostu, uśrednione wyniki pomiarów liści zamieszczono w tabeli 7. Uzyskane wyniki wskazują, że drzewa rosnące na różnych obiektach modelu doświadczalnego charakteryzowały się dużym zróznicowaniem form liści (tabela 7, rys. 6–7), a obliczenia statystyczne świadczą o istotnym zróznicowaniu morfologii liści. Cechami, które nie wykazały statystycznie istotnych różnic, były długość kłapy szczytowej, liczba kłap, stosunek szerokości do długości liścia i stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej (tabela 7).

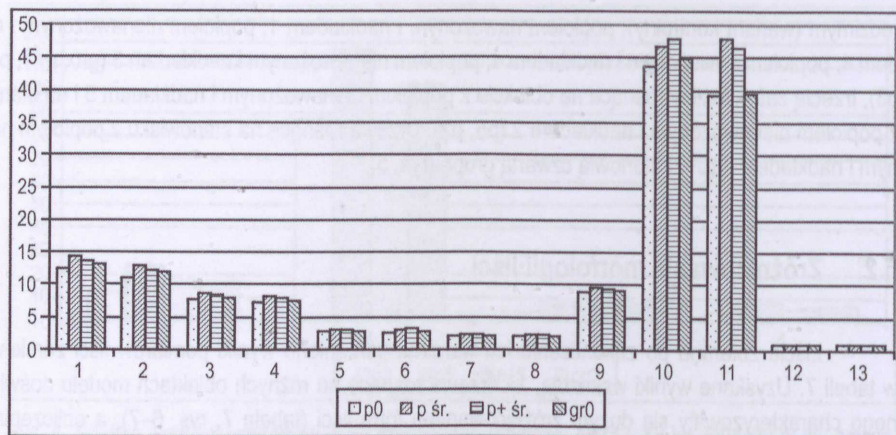
Najmniejsze średnie wartości długości liścia – 11,70 cm – stwierdzono u roślin rosnących na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1), niewiele dłuższe liście – 11,94 cm, 12,06 cm, 12,10 cm – odnotowano, odpowiednio, na obiektach: z popiołem nawożonym i nadkładem 5; z popiołem nawożonym i nadkładem 1; kontrolnym z popiołem nienawożonym (p+5, p+1, p0). Najdłuższe liście – 15,84 cm i 15,50 cm – stwierdzono u drzew rosnących na obiekcie z popiołem nienawożonym oraz stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2 i p+2). Obliczenia statystyczne wskazują na istotne różnice w długości liści u roślin rosnących na badanych wariantach doświadczenia (tabela 7).

Najkrótszą blaszkę liściową – 10,52 cm, 10,72 cm i 10,78 cm – odnotowano u drzew rosnących na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 5; popiołem nienawożonym bez nadkładu (p1, p+5, p0). Najdłuższą blaszkę liściową – 14,08 cm – miały drzewa rosnące na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2). Obliczenia statystyczne wykazały istotny statystycznie wpływ zastosowanych metod rekultywacji na kształtowanie się tej cechy (tabela 7).

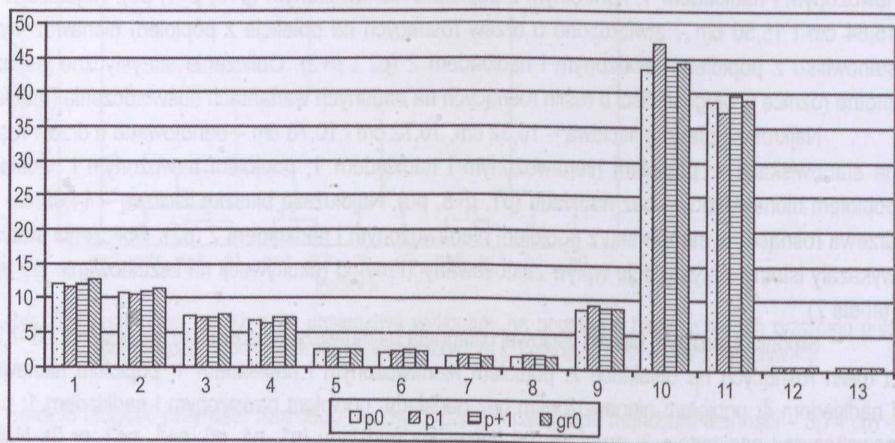
Średnia szerokość blaszki liściowej osiągnęła najmniejsze wartości – w granicach 7,26–7,78 cm – u roślin rosnących na obiektach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 4; popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 3; gruntem rodzimym bez nadkładu (p1, p4, p0, p+1, p+3, gr 0). Najszerze blaszki liściowe – w granicach 9,24–9,90 cm – miały rośliny rosnące na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p 2, p3, p+2). Obliczenia statystyczne wykazały, że odnotowane różnice wartości tej cechy w sposób istotny zależały od zastosowanego podkładu i nadkładu, jak i od interakcji pomiędzy nimi (tabela 7).

Odległość od najszerszego miejsca blaszki liściowej do podstawy liścia różniła się statystycznie istotnie u roślin z poszczególnych wariantów doświadczenia. Najmniejszą średnią odległość stwierdzono u roślin rosnących na stanowiskach z: popiołem nawożonym i nadkładem 5; popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p+5, p0, p1). Największą odległość odnotowano na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 oraz na obiekcie z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2, p+2) – tabela 7.





Rys. 6. Średnie wartości cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla podkładów (p, p+, gr): 1 – długość liścia (cm), 2 – długość blaszki liściowej (cm), 3 – szerokość blaszki liściowej (cm), 4 – odległość od najszerszego miejsca blaszki liściowej do podstawy (cm), 5 – szerokość kłap bocznych (cm), 6 – długość kłapy bocznej (cm), 7 – szerokość kłapy szczytowej (cm), 8 – długość kłapy szczytowej (cm), 9 – liczba kłap (szt.), 10 – kąt podstawy blaszki liściowej ( $^{\circ}$ ), 11 – powierzchnia blaszki liściowej (cm $^2$ ), 12 – stosunek szerokości do długości liścia, 13 – stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej; oznaczenia jak w metodach



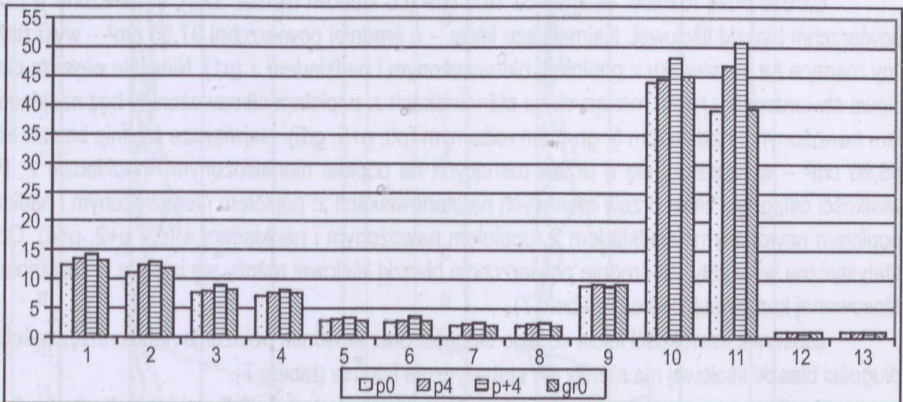
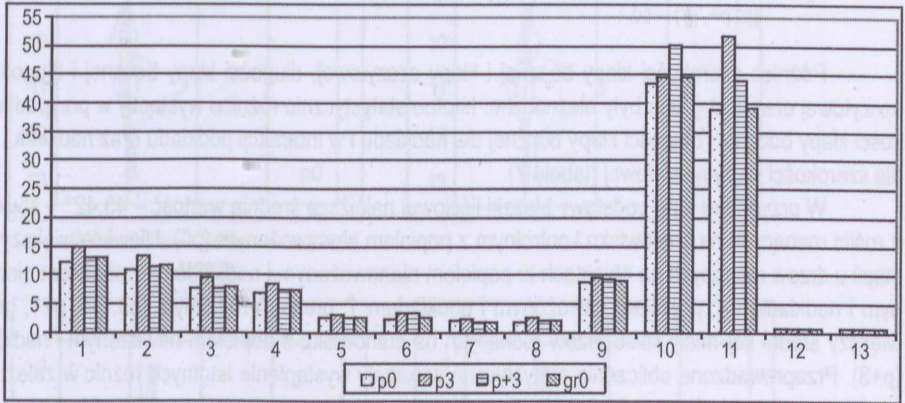
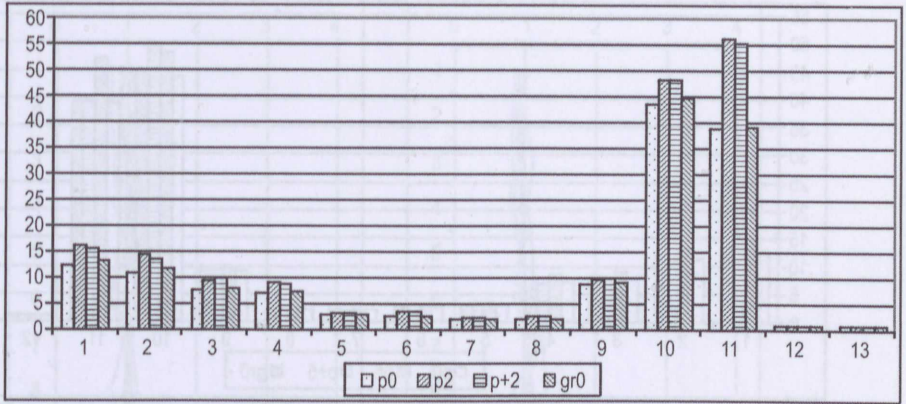
Rys. 7. Średnie wartości cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla podkładów (p, p+, gr): 1 – długość liścia (cm), 2 – długość blaszki liściowej (cm), 3 – szerokość blaszki liściowej (cm), 4 – odległość od najszerszego miejsca blaszki liściowej do podstawy (cm), 5 – szerokość kłap bocznych (cm), 6 – długość kłapy bocznej (cm), 7 – szerokość kłapy szczytowej (cm), 8 – długość kłapy szczytowej (cm), 9 – liczba kłap (szt.), 10 – kąt podstawy blaszki liściowej ( $^{\circ}$ ), 11 – powierzchnia blaszki liściowej (cm $^2$ ), 12 – stosunek szerokości do długości liścia, 13 – stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej; oznaczenia jak w metodach



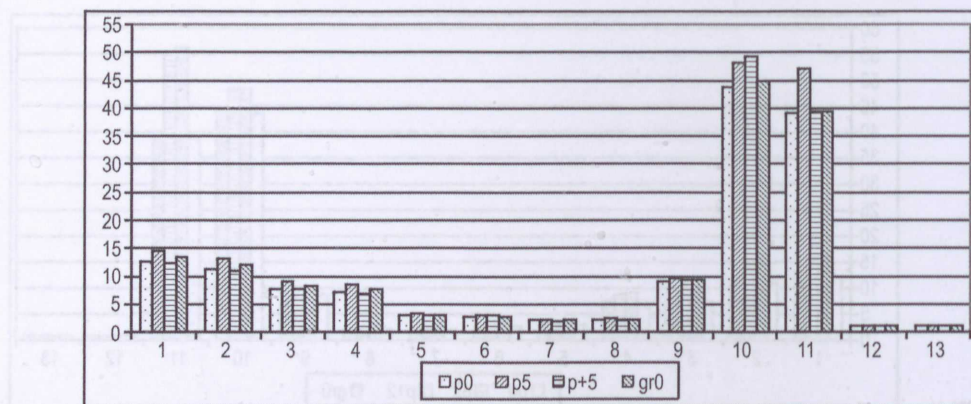
Tabela 7. Średnie arytmetyczne cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008

Podkład (P)	Nadkład (N)	Długość liścia (cm)			Długość blaszki liściowej (cm)			Szerokość blaszki liściowej (cm)			Odległość od podstawy do najszerszego miejsca blaszki liściowej (cm)			Szerokość klap bocznych (cm)			Długość klapy bocznej (cm)			Szerokość klapy szczytowej (cm)			Długość klapy szczytowej (cm)			Liczba klap (szt.)			Kąt podstawy blaszki liściowej (°)			Powierzchnia blaszki liściowej (cm <sup>2</sup> )			Stosunek szerokości do długości liścia			Stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej		
		P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N			
p	0	12,10	10,78	7,44	6,86	2,58	2,32	1,80	1,78	8,72	43,42	38,78	0,69	0,64																										
p	1	11,70	10,52	7,26	6,50	2,56	2,38	2,02	1,90	9,18	47,26	37,36	0,70	0,62																										
p	2	15,84	14,08	9,24	9,02	3,02	3,30	2,22	2,40	9,52	48,10	55,90	0,65	0,64																										
p	3	14,80	13,20	9,32	8,38	2,94	3,22	2,18	2,36	9,40	44,48	51,74	0,70	0,64																										
p	4	13,26	12,10	7,68	7,32	2,82	2,66	2,12	2,00	9,00	43,94	46,36	0,63	0,61																										
p	5	14,08	12,72	8,64	8,06	2,88	2,66	1,90	2,06	9,24	47,70	46,64	0,68	0,63																										
$\bar{x}_{p1-p5}$		13,94	12,52	8,43	7,86	2,84	2,84	2,09	2,14	9,27	46,30	47,60	0,67	0,63																										
p+	1	12,06	11,04	7,32	7,20	2,74	2,58	1,96	1,98	8,80	43,92	40,04	0,70	0,69																										
p+	2	15,50	13,32	9,90	8,70	3,14	3,22	2,08	2,30	9,76	47,96	55,22	0,74	0,65																										
p+	3	12,88	11,42	7,64	7,30	2,56	3,14	1,74	1,90	9,24	50,02	43,92	0,69	0,64																										
p+	4	14,04	12,52	8,54	7,86	3,04	3,34	2,20	2,30	8,72	47,70	50,44	0,68	0,62																										
p+	5	11,94	10,72	7,28	6,44	2,58	2,68	1,68	1,78	9,04	48,78	39,06	0,68	0,61																										
$\bar{x}_{p+1-p+5}$		13,40	11,92	8,18	7,56	2,82	2,97	1,96	2,07	9,14	47,45	46,05	0,69	0,64																										
gr	0	12,92	11,58	7,78	7,24	2,60	2,50	1,78	1,82	8,86	44,48	38,98	0,67	0,63																										
NIR <sub>0,05</sub>		0,61	1,07	1,81	0,58	0,74	1,56	0,72	0,50	1,08	0,45	0,81	1,08	ns	0,23	0,36	ns	0,33	0,48	0,08	0,12	0,15	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2,07	2,15	2,67	2,16	2,88	3,43	ns	ns	ns	ns	ns	ns





Rys. 7. Średnie wartości cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla podkładów (p, p+, gr) – cd.



Rys. 7. Średnie wartości cech liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) z lat 2004–2008 dla podkładów (p, p+, gr) – cd.

Różnice szerokości kłapy bocznej i kłapy szczytowej, długości kłapy bocznej i długości kłapy szczytowej oraz liczby kłap były nieznaczące. Istotne statystycznie różnice wystąpiły w przypadku szerokości kłapy bocznej i długości kłapy bocznej dla nadkładu i w interakcji podkładu oraz nadkładu, a także dla szerokości kłapy szczytowej (tabela 7).

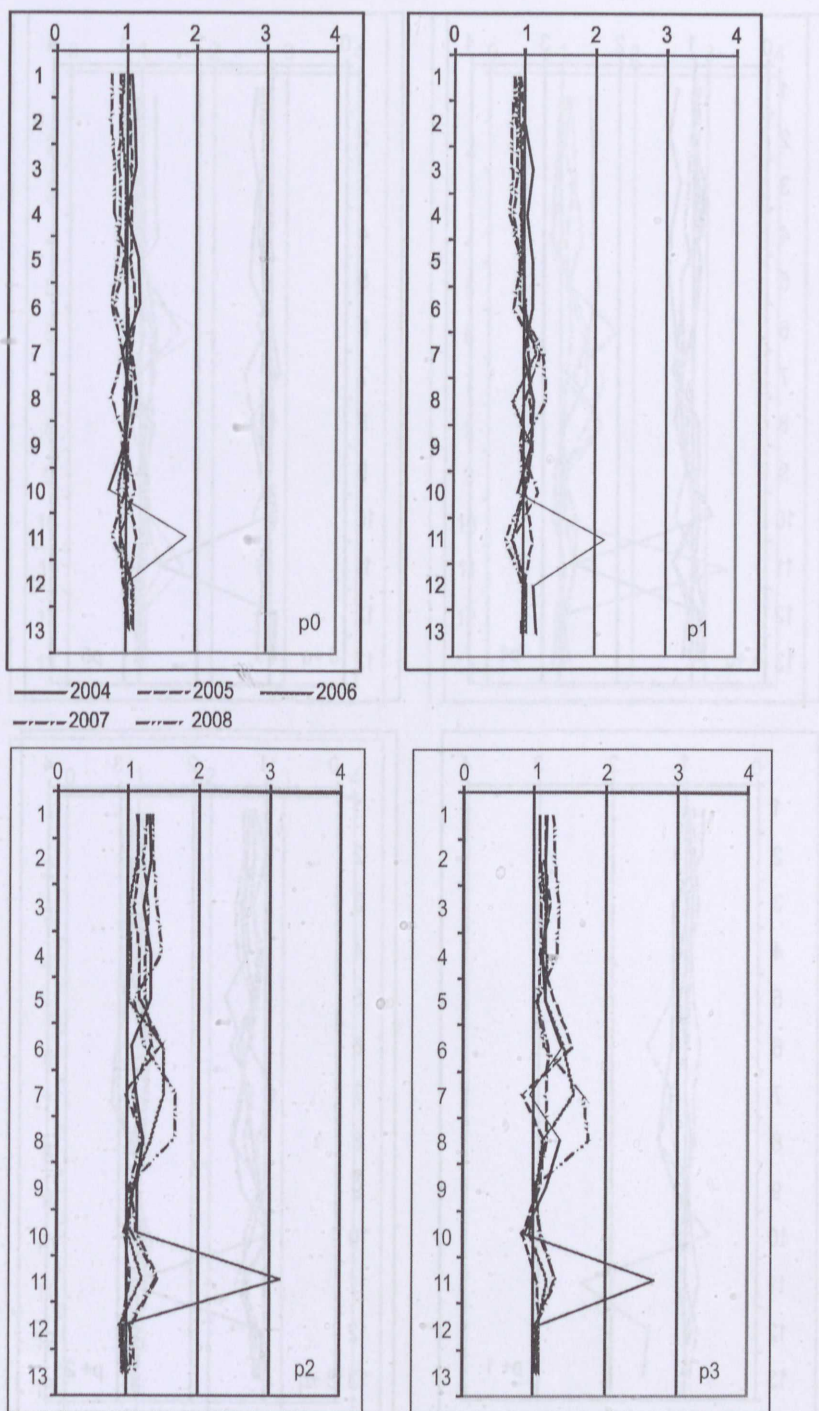
W przypadku kąta podstawy blaszki liściowej najniższą średnią wartość –  $43,42^\circ$  – stwierdzono u roślin rosnących na stanowisku kontrolnym z popiołem nienawożonym (p0). Niewiele większy kąt wystąpił u drzew rosnących na obiektach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nienawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 1; gruntem rodzimym (p3, p4, p+1, gr0). Największy średni kąt miały liście drzew rosnących na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p+3). Przeprowadzone obliczenia statystyczne wykazały wystąpienie istotnych różnic w zależności od zastosowanego układu podłoża (tabela 7).

Bardzo duże różnice, osiągające  $18,5 \text{ cm}^2$  (co stanowi niemal 50%), stwierdzono w przypadku powierzchni blaszki liściowej. Najmniejsze liście – o średniej powierzchni  $37,36 \text{ cm}^2$  – wykształciły rośliny rosnące na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1). Niewiele większe blaszki liściowe stwierdzono u roślin rosnących na stanowiskach z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 5; gruntem rodzimym (p0, p+5, gr0). Największe średnie blaszki liściowe –  $55,90 \text{ cm}^2$  – wykształciły się u drzew rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 2. Podobne wielkości osiągnęły liście drzew rosnących na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p3, p+2, p+4). Obliczenia statystyczne wykazały, że średnie powierzchnie blaszki liściowej różniły się istotnie w zależności od zastosowanej kombinacji podłoża (tabela 7).

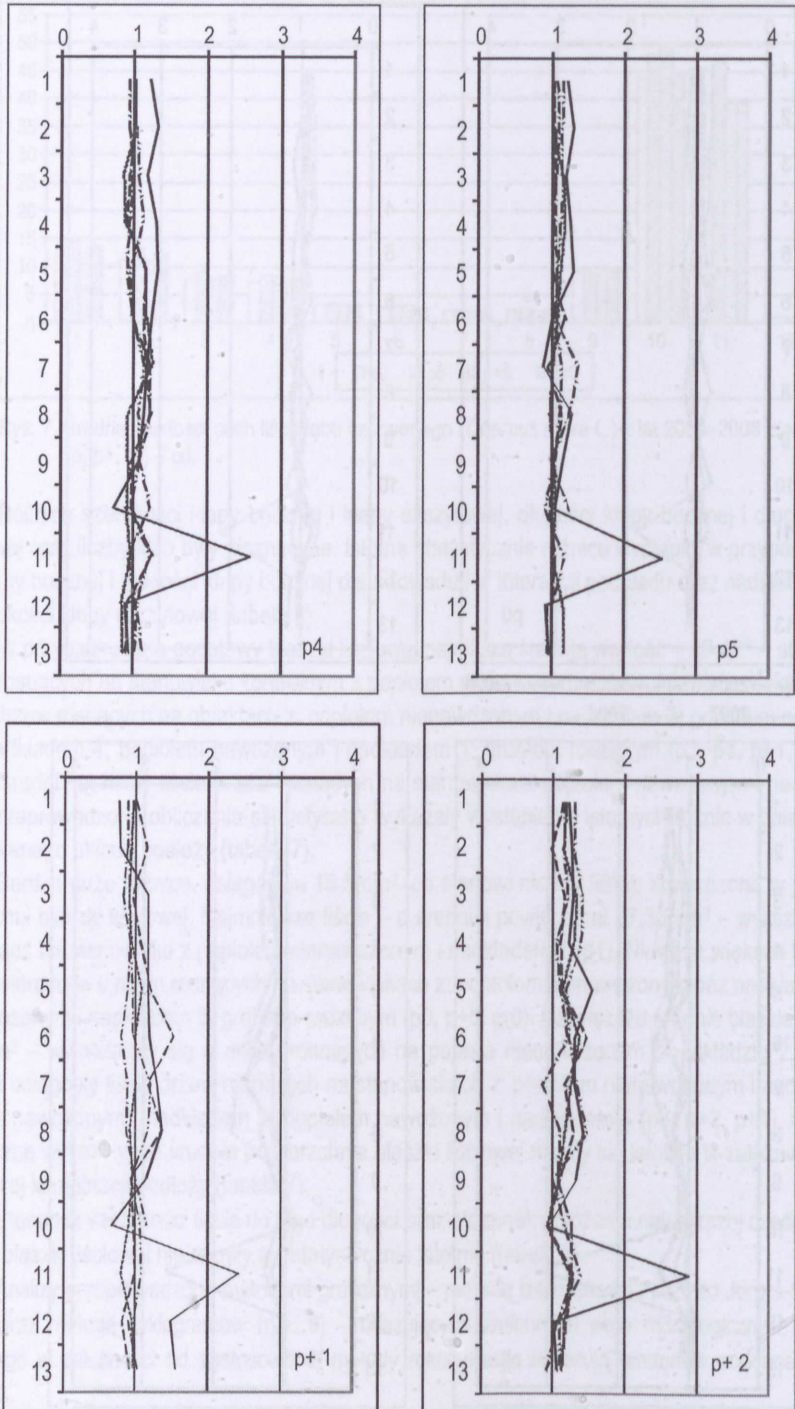
Stosunek szerokości liścia do jego długości oraz stosunek położenia najszerzej części liścia do długości blaszki liściowej nie różniły się statystycznie istotnie (tabela 7).

Analizy przeprowadzone metodami graficznymi – metodą linii wielkości i kształtu Jentys-Szaferowej (rys. 8) oraz metodą cyklogramów (rys. 9) – ukazującymi zmienność cech morfologicznych liści dębu czerwonego w zależności od zastosowanej metody rekultywacji, wskazują tendencje podobne do wyżej opisanych.



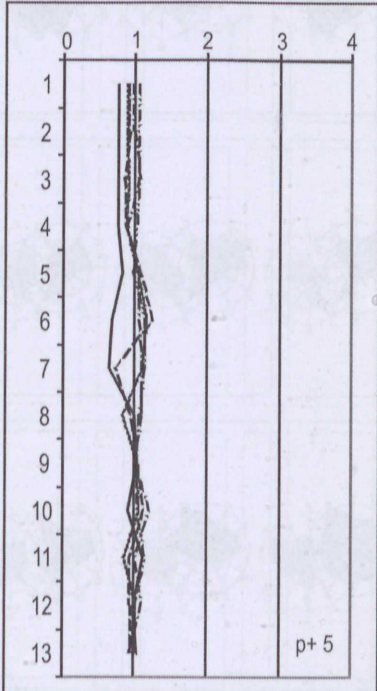
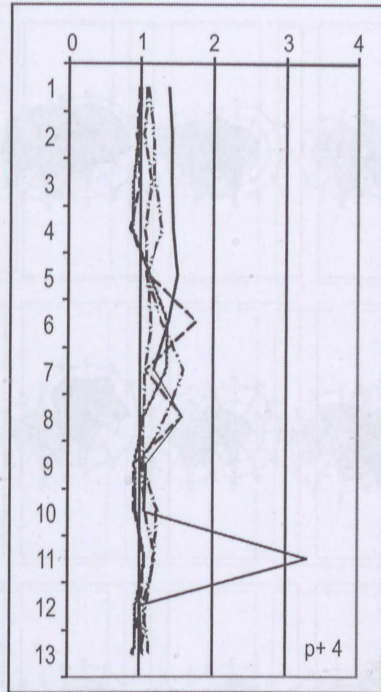
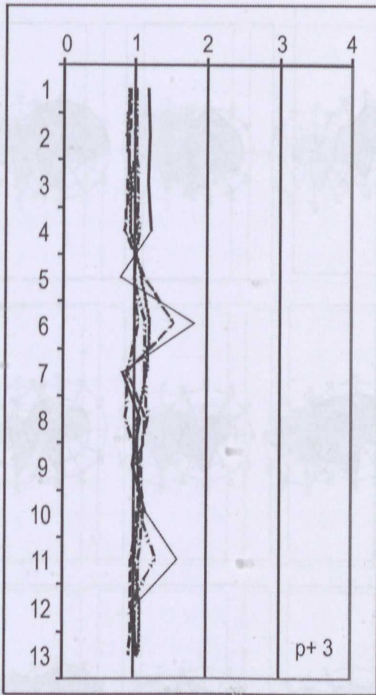


Rys. 8. Linie wielkości i kształtu liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji; oznaczenia cech 1–13 jak w tabeli 1.

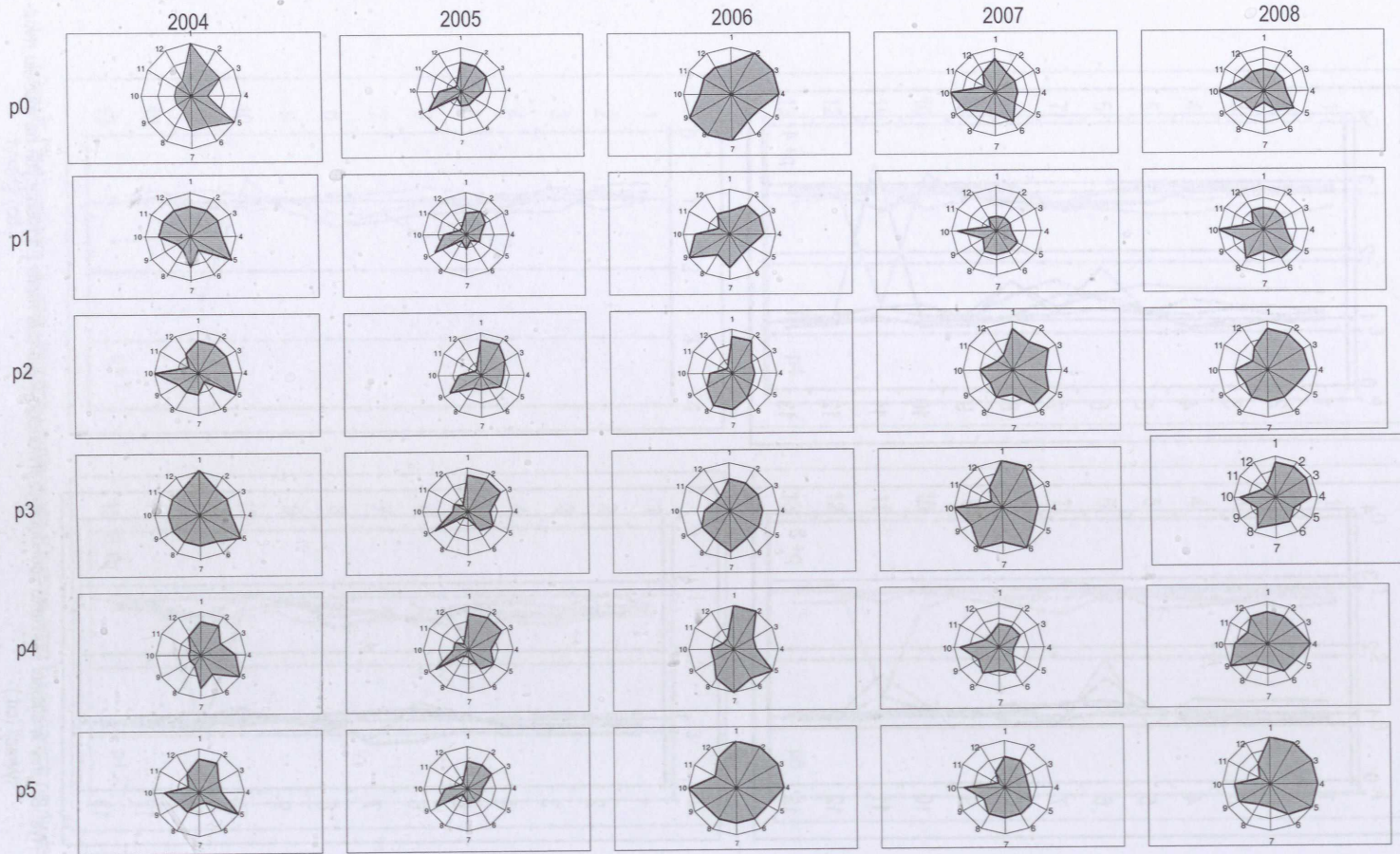


Rys. 8. Linie wielkości i kształtu liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji (cd.)



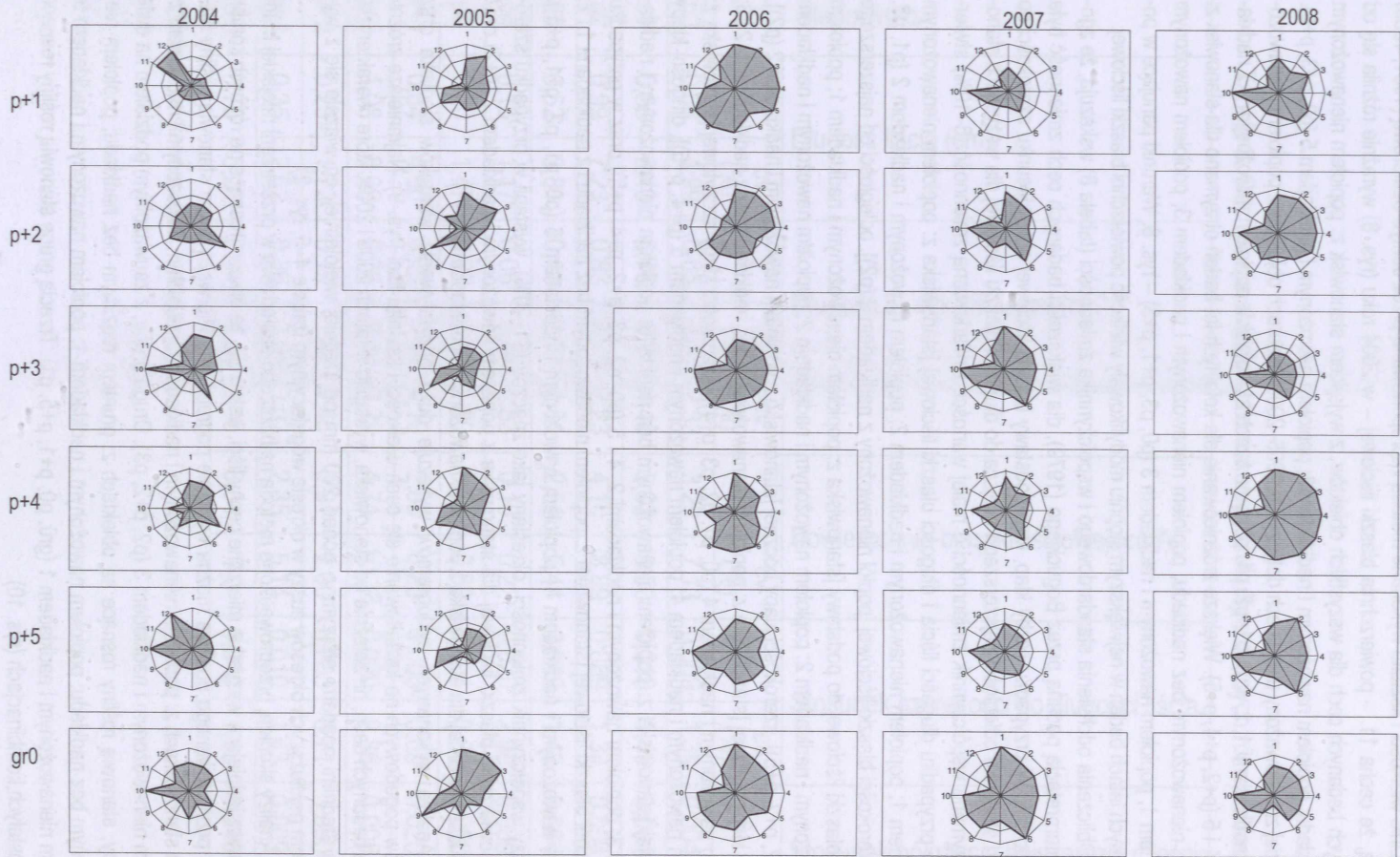


Rys. 8. Linie wielkości i kształtu liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji (cd.)



Rys. 9. Cyklogramy oceny parametrycznej zmienności liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami; oznaczenia jak w tabeli 1





Rys. 9. Cyklogramy oceny parametrycznej zmienności liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami (cd.)

Linie wielkości i kształtu wykonane metodą zaproponowaną przez Jentys-Szaferową (1951, 1959) wskazują, że cecha 11. – powierzchnia blaszki liściowej – w 2004 roku (rys. 8) wyraźnie różniła się od pozostałych badanych cech dla wszystkich obiektów, z wyjątkiem stanowisk z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p+3, p+5). Najbardziej zrównoważony układ cech dotyczył lat 2005–2008 i czterech obiektów z popiołem nienawożonym – z nadkładami 1, 2, 4, 5 (p1, p2, p4, p5) oraz trzech stanowisk z popiołem nawożonym – z nadkładami 2, 4 i 5 (p+2, p+4, p+5). Większe zróżnicowanie dla kolejnych lat badań otrzymano dla stanowisk z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p0, p3, p+1, p+3) – rys. 8. Warunki panujące w poszczególnych latach badań w największym stopniu modyfikowały wielkość powierzchni blaszki liściowej.

Obliczenia odchylenia standardowego i współczynnika zmienności (tabela 8) wskazują, że zgodnie z interpretacją podaną przez Boguckiego (1979), dla większości badanych cech zmienność była mała – do 5%. W przypadku liczby kłap, kąta podstawy blaszki liściowej oraz stosunku szerokości do długości i stosunku odległości najszerzego miejsca do długości blaszki liściowej dla wszystkich stanowisk otrzymano współczynnik zmienności o małej wartości. Umiarkowaną zmienność (6–10%) stwierdzono w przypadku długości liścia i długości blaszki liściowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p1, p2, p+2)], szerokości blaszki liściowej [popiół nienawożony z nadkładem 2 (p2)], odległości od najszerzego miejsca blaszki liściowej do podstawy [stanowiska z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p1, p2, p+2, p+5)], szerokości kłapy bocznej [stanowisko z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2)], długości kłapy bocznej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu oraz z nadkładami 1, 2 i 3; popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p0, p1, p2, p3, p+4)], szerokości kłapy szczytowej [stanowiska z: popiołem nawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p+4, p+5)], długości kłapy szczytowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładami 2 i 3; popiołem nawożonym i nadkładami 2, 4 i 5 (p0, p2, p3, p+2, p+4, p+5)] oraz w przypadku powierzchni blaszki liściowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu i z nadkładami 1 i 2; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p1, p2, p+1, p+5)]. Najwyższy współczynnik zmienności, określany jako znaczny (11–20%), wystąpił w przypadku szerokości i powierzchni blaszki liściowej dla stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2) oraz długości kłapy bocznej dla stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p+1).

Analiza wykonanych cyklogramów wykazuje duże oddziaływanie warunków siedliska oraz warunków pogodowych na kształtowanie się cech wielkości i kształtu liści (rys. 9). Najmniejsze zróżnicowanie badanych cech, niezależnie od stanowiska, wystąpiło w latach 2006 i 2008, które charakteryzowały się średnimi opadami niższymi o ponad 200 mm od średniej wieloletniej, co wiązało się z wystąpieniem najdłuższych okresów suszy w okresie wegetacyjnym (tabele 4–5, rys. 2).

Analizy skupień, przeprowadzone metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan, uwzględniające wszystkie mierzone cechy liści, wskazują, że drzewa rosnące na różnych kombinacjach przygotowanego podłoża można wyraźnie pogrupować. Pierwszą grupę stanowią rośliny rosnące na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2; popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (p2, p+2, p3). Drugą grupę, z zauważalnym podziałem na dwie podgrupy, stanowią rośliny rosnące na obiektach z: gruntem rodzimym bez nadkładu; popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 5; popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (gr0, p0, p+1, p+5, p1). Trzecią grupę stanowią rośliny rosnące na pozostałych kombinacjach (rys. 10).



Linie wielkości i kształtu wykonane metodą zaproponowaną przez Jentys-Szaferową (1951, 1959) wskazują, że cecha 11. – powierzchnia blaszki liściowej – w 2004 roku (rys. 8) wyraźnie różniła się od pozostałych badanych cech dla wszystkich obiektów, z wyjątkiem stanowisk z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p+3, p+5). Najbardziej zrównoważony układ cech dotyczył lat 2005–2008 i czterech obiektów z popiołem nienawożonym – z nadkładami 1, 2, 4, 5 (p1, p2, p4, p5) oraz trzech stanowisk z popiołem nawożonym – z nadkładami 2, 4 i 5 (p+2, p+4, p+5). Większe zróżnicowanie dla kolejnych lat badań otrzymano dla stanowisk z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p0, p3, p+1, p+3) – rys. 8. Warunki panujące w poszczególnych latach badań w największym stopniu modyfikowały wielkość powierzchni blaszki liściowej.

Obliczenia odchylenia standardowego i współczynnika zmienności (tabela 8) wskazują, że zgodnie z interpretacją podaną przez Boguckiego (1979), dla większości badanych cech zmienność była mała – do 5%. W przypadku liczby kłap, kąta podstawy blaszki liściowej oraz stosunku szerokości do długości i stosunku odległości najszerzego miejsca do długości blaszki liściowej dla wszystkich stanowisk otrzymano współczynnik zmienności o małej wartości. Umiarkowaną zmienność (6–10%) stwierdzono w przypadku długości liścia i długości blaszki liściowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p1, p2, p+2)], szerokości blaszki liściowej [popiół nienawożony z nadkładem 2 (p2)], odległości od najszerzego miejsca blaszki liściowej do podstawy [stanowiska z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p1, p2, p+2, p+5)], szerokości kłapy bocznej [stanowisko z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2)], długości kłapy bocznej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu oraz z nadkładami 1, 2 i 3; popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p0, p1, p2, p3, p+4)], szerokości kłapy szczytowej [stanowiska z: popiołem nawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p+4, p+5)], długości kłapy szczytowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładami 2 i 3; popiołem nawożonym i nadkładami 2, 4 i 5 (p0, p2, p3, p+2, p+4, p+5)] oraz w przypadku powierzchni blaszki liściowej [stanowiska z: popiołem nienawożonym bez nadkładu i z nadkładami 1 i 2; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p1, p2, p+1, p+5)]. Najwyższy współczynnik zmienności, określanej jako znaczny (11–20%), wystąpił w przypadku szerokości i powierzchni blaszki liściowej dla stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2) oraz długości kłapy bocznej dla stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p+1).

Analiza wykonanych cyklogramów wykazuje duże oddziaływanie warunków siedliska oraz warunków pogodowych na kształtowanie się cech wielkości i kształtu liści (rys. 9). Najmniejsze zróżnicowanie badanych cech, niezależnie od stanowiska, wystąpiło w latach 2006 i 2008, które charakteryzowały się średnimi opadami niższymi o ponad 200 mm od średniej wieloletniej, co wiązało się z wystąpieniem najdłuższych okresów suszy w okresie wegetacyjnym (tabele 4–5, rys. 2).

Analizy skupień, przeprowadzone metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan, uwzględniające wszystkie mierzone cechy liści, wskazują, że drzewa rosnące na różnych kombinacjach przygotowanego podłoża można wyraźnie pogrupować. Pierwszą grupę stanowią rośliny rosnące na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nawożonym i nadkładem 2; popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (p2, p+2, p3). Drugą grupę, z zauważalnym podziałem na dwie podgrupy, stanowią rośliny rosnące na obiektach z: gruntem rodzimym bez nadkładu; popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 5; popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (gr0, p0, p+1, p+5, p1). Trzecią grupę stanowią rośliny rosnące na pozostałych kombinacjach (rys. 10).

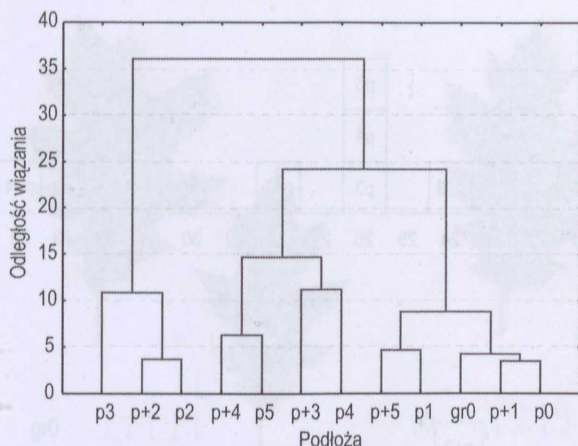


Tabela 8. Odchylenie standardowe i współczynnik zmienności parametrów liści drzew dębu czerwonego (*Quercus robur* L.) rosnących na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami

Stanowisko	Długość liścia (cm)		Długość blaszki liściowej (cm)		Szerokość blaszki liściowej (cm)		Odległość od podstawy liścia do najszerszego miejsca blaszki liściowej (cm)		Szerokość kłap bocznych (cm)		Długość kłapy bocznej (cm)		Szerokość kłapy szczytowej (cm)		Długość kłapy szczytowej (cm)		Liczba kłap (szt.)		Kąt podstawy blaszki liściowej (°)		Powierzchnia blaszki liściowej (cm <sup>2</sup> )		Stosunek szerokości do długości liścia		Stosunek położenia najszerszej części liścia do długości blaszki liściowej	
	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)	s	CV (%)
p0	0,68	4,99	0,65	5,31	0,37	4,48	0,37	4,81	0,10	3,57	0,20	7,25	0,11	5,39	0,13	6,25	0,2	2,18	1,07	2,33	3,29	7,13	0,009	1,34	0,004	0,63
p1	0,86	6,43	0,76	6,21	0,45	5,45	0,53	6,89	0,12	4,28	0,17	6,16	0,009	0,44	0,08	3,85	0,00	0,00	0,64	1,40	3,92	8,50	0,010	1,49	0,004	0,63
p2	0,99	7,23	0,83	6,79	0,44	5,69	0,59	7,67	0,10	3,57	0,24	8,69	0,08	3,92	0,14	6,73	0,15	1,63	1,02	2,23	4,10	8,89	0,009	1,34	0,004	0,63
p3	0,52	3,81	0,43	3,51	0,47	3,15	0,31	4,03	0,06	2,14	0,21	7,61	0,06	2,94	0,12	5,77	0,10	1,09	0,60	1,31	2,51	5,44	0,010	1,49	0,004	0,63
p4	0,16	1,17	0,06	0,49	0,26	3,15	0,16	2,08	0,09	0,32	0,04	1,45	0,03	1,47	0,03	1,44	0,08	0,87	0,84	1,83	0,10	0,22	0,020	2,98	0,009	1,43
p5	0,20	1,47	0,22	1,80	0,17	2,06	0,16	2,08	0,04	1,43	0,04	1,45	0,06	2,94	0,009	0,43	0,03	0,33	0,84	1,83	0,23	0,50	0,004	0,60	0,000	0,00
p+1	0,64	4,80	0,43	3,64	0,09	1,10	0,15	2,00	0,03	1,07	0,50	16,72	0,01	0,52	0,03	1,46	0,15	1,65	2,00	4,19	2,85	6,23	0,000	0,00	0,020	3,12
p+2	1,08	8,09	0,76	6,44	0,88	10,81	0,60	8,00	0,16	5,70	0,11	3,68	0,07	3,63	0,12	5,85	0,32	3,51	0,14	0,29	4,74	10,36	0,020	2,86	0,005	0,78
p+3	0,23	1,72	0,19	1,61	0,25	3,07	0,10	1,33	0,12	4,27	0,07	2,34	0,09	4,66	0,07	3,41	0,06	0,66	1,17	2,45	0,91	2,00	0,005	0,71	0,000	0,00
p+4	0,35	2,62	0,36	3,05	0,20	2,46	0,18	2,40	0,11	3,91	0,17	5,68	0,13	6,73	0,12	5,85	0,19	2,08	0,01	0,02	2,35	5,14	0,010	1,43	0,009	1,41
p+5	0,70	5,20	0,54	4,58	0,43	5,28	0,53	7,07	0,11	3,91	0,15	5,02	0,12	6,22	0,13	6,34	0,03	0,33	0,55	1,15	3,34	7,3	0,010	1,43	0,010	1,56

s – odchylenie standardowe, cv – współczynnik zmienności.



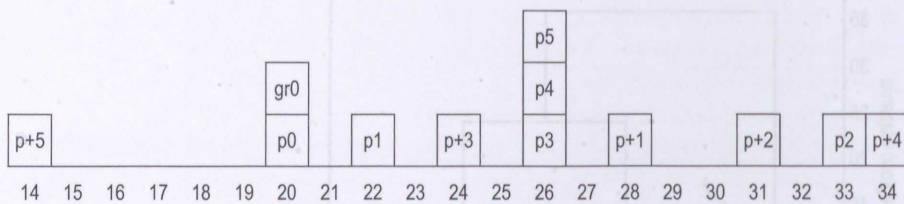


Rys. 10. Dendrogram najbliższego sąsiedztwa wykonany na podstawie badanych cech liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji

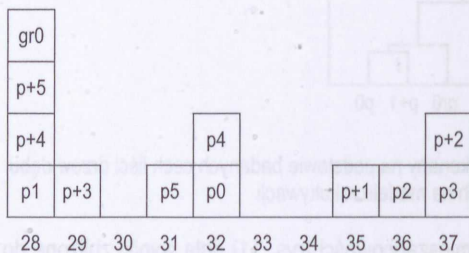
Analiza parametryczna metodą wskaźników mieszańcowości (rys. 11) dała wyniki zbliżone do przedstawionych powyżej. Drzewa rosnące na poszczególnych stanowiskach można uszeregować w kilka grup. Najbardziej zbliżonymi cechami liści w latach 2005, 2006, 2008 charakteryzowały się rośliny rosnące na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 2; popiołem nienawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2, p3 i p+2); popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p0, p1, p+1). W latach 2006, 2007 i 2008 były to dwa stanowiska z popiołem nienawożonym – jedno z nadkładem 4, a drugie z nadkładem 5, a w latach 2004, 2005 i 2008 obiekt z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p4, p5, p+3). Wykonana analiza wskazuje, że na cechy wielkości i kształtu liści miał wpływ przede wszystkim sposób przygotowania nadkładu (rys. 12).

Analizy skupień, przeprowadzone metodą najbliższego sąsiedztwa w przestrzeni miejskiej Manhattan (rys. 13), uwzględniające badane cechy przyrostu pnia i pędów oraz cechy liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra*) rosnących na modelu rekultywacji, wskazują, że drzewa występujące na różnych kombinacjach przygotowanego podłoża można pogrupować. Jedną, wyraźnie odrębną grupę stanowią drzewa rosnące na obiekcie z popiołem nienawożonym oraz stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2 i p+2). Rośliny rosnące na pozostałych stanowiskach stanowią drugą grupę, którą dzieli się na dwie podgrupy. Jedną stanowią rośliny rosnące na obiektach z: popiołem nienawożonym bez nadkładu; popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nawożonym i nadkładem 3; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p0, p1, p+3 i p+5). Drugą, podzieloną na kolejne podgrupy, stanowią rośliny rosnące na: gruncie rodzimym bez nadkładu; popiele nawożonym i nadkładzie 1; popiele nienawożonym i nadkładzie 4; popiele nawożonym i nadkładzie 4; popiele nienawożonym i nadkładzie 3; popiele nienawożonym i nadkładzie 5 (gr0, p+1, p4, p+4, p3 i p5). Uzyskane grupy wskazują, że drzewa rosnące na wymienionych stanowiskach reagują podobnie na sposób przygotowania podłoża, osiągając zbliżone parametry wzrostu. Pozwoli to na ograniczenie w przyszłości liczby kombinacji i wybór układu umożliwiającego uzyskanie zadowalających wyników wzrostu z uwzględnieniem rachunku ekonomicznego przygotowania podłoża.

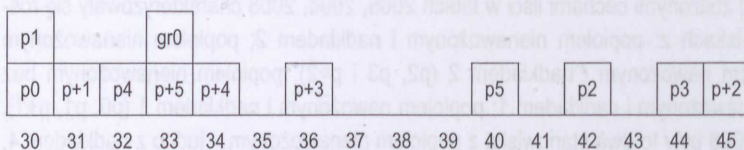
Rok 2004



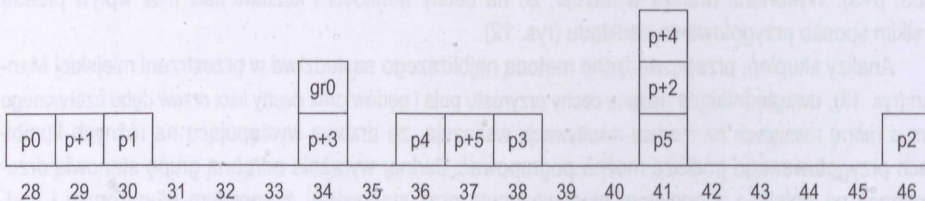
Rok 2005



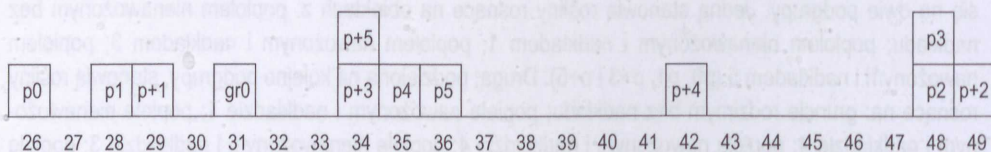
Rok 2006



Rok 2007

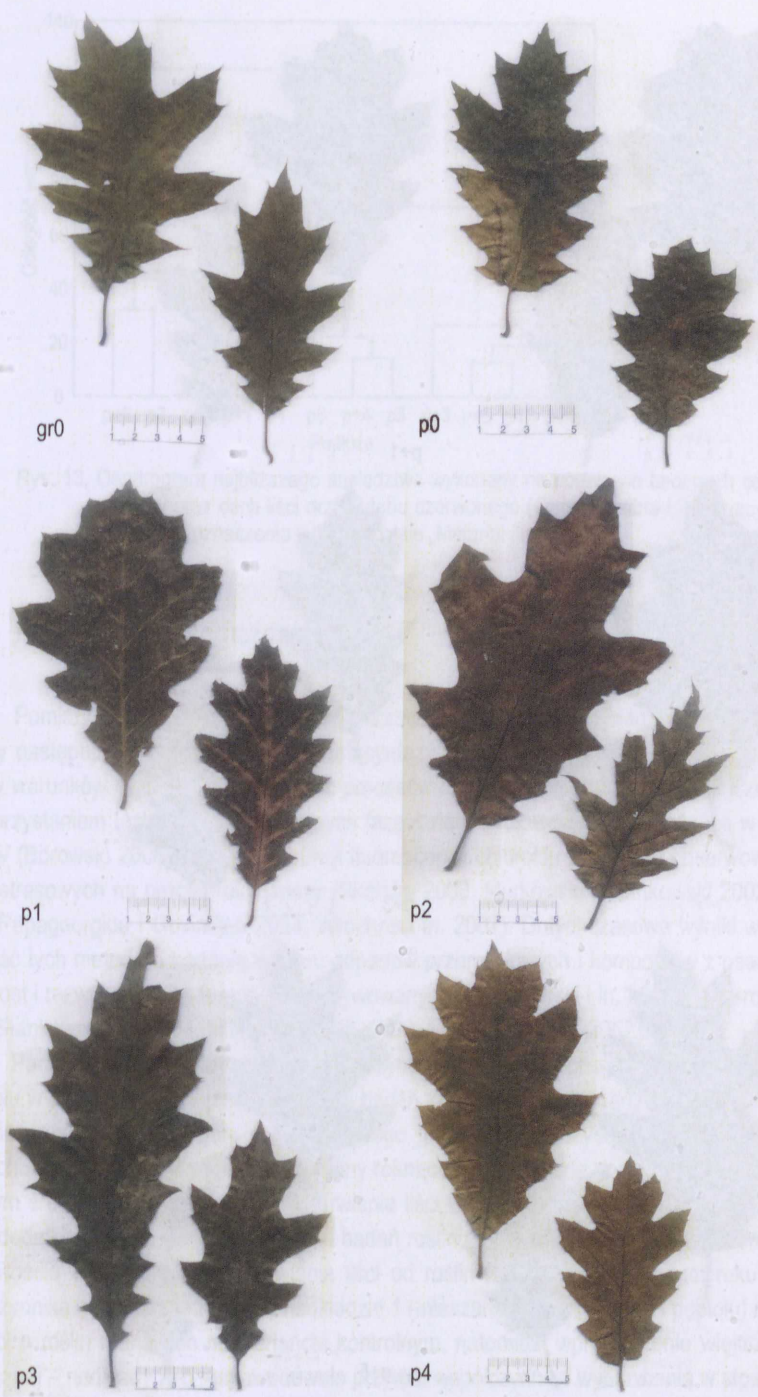


Rok 2008

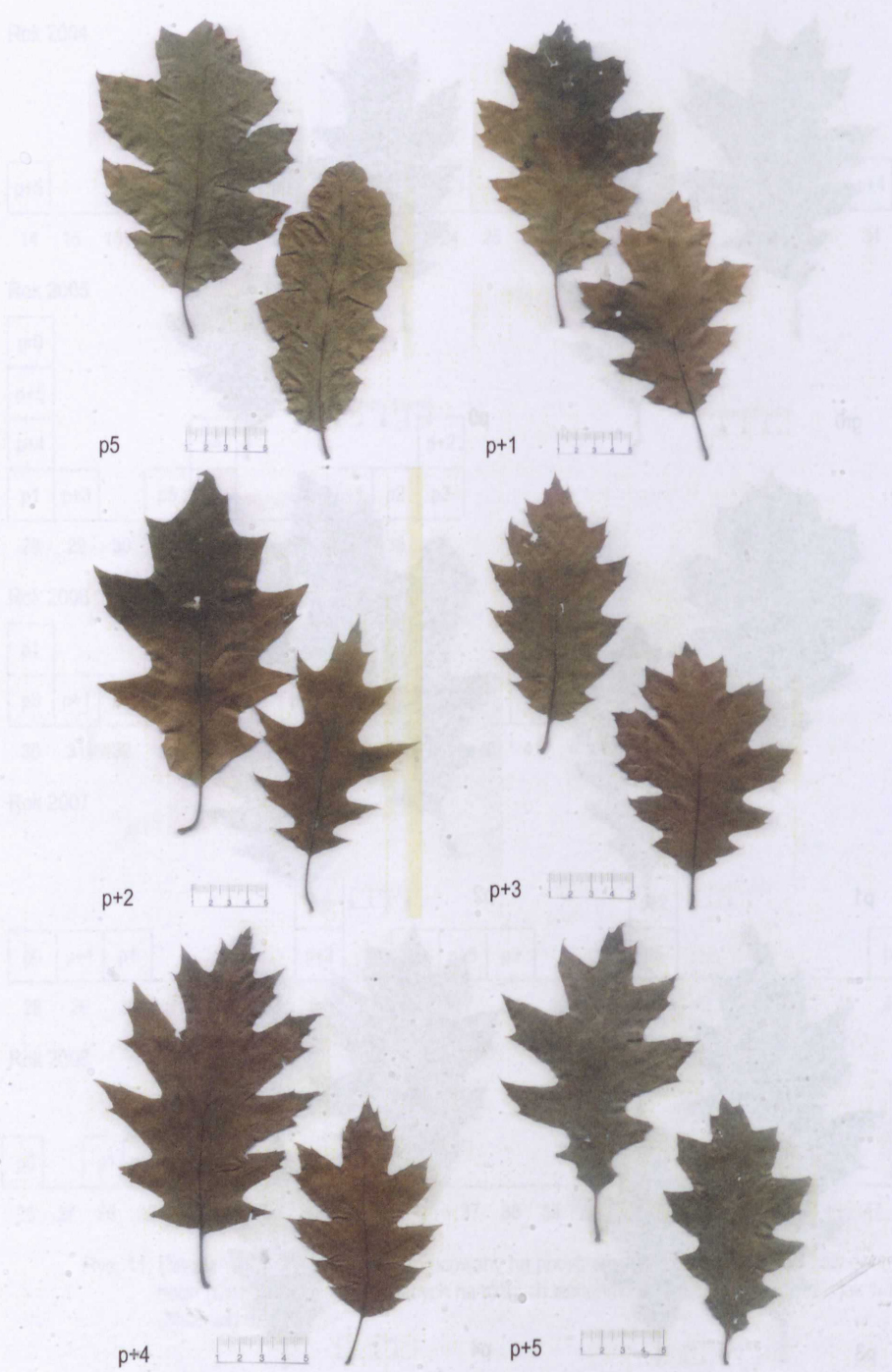


Rys. 11. Diagram zróżnicowania prób opracowany na podstawie badanych cech liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na różnych wariantach podłoża; oznaczenia – jak w rozdziale „Materiał i metody”



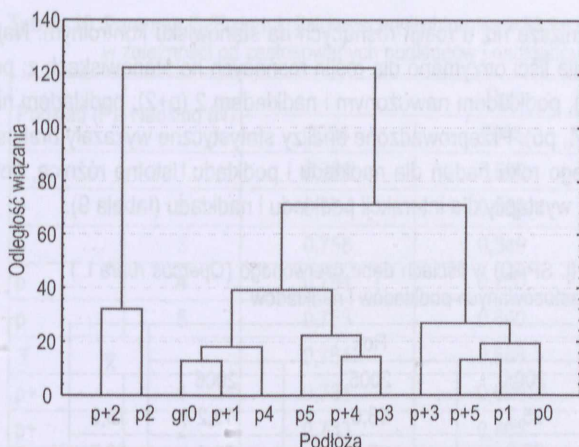


Rys. 12. Zróżnicowanie liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami; oznaczenia jak w rozdziale „Material i metody”



Rys. 12. Zróżnicowanie liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami (cd.)





Rys. 13. Dendrogram najbliższego sąsiedztwa wykonany na podstawie badanych cech przyrostu pnia i pędów oraz cech liści drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na modelu rekultywacji; oznaczenia jak w rozdziale „Materiał i metody”

### 5.3. Parametry fizjologiczne

Pomiary parametrów indukowanej fluorescencji ilustrują przebieg fazy świetlnej fotosyntezy. Zmiany następujące podczas przebiegu fotosyntezy wskazują na kondycję rośliny oraz jej reakcje na zmiany warunków środowiska. Aktywność procesów fotosyntetycznych bada się najczęściej, oceniając z wykorzystaniem technik fluorescencyjnych fazę świetlną fotosyntezy, zachodzącą w granach chloroplastów (Borowski 2008). Badania indukcji fluorescencji chlorofilu pozwalają obserwować wpływ czynników stresowych na proces fotosyntezy (Skórska 2000, Murkowski i Stankowski 2002, Ell i Toivonen 2003, Papageorgiou i Govindjee 2004, Wrochna i in. 2007). Dotychczasowe wyniki wskazują na użyteczność tych metod do badania wpływu odpadów przemysłowych i kompostów z osadów ściekowych na wzrost i rozwój roślin na terenach rekultywowanych (Maciorowski i in. 2003, Maciorowski i Wołoszyk 2003, Stankowski i in. 2004, Maciorowski i in. 2006, Maciorowski i in. 2007).

Parametry fizjologiczne opisujące fotosyntezę dębu czerwonego wskazują na małą zawartość chlorofilu w jego liściach. W pierwszym roku badań zastosowane podkłady nie miały jednak wpływu na wielkość współczynnika wybarwienia liści w tego gatunku. Na wszystkich obiektach nie stwierdzono istotnych różnic. W drugim roku badań rośliny rosnące na podkładzie popiołowym charakteryzowały się wyższym średnim współczynnikiem wybarwienia liści w porównaniu z roślinami rosnącymi na podkładzie z dodatkiem NPK. W pierwszym roku badań rośliny rosnące na wszystkich nadkładach nie różniły się wartością współczynnika wybarwienia liści od roślin kontrolnych. W drugim roku badań wartość współczynnika u roślin rosnących na nadkładzie 1 (mieszanka torfu niskiego i popiołu) nie odbiegała od wartości u roślin rosnących na wariacie kontrolnym, natomiast wprowadzenie większej ilości materii organicznej – nadkłady 2–5 – spowodowało przyrost współczynnika wybarwienia w stosunku do wcześniej wymienionych wariantów. Dla trzeciego roku badań najniższe wartości współczynnika wybarwienia liści uzyskano u roślin rosnących na podkładzie nienawożonym i podkładzie nawożonym z zastosowa-

niem nadkładu 1 (p+1). Były one niższe niż u roślin rosnących na stanowisku kontrolnym. Najwyższe wartości współczynnika wybarwienia liści otrzymano dla roślin rosnących na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2); podkładem nawożonym i nadkładem 2 (p+2); podkładem nienawożonym i nadkładami 3, 4 i 5 (p3, p4, p5). Przeprowadzone analizy statystyczne wykazały brak istotnych różnic dla pierwszego oraz trzeciego roku badań dla nadkładu i podkładu. Istotne różnice, dotyczące drugiego i w trzeciego roku badań, wystąpiły dla interakcji podkładu i nadkładu (tabela 9).

Tabela 9. Wybarwienie liści (j. SPAD) w liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Rok			$\bar{x}$						
		2004	2005	2006							
p	1	25,2	16,6	13,2	18,3						
p	2	27,2	27,7	31,1	28,7						
p	3	32,9	33,1	27,3	31,4						
p	4	24,2	34,1	28,3	28,8						
p	5	30,6	33,2	28,1	30,6						
$\bar{x}$		28,0	28,9	25,6	27,5						
p+	1	25,2	15,4	14,8	18,5						
p+	2	23,7	26,5	29,0	26,4						
p+	3	25,7	29,5	25,3	26,8						
p+	4	23,3	21,8	22,5	22,5						
p+	5	24,9	27,6	27,4	26,6						
$\bar{x}$		24,6	24,2	23,8	24,2						
gr	0	23,2	18,9	22,6	21,6						
NIR <sub>0,05</sub>		P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	–
		ns	ns	ns	1,62	2,85	4,26	ns	ns	1,81	–

Uzyskane wartości parametrów fizjologicznych wskazują, że w latach badań rośliny dębu czerwonego charakteryzowały się małą sprawnością procesów fotochemicznych fazy świetlnej fotosyntezy (tabele 10–12). W pierwszym roku badań notowano niższe średnie parametry fluorescencji u roślin rosnących na podkładzie z popiołu wzbogaconym nawozami mineralnymi (p+), a w drugim roku badań wystąpiła sytuacja odwrotna. W trzecim roku badań najwyższe średnie odnotowano u roślin rosnących na podkładzie nawożonym (p+), natomiast najniższe dla stanowiska kontrolnego z gruntem rodzimym (gr0). Obliczenia statystyczne wykazały brak istotnych różnic tylko w przypadku interakcji podkładu i nadkładu dla pierwszego roku badań (tabele 10–11). Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie nadkładów organicznych, przy jednoczesnej poprawie chemizmu popiołów, istotnie poprawia sprawność procesów fotosyntetycznych.



Tabela 10. Parametr  $F_v/F_m$  indukcji fluorescencji chlorofilu w liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Rok									$\bar{x}$
		2004			2005			2006			
p	1	0,782			0,596			0,520			0,663
p	2	0,774			0,586			0,762			0,707
p	3	0,758			0,349			0,498			0,535
p	4	0,751			0,750			0,483			0,661
p	5	0,753			0,660			0,591			0,668
$\bar{x}$		0,764			0,588			0,571			0,641
p+	1	0,731			0,689			0,521			0,647
p+	2	0,733			0,795			0,761			0,763
p+	3	0,748			0,753			0,499			0,667
p+	4	0,640			0,583			0,482			0,568
p+	5	0,769			0,742			0,659			0,723
$\bar{x}$		0,724			0,712			0,584			0,673
gr	0	0,756			0,698			0,354			0,602
NIR <sub>0,05</sub>		P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	–
		0,029	0,051	ns	0,065	0,115	0,172	0,081	0,117	0,191	–

Tabela 11. Parametr  $F_v/F_0$  indukcji fluorescencji chlorofilu w liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Rok									$\bar{x}$
		2004			2005			2006			
p	1	3,59			2,57			1,19			2,45
p	2	3,48			1,48			3,25			2,74
p	3	3,17			0,56			1,01			1,58
p	4	3,08			3,01			1,13			2,41
p	5	3,11			1,98			1,87			2,32
$\bar{x}$		3,28			1,92			1,69			2,30
p+	1	2,99			3,03			1,19			2,40
p+	2	2,85			3,90			3,27			3,34
p+	3	2,99			3,07			1,46			2,51
p+	4	1,93			2,70			1,13			1,92
p+	5	3,40			2,90			2,14			2,81
$\bar{x}$		2,83			3,12			1,84			2,60
gr	0	2,86			4,18			0,54			2,53
NIR <sub>0,05</sub>		P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	–
		ns	0,47	0,62	0,55	0,71	0,83	0,43	0,75	0,85	–

Tabela 12. Natężenie asymilacji CO<sub>2</sub> (A) ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) liści dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Rok			$\bar{x}$						
		2004	2005	2006							
p	1	6,48	3,37	5,28	5,04						
p	2	7,86	5,87	7,64	7,12						
p	3	7,89	6,89	5,07	6,62						
p	4	6,31	7,91	4,81	6,34						
p	5	8,30	7,32	5,92	7,18						
$\bar{x}$		7,37	6,27	5,74	6,46						
p+	1	5,79	2,49	5,26	4,51						
p+	2	6,47	4,82	7,66	6,32						
p+	3	6,83	4,63	5,58	5,68						
p+	4	5,60	3,64	4,85	4,70						
p+	5	6,63	4,12	6,65	5,80						
$\bar{x}$		6,26	3,94	6,00	5,40						
gr	0	5,12	4,88	3,54	4,51						
NIR <sub>0,05</sub>		P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	–
		0,13	0,22	0,33	0,34	0,60	0,90	0,33	0,85	1,02	–

Przebieg zmian natężenia asymilacji CO<sub>2</sub> na ogół przedstawiał się podobnie jak parametry fazy świetlnej fotosyntezy (tabela 12). Dla pierwszego roku badań wyraźniejsze różnice dotyczyły roślin rosnących na podkładzie nienawożonym (p), a najniższe – roślin rosnących na stanowisku kontrolnym z gruntem rodzimym (gr0). Dla drugiego roku badań różnice stwierdzono jedynie przy porównaniu nadkładu 1 i wariantu kontrolnego z pozostałymi nadkładami. U roślin dębu czerwonego rosnących na podkładzie wzbogaconym nawozami mineralnymi nastąpiło zmniejszenie natężenia wymiany gazowej. W trzecim roku badań najniższym natężeniem asymilacji charakteryzowały się rośliny rosnące na stanowisku kontrolnym. Zdecydowanie najwyższe natężenie asymilacji wystąpiło u roślin rosnących na obiekcie z podkładem nawożonym i nadkładem 2 oraz na stanowisku z podkładem nienawożonym i nadkładem 2. Obliczenia statystyczne wykazały istotne różnice w natężeniu asymilacji u roślin rosnących na poszczególnych obiektach w trakcie lat badań.

Średnie wartości współczynnika admittancji (żywności roślin) dla kolejnych lat badań i poszczególnych obiektów różniły się dość wyraźnie (tabela 13). Najniższe wartości współczynnika admittancji, niższe niż dla obiektu kontrolnego – grunt rodzimy bez nadkładu (gr0) – otrzymano dla stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1), a najwyższe dla stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4). Najwyższe średnie wartości odnotowano dla roślin rosnących na stanowiskach z podkładem nienawożonym (p) w pierwszym roku badań. Najniższe średnie wartości uzyskano dla roślin rosnących na stanowisku kontrolnym z gruntem rodzimym bez nadkładu (gr0). Analizując oddziaływanie na rośliny nadkładów, można stwierdzić, że najlepszym rozwiązaniem było zastosowanie nadkładu 2 lub 4 na popiole nienawożonym (p2 i p4), a najgorsze wyniki uzyskano po zastosowaniu nadkładu 1. Niezależnie od podłoża były to wartości niższe od uzyskanych na stanowiskach kontrolnych. Wykonane obliczenia statystyczne wskazują na brak istotnych różnic wpływu na rośliny podkładu oraz na istotne różnice w zależności od zastosowanego nadkładu oraz od interakcji podkładu i nadkładu (tabela 13).



Tabela 13. Współczynnik admittancji (żywności) ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Rok			$\bar{x}$							
		2004	2005	2006								
p	1	24,32	17,95	15,00	19,09							
p	2	65,39	53,12	41,33	53,28							
p	3	52,11	46,58	35,28	44,66							
p	4	66,88	54,29	45,35	55,51							
p	5	28,54	22,36	19,66	23,52							
$\bar{x}$		47,45	38,86	31,32	39,21							
p+	1	28,96	23,67	18,31	23,65							
p+	2	44,59	39,65	30,11	38,12							
p+	3	33,49	29,41	21,20	28,03							
p+	4	34,98	27,12	21,62	27,91							
p+	5	46,82	37,16	28,90	37,63							
$\bar{x}$		37,77	31,40	24,03	31,02							
gr	0	32,29	28,23	19,32	26,61							
NIR <sub>0,05</sub>	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N	P	N	P×N
	ns	3,18	4,55	ns	3,88	5,07	ns	2,82	3,15	ns	3,49	3,90

#### 5.4. Zawartość makro- i mikroelementów w korzeniach i liściach

Wyniki badań zawartości makro- i mikroelementów w korzeniach oraz liściach roślin rosnących na modelu doświadczalnym wskazują na ich bardzo duże zróżnicowanie w zależności od zastosowanego sposobu rekultywacji (tabele 14–15).

W przypadku większości badanych makroelementów różnica pomiędzy najniższymi a najwyższymi zawartościami tych składników w liściach wynosiła 3–5 razy, w przypadku korzeni różnice te były mniejsze, w granicach 0,5–2 razy.

Ilość azotu (N) w liściach drzew rosnących na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4) wynosiła  $15,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. i była niemal trzykrotnie wyższa niż u roślin rosnących na gruncie rodzimym bez nadkładu (gr0). W przypadku korzeni różnice te były mniejsze. Największą zawartość azotu w korzeniach –  $13,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. – odnotowano u roślin ze stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p+3), najniższą –  $8,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. – u roślin ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 oraz z obiektu z gruntem rodzimym bez nadkładu (p3 i gr0). Ilość azotu w liściach i korzeniach drzew zawierała się w podobnym zakresie (tabela 14).

Zawartość fosforu (P) w liściach roślin rosnących na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p+3) była niemal pięciokrotnie wyższa niż u roślin rosnących na popiele nawożonym i nadkładzie 1 (p+1). W korzeniach, podobnie jak w przypadku zawartości azotu, różnice były mniejsze, a najwyższą zawartość stwierdzono u roślin ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 oraz z obiektu z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p1 i p+3). Zawartość fosforu w korzeniach drzew była nawet trzykrotnie niższa niż w liściach (tabela 14).

Tabela 14. Zawartość makroelementów w liściach i korzeniach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Makroelementy (g · kg <sup>-1</sup> s.m.)											
		N		P		K		Ca		Mg		S	
		liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie
p	0	10,5	9,8	2,7	0,8	2,2	0,8	3,6	12,9	4,2	7,0	0,9	1,0
p	1	8,6	11,2	1,9	1,4	2,7	1,3	7,3	13,6	3,8	5,9	1,0	1,2
p	2	9,5	8,8	2,6	0,9	4,9	1,2	2,3	13,0	2,3	7,7	0,9	0,8
p	3	12,4	8,1	2,4	1,2	2,8	1,2	3,3	10,5	2,6	7,5	1,1	1,0
p	4	15,2	10,3	3,1	1,1	5,2	1,2	4,0	11,8	5,1	6,9	1,7	1,2
p	5	10,2	11,0	2,1	1,2	4,3	1,2	5,2	19,0	2,3	6,5	1,2	1,1
$\bar{x}_{p1-p5}$		11,2	9,88	2,4	1,2	4,0	1,2	4,4	13,6	3,2	6,9	1,2	1,1
p+	1	8,4	11,9	1,1	0,9	2,7	0,8	6,0	11,6	3,4	7,1	1,2	1,2
p+	2	10,3	9,3	1,9	0,9	4,0	1,0	3,0	13,8	3,2	7,7	1,0	0,9
p+	3	13,8	13,7	5,1	1,4	6,2	1,6	2,7	14,7	4,3	5,6	1,1	1,2
p+	4	14,5	10,2	5,4	1,1	5,5	1,8	2,8	14,1	4,2	6,6	1,4	1,1
p+	5	11,2	10,2	2,4	1,0	3,7	1,3	4,1	15,3	3,1	7,1	0,9	1,1
$\bar{x}_{p1+1-p+5}$		11,6	11,1	3,2	1,1	4,4	1,3	3,7	13,9	3,6	6,8	1,1	1,1
gr	0	5,1	8,1	1,6	0,8	2,4	1,5	5,1	23,3	1,4	2,3	0,6	1,0



Tabela 15. Zawartość mikroelementów w liściach i korzeniach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	Mikroelementy (mg · kg <sup>-1</sup> s.m.)																			
		Cl		Fe		Mn		Zn		Cu		B		Ni		Na		Pb		Cd	
		liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie	liście	korzenie
p	0	140	109	161,7	107,8	2,1	6,90	11,0	39,9	5,70	5,20	25,9	32,2	27,6	12,4	110	140	1,29	2,23	0,31	0,26
p	1	101	90	354,7	133,1	6,6	31,3	15,0	92,6	6,40	6,40	22,7	43,5	24,5	14,6	130	100	1,53	2,09	0,29	0,16
p	2	94	122	161,6	166,3	6,8	33,3	25,7	48,7	9,00	5,70	27,7	39,7	15,4	10,3	110	130	1,20	2,12	0,29	0,14
p	3	144	151	60,5	120,4	1,6	16,6	8,6	50,7	5,60	4,80	17,8	40,1	8,2	14,4	110	90	0,63	2,19	0,22	0,19
p	4	113	269	166,8	120,2	8,3	21,8	14,9	50,8	8,00	5,10	23,8	49,8	24,3	15,4	130	100	1,54	1,26	0,21	0,16
p	5	228	167	236,2	169,0	10,9	25,2	40,6	67,6	11,8	5,40	31,1	48,4	25,9	18,7	50	100	2,05	2,60	0,37	0,19
$\bar{x}_{p1-p5}$		136	160	196,0	141,8	6,8	25,6	20,0	62,1	8,16	5,48	24,6	44,3	19,7	14,7	106	104	1,39	2,05	0,28	0,19
p+	1	109	167	133,3	143,5	2,4	16,6	5,8	34,0	4,30	4,90	23,5	39,7	14,6	18,2	130	220	0,98	2,49	0,14	0,12
p+	2	81	271	63,4	134,0	2,3	19,3	9,7	28,6	5,40	4,00	17,0	36,1	8,0	27,8	90	110	0,69	2,25	0,06	0,14
p+	3	116	266	133,9	160,0	4,8	21,8	16,9	46,1	8,20	4,10	26,1	36,5	10,5	38,0	90	120	1,36	2,75	0,21	0,16
p+	4	47	270	193,4	141,8	4,5	17,7	16,0	47,6	11,4	4,40	24,2	32,7	3,5	26,4	90	190	1,58	2,50	0,11	0,13
p+	5	142	172	243,1	162,4	11,2	30,0	39,3	47,6	19,2	4,30	40,1	42,0	12,9	31,1	110	120	0,93	2,77	0,14	0,23
$\bar{x}_{p+1-p+5}$		99	229	153,4	148,3	5,04	21,1	17,5	40,8	9,7	4,34	26,2	37,4	9,9	28,3	102	152	1,11	2,55	0,13	0,16
gr	0	140	103	143,9	216,2	7,3	93,7	6,9	72,2	3,70	7,80	31,1	70,1	17,9	45,4	40	90	1,13	3,84	0,31	0,43



Najniższą ilość potasu (K) w liściach i korzeniach stwierdzono u drzew rosnących na obiekcie z popiołem nienawożonym bez nadkładu (p0). W przypadku liści zawartość ta była niemal trzykrotnie wyższa w stosunku do stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p+3), a w przypadku korzeni dwukrotnie niższa niż na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p+4) – tabela 14.

Ilość wapnia (Ca) w liściach roślin rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 1 (p1) była ponadtrzykrotnie wyższa niż u roślin rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 2 (p2). Jednocześnie nawet najwyższe zawartości były mniejsze od najniższych zawartości w korzeniach drzew (stanowisko p3) i nawet trzykrotnie niższe niż w korzeniach roślin rosnących na gruncie rodzimym bez nadkładu (gr0) – tabela 14.

Najniższe zawartości magnezu (Mg) określono w liściach i korzeniach drzew rosnących na gruncie naturalnym (gr0). W przypadku liści były one niższe niemal czterokrotnie w stosunku do liści roślin rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 4 (p4). W przypadku korzeni ilość magnezu u roślin ze stanowiska kontrolnego z gruntem rodzimym bez nadkładu (gr0) była niższa ponaddwukrotnie niż u roślin rosnących na stanowiskach z popiołem w podkładzie. Najwyższe zawartości –  $7,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono u roślin rosnących na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 oraz obiekcie z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p2 i p+2) – tabela 14.

Zawartość siarki (S) w liściach i korzeniach badanych drzew utrzymywała się na niskim poziomie – w zakresie  $0,6\text{--}1,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – przy czym najniższe wartości stwierdzono u roślin rosnących na obiekcie z gruntem rodzimym bez nadkładu oraz na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (gr0 i p2), a najwyższe u roślin ze stanowisk z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p1, p4 i p+3) – tabela 14.

Najwyższą zawartość chloru (Cl) w liściach –  $228 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono u drzew dębu czerwonego rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 5 (p5), najniższą –  $47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – u drzew rosnących na popiele nawożonym i nadkładzie 4 (p+4). W przypadku korzeni różnice te były nieco niższe, a najwyższa wartość –  $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – wystąpiła u roślin ze stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2) – tabela 15.

Ilość żelaza (Fe) w liściach drzew rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 1 (p1) była prawie sześciokrotnie wyższa niż w liściach roślin rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 3 (p3). W przypadku korzeni różnice te były mniejsze, zaledwie dwukrotne, a najwyższe wartości stwierdzono u roślin na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p+2) – tabela 15.

Największe różnice w zawartości badanych pierwiastków w liściach i korzeniach drzew dębu czerwonego stwierdzono w przypadku manganu (Mn). W liściach różnica była siedmiokrotna – od  $1,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (stanowisko p3) do  $11,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (stanowisko p+5), a w korzeniach niemal czterystokrotna – od  $6,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (stanowisko p0) do  $93,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (stanowisko gr0). W przypadku roślin rosnących na stanowiskach z popiołem w podkładzie najwyższe wartości manganu w korzeniach stwierdzono u roślin rosnących na obiekcie z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 oraz stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p2 i p+5), a różnica wówczas występująca była niespełna pięciokrotna (tabela 15).

Znaczne różnice – siedmiokrotne – wystąpiły w zawartości cynku (Zn) w liściach badanych drzew. Najniższą wartość –  $5,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – odnotowano u roślin ze stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p+1), a najwyższą –  $40,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – u roślin ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5). W korzeniach różnice zawartości były niższe – trzykrotne (tabela 15).



Najniższą zawartość miedzi (Cu) –  $3,70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono w liściach drzew rosnących na gruncie rodzimym bez nadkładu (gr0), a spośród stanowisk z popiołem w podkładzie na obiekcie z popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p+1) –  $4,30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  Najwyższa ilość –  $19,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – wystąpiła u roślin rosnących na popiele nawożonym i nadkładzie 5 (p+5). W korzeniach najwyższą wartość –  $7,80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono u roślin rosnących na gruncie rodzimym bez nadkładu (gr0), a spośród roślin z popiołem w podkładzie u tych rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 1 (p1), najniższą zaś u drzew rosnących na popiele nawożonym i nadkładzie 2 (p+2) – tabela 15.

Zarówno w przypadku liści, jak i korzeni różnice w ilości boru (B) pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami były około dwukrotne. Najniższe na obiekcie z popiołem nienawożonym bez nadkładu i stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 2 (p0 i p+2), a najwyższe na obiekcie z popiołem nawożonym i nadkładem 5 oraz na stanowisku z gruntem rodzimym bez nadkładu (p+5 i gr0) – tabela 15.

Duża różnica – niemal ośmiokrotna – wystąpiła w przypadku zawartości niklu (Ni) w liściach badanych drzew. Najwyższą wartość –  $27,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono u roślin ze stanowiska z popiołem nienawożonym bez nadkładu (p0), a najniższą u roślin ze stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p+4). W przypadku korzeni różnice te były mniejsze. Najwyższą wartość odnotowano na stanowisku z gruntem rodzimym bez nadkładu (gr0), a spośród obiektów z popiołem w podkładzie – na stanowisku z popiołem nawożonym i nadkładem 3 (p+3); najniższą wartość stwierdzono roślin ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) – tabela 15.

Najniższą zawartość sodu (Na), zarówno w przypadku liści, jak i korzeni, odnotowano na stanowisku z gruntem rodzimym bez nadkładu (gr0), a spośród obiektów z popiołem – na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 oraz na obiekcie z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p3 i p5). Natomiast najwyższą zawartość tego pierwiastka stwierdzono na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 1; popiołem nienawożonym i nadkładem 4; popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p1, p4, p+1) – tabela 15.

Różnica w zawartości ołowiu (Pb) w liściach i korzeniach badanych roślin pomiędzy wartością najniższą i najwyższą była około trzykrotna. Wartości najniższe odnotowano na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 oraz na obiekcie z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p3 i p4), a najwyższe na stanowiskach z: popiołem nienawożonym i nadkładem 5; gruntem rodzimym bez nadkładu; popiołem nawożonym i nadkładem 5 (p5, gr0 i p+5) – tabela 15.

Zawartość kadmu (Cd) w liściach drzew dębu czerwonego rosnących na popiele nienawożonym i nadkładzie 5 (p5) wynosiła  $0,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  i była ponad sześćkrotnie wyższa niż u roślin rosnących na popiele nawożonym i nadkładzie 2 (p+2). W przypadku korzeni różnice te były mniejsze – trzykrotne, a największą wartość –  $0,43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – odnotowano na gruncie rodzimym bez nadkładu (gr0). Na obiektach z popiołem w podkładzie najwyższą wartość –  $0,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  – stwierdzono na stanowisku z popiołem nienawożonym bez nadkładu (p0), a najmniejszą na obiekcie z popiołem nawożonym i nadkładem 1 (p+1) – tabela 15.

Zawartość makro- i mikroelementów w podłożach, w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów, kształtowała się bardzo różnie. Największe ilości badanych pierwiastków w przeważającej większości stwierdzono na podłożach utworzonych z dodatkiem nawozów mineralnych do podkładu (p+). Najniższe zawartości określono na stanowiskach kontrolnych – w trzech przypadkach z czystym popiołem bez nadkładu (p0), a w pozostałych z gruntem rodzimym (gr0). Średnie zawartości w podłożach różniły się w sposób nieznaczny (tabela 16).



Tabela 16. Zawartość niektórych makro- i mikroelementów w podłożach w zależności od zastosowanych podkładów i nadkładów

Podkład (P)	Nadkład (N)	(g · kg <sup>-1</sup> s.m.)					(mg · kg <sup>-1</sup> s.m.)						
		N	P	K	Mg	Ca	S	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
p	0	0,10	0,86	5,78	0,20	10,0	0,23	1,38	4,95	112	14,9	4,90	50,0
p	1	1,75	1,00	5,15	1,18	20,8	0,33	1,33	7,25	140	17,9	7,25	54,4
p	2	1,79	1,12	5,35	1,18	22,1	0,34	1,36	7,72	142	18,1	7,73	56,3
p	3	5,02	1,38	5,18	1,25	25,6	0,40	1,38	7,00	156	18,2	6,89	58,2
p	4	4,10	1,42	5,30	1,27	25,8	0,38	1,40	7,08	163	18,1	6,92	58,0
p	5	4,16	1,40	5,70	1,30	28,3	0,43	1,40	7,12	162	18,3	7,01	59,1
$\bar{x}_{p1-p5}$		3,36	1,26	5,34	1,24	24,5	0,38	1,37	7,23	153	18,1	7,16	57,2
p+	1	1,78	1,12	4,80	1,18	22,8	0,35	1,35	7,51	142	16,8	7,63	54,3
p+	2	1,75	1,13	5,25	1,17	22,0	0,36	1,32	8,01	137	17,8	7,98	55,8
p+	3	4,92	1,39	5,25	1,33	27,8	0,42	1,52	7,52	158	17,9	7,57	62,4
p+	4	4,05	1,42	5,15	1,30	27,2	0,45	1,53	7,50	162	18,0	7,48	58,8
p+	5	4,08	1,40	5,50	1,32	28,6	0,42	1,42	7,58	168	18,1	7,58	58,0
$\bar{x}_{p+1-p+5}$		3,32	1,29	5,19	1,26	25,7	0,40	1,43	7,62	153	17,7	7,65	57,7
gr	0	0,25	0,96	1,85	0,18	25,3	0,06	1,10	1,23	14	5,8	1,22	9,1

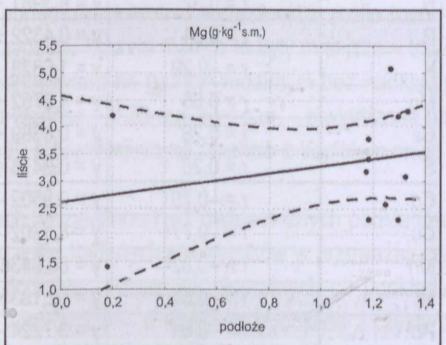
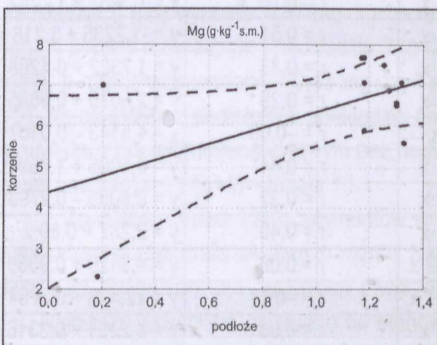
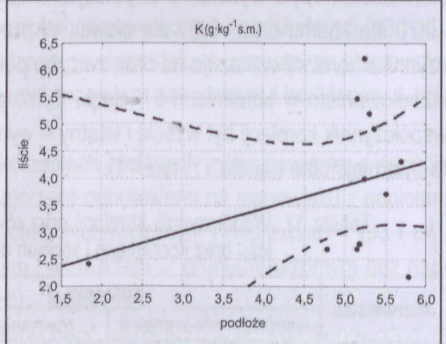
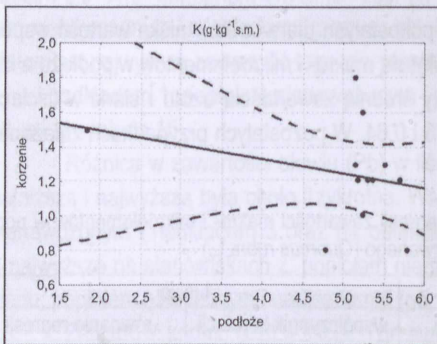
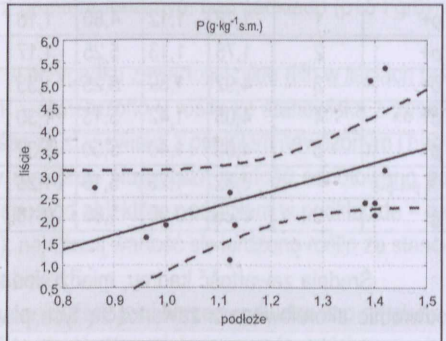
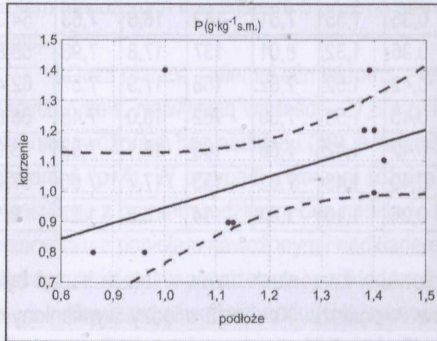
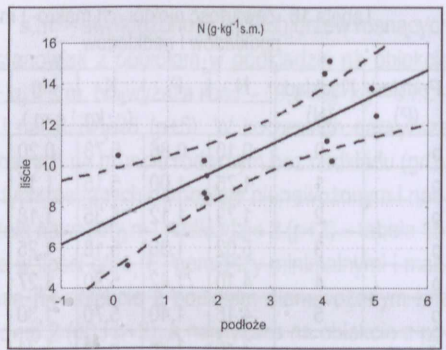
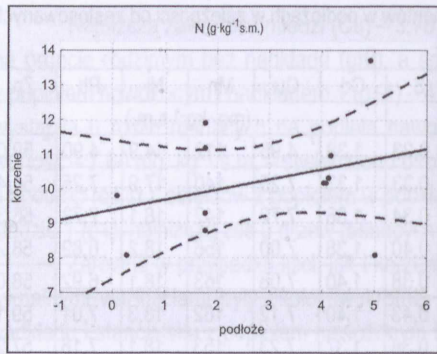
Średnia zawartość kadmu, miedzi, manganu i ołowiu w korzeniach drzew w latach badań była odwrotnie skorelowana z zawartością tych pierwiastków w podłożu. Korelacja między wymienionymi pierwiastkami była wysoka, a współczynnik korelacji  $r$  wynosił  $-0,82$  dla manganu,  $-0,77$  dla miedzi,  $-0,70$  dla kadmu oraz  $-0,61$  dla ołowiu. W przypadku pozostałych pierwiastków niska wartość współczynnika korelacji wskazuje na brak związku pomiędzy ilością makro- i mikroelementów w podłożu a ich kumulowaniem w korzeniach i liściach. Tylko pomiędzy średnią zawartością azotu i siarki w liściach współczynnik korelacji był wysoki i istotny – wynosił  $0,75$  i  $0,64$ . W pozostałych przypadkach zależność ta była nieistotna (tabela 17, rys. 14).

Tabela 17. Współczynnik korelacji oraz równanie regresji zawartości makro- i mikroelementów w podłożu oraz korzeniach i liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.)

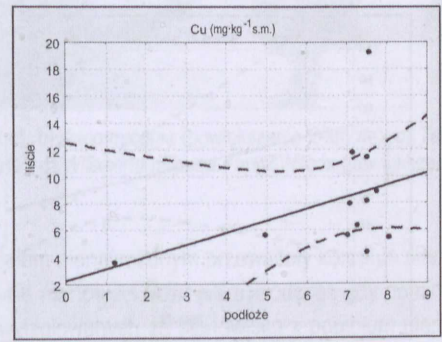
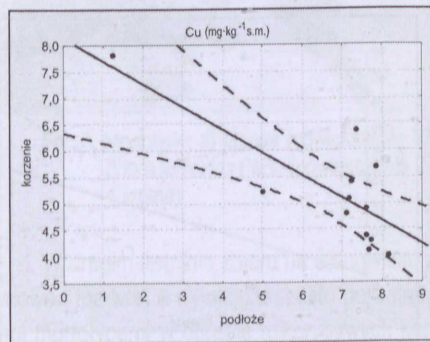
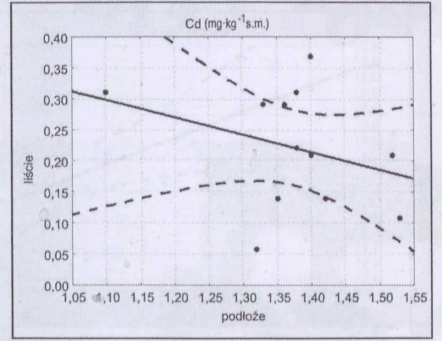
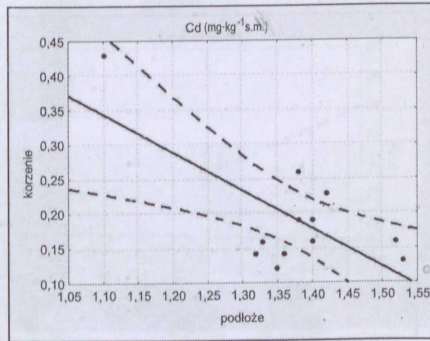
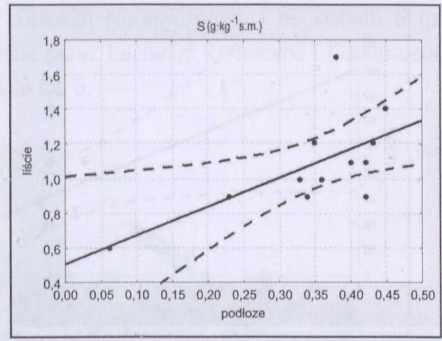
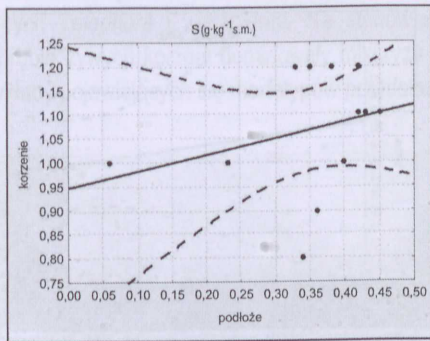
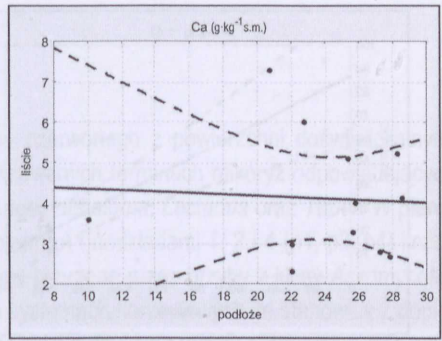
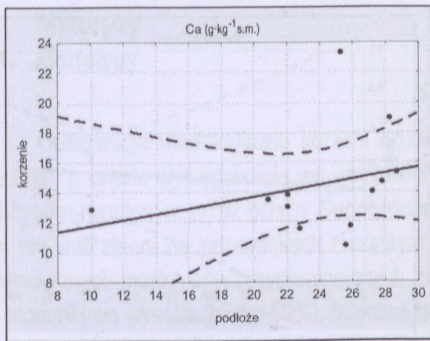
Pierwiastek	Korzenie		Liście	
	współczynnik korelacji	równanie regresji	współczynnik korelacji	równanie regresji
N	$r = 0,32$	$y = 9,3961 + 0,2917 \cdot x$	$r = 0,75^*$	$y = 7,3652 + 1,2242 \cdot x$
P	$r = 0,51$	$y = 0,4322 + 0,5146 \cdot x$	$r = 0,51$	$y = -1,2235 + 3,218 \cdot x$
K	$r = -0,29$	$y = 1,6628 - 0,0839 \cdot x$	$r = 0,33$	$y = 1,7302 + 0,4288 \cdot x$
Mg	$r = 0,56$	$y = 4,3782 + 1,9722 \cdot x$	$r = 0,26$	$y = 2,6075 + 0,6695 \cdot x$
Ca	$r = 0,28$	$y = 9,8389 + 0,194 \cdot x$	$r = -0,06$	$y = 4,5143 - 0,0167 \cdot x$
S	$r = 0,28$	$y = 0,9478 + 0,3421 \cdot x$	$r = 0,64^*$	$y = 0,5065 + 1,6599 \cdot x$
Cd	$r = -0,70^*$	$y = 0,9502 - 0,5514 \cdot x$	$r = 0,32$	$y = 0,6055 - 0,2793 \cdot x$
Cu	$r = -0,77^*$	$y = 8,1302 - 0,4407 \cdot x$	$r = 0,40$	$y = 2,257 + 0,89 \cdot x$
Mn	$r = -0,82^*$	$y = 86,9436 - 0,4282 \cdot x$	$r = 0,08$	$y = 4,8426 + 0,0065 \cdot x$
Ni	$r = -0,57$	$y = 52,1833 - 1,7684 \cdot x$	$r = -0,17$	$y = 22,428 - 0,3794 \cdot x$
Pb	$r = -0,61^*$	$y = 3,7224 - 0,1943 \cdot x$	$r = 0,03$	$y = 4,2251 + 0,3316 \cdot x$
Zn	$r = -0,33$	$y = 74,2105 - 0,4163 \cdot x$	$r = 0,35$	$y = 1,931 + 0,2951 \cdot x$

\* Różnice istotne.



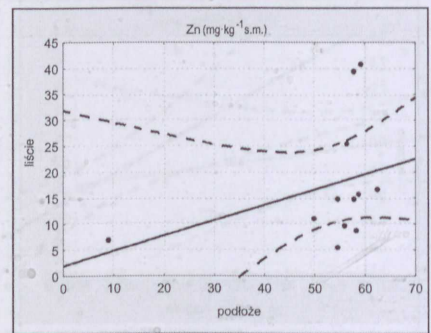
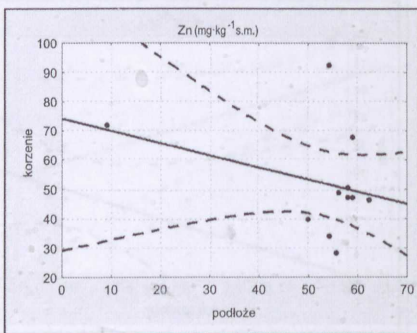
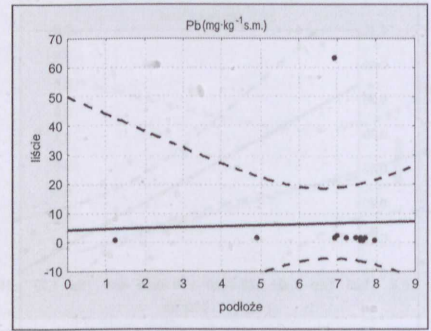
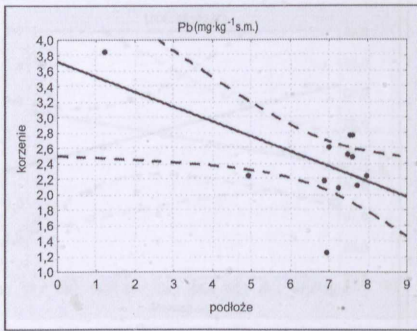
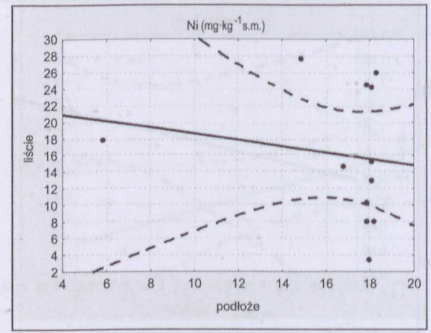
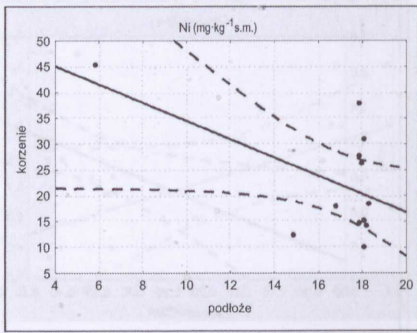
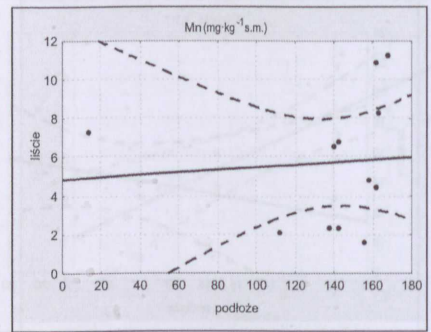
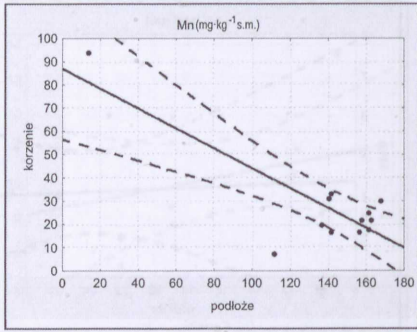


Rys. 14. Zależność pomiędzy zawartością makro- i mikrośladników w korzeniach i liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) oraz w podłożu



Rys. 14. Zależność pomiędzy zawartością makro- i mikrośladników w korzeniach i liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) oraz w podłożu (cd.)



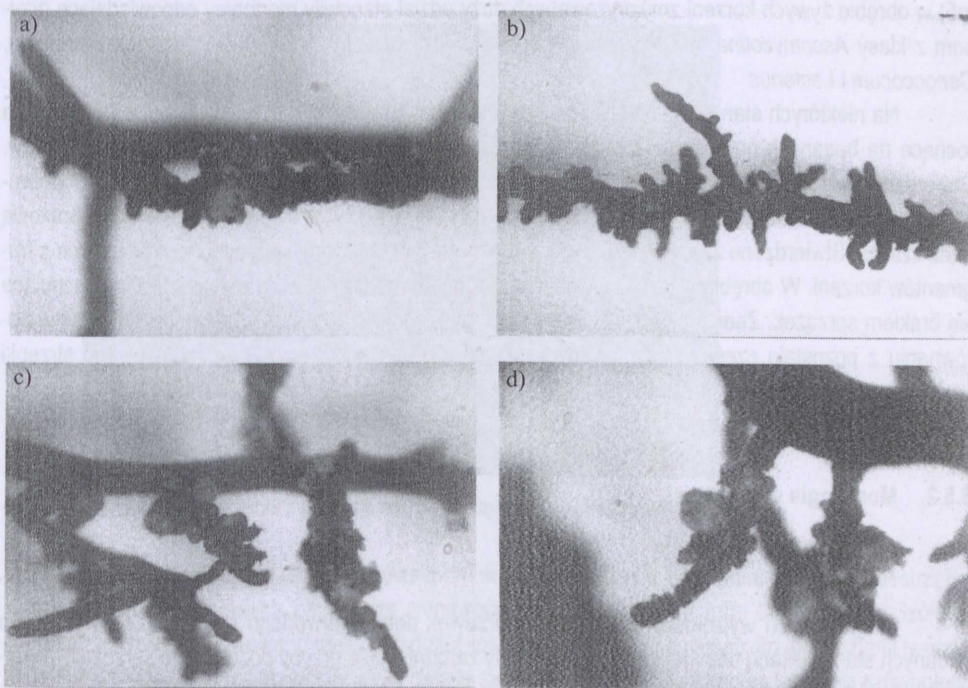


Rys. 14. Zależność pomiędzy zawartością makro- i mikrośladników w korzeniach i liściach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) oraz w podłożu (cd.)

## 5.5. Mikoryzy

### 5.5.1. Morfotypy

Obserwacje morfologiczne korzeni drzew dębu czerwonego z powierzchni doświadczalnych wskazują na częste występowanie we wszystkich analizowanych terminach mikoryz odpowiadających morfotypom tworzonym przez grzyby *Cenococcum*, *Genea*, *Hebeloma*, *Lactarius* oraz *Tuber*. W pierwszym terminie zbioru na stanowiskach z czystym popiołem (p) i nadkładami 1, 2 i 4 (p1, p2, p4) liczba obserwowanych morfotypów przypominających morfotypy tworzone przez grzyby z klasy *Ascomycetes* była stosunkowo wysoka (blisko 80%), podczas gdy na systemach korzeniowych ze stanowisk z popiołem nienawożonym i nadkładami 3 i 5 (p3, p5) znacząco wzrastała liczba innych morfotypów, odpowiadających *Telephora* i *Tricholoma*. Na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5) w obrębie żywych korzeni dominowały mikoryzy tworzone przez *Lactarius*, *Hebeloma* i *Cenococcum*. Przykłady pojawiających się morfotypów przedstawiono na fot. 3.



Fot. 3. Morfotypy: a) *Genea* (powiększenie 3,2-krotne); b) *Ascomycetes* (powiększenie 2-krotne); c) *Telephora terrestris* Pers. (powiększenie 2,5-krotne); d) *Wilcoxina mikolae* Yang&Wilcox (powiększenie 4-krotne)

W drugim terminie zbioru na stanowisku z popiołem nienawożonym przeważały korzenie niemikoryzowe i martwe, z wyjątkiem często pojawiającego się morfotypu *Genea* like, podczas gdy dominującymi morfotypami w obrębie mikoryzowych korzeni wyizolowanych ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładami 3 i 4 (p3, p4) były *Telephora* i *Tuber*. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż



żywe korzenie stanowiły niewielką część całości wyizolowanego materiału. Natomiast na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) w obrębie żywych korzeni dominowały morfotypy odpowiadające *Hebeloma*, *Telephora* i *Wilcoxina* like. Znaczny udział korzeni niemikoryzowych i martwych zaobserwowano również na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5), podczas gdy tylko znikomy procent w ogólnej puli korzeni stanowiły morfotypy odpowiadające *Tuber* like.

W trzecim terminie zbioru na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4) w obrębie żywych korzeni dominowały morfotypy odpowiadające tworzonemu przez grzyby z klasy *Ascomycotina*. Wyjątek stanowił obiekt z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4), charakteryzujący się ubogą mikoryzacją, w której również obserwowano pojawianie się *Tuber* i *Genea* like. Najczęściej występującymi morfotypami na stanowiskach z popiołem nienawożonym i nadkładami 1 i 2 (p1, p2) były korzenie odpowiadające morfologicznie morfotypom tworzonemu z *Cenococcum*, *Lactarius* oraz *Tuber* i *Telephora*. Wyjątkowo na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) zaobserwowano morfotyp *Laccaria*, a na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (p3) w obrębie sporadycznie zmikoryzowanych korzeni – *Hebeloma* like. Na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5) w obrębie żywych korzeni zmikoryzowanych duży udział stanowiły morfotypy odpowiadające grzybom z klasy *Ascomycotina*, na przykład *Cenococcum* like, oraz mikoryzy tworzone przez *Hebeloma*, *Cenococcum* i *Lactarius*.

Na niektórych stanowiskach stwierdzono więcej korzeni zamartwych niż żywych. Dęby czerwone rosnące na badanych powierzchniach nie różniły się znacznie udziałem poszczególnych morfotypów. Stwierdzono więcej morfotypów *Cenococcum*-like oraz *Lactarius*-, *Tuber*- i *Cenococcum*-like. W pobranym materiale zaobserwowano mniejszy udział korzeni zmikoryzowanych z jasną opilśnią niż brązową bądź czarną. Stwierdzono znaczne różnice w reprezentacji wyizolowanych grzybów pozyskanych z fragmentów korzeni. W obrębie wyizolowanych kultur dominowały grzyby z klasy *Ascomycetes* cechujące się brakiem sprzążek. Znaczny udział stanowiły grzyby zarodnikujące niewytwarzające sprzążek w porównaniu z pozostałą częścią wyizolowanych grzybów. Tylko sporadycznie zaobserwowano strzępki cechujące się występowaniem sprzążek i brakiem zarodnikowania (klasa *Basidiomycetes*).

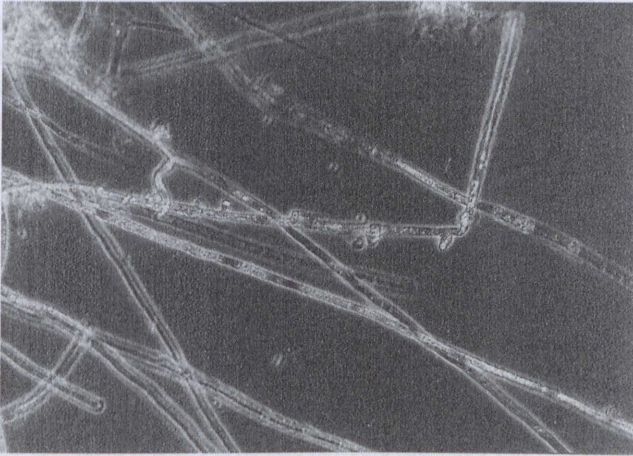
### 5.5.2. Morfologia strzępek

#### *Pierwszy termin badań – wiosenny*

W grzybniach wyizolowanych z korzeni drzewek dębu czerwonego rosnących na wszystkich badanych stanowiskach dominującymi formami były zarodnikujące grzyby pozbawione sprzążek. Wyjątkiem było natomiast stanowisko z popiołem nienawożonym (p). U dwóch kultur z tego obiektu zaobserwowano sporadyczne występowanie dychotomicznych rozgałęzień oraz sprzążek w pobliżu ściany poprzecznej (fot. 4). Obecność sprzążek i skomplikowanego układu ścian poprzecznych u izolatów z tego stanowiska wskazuje na ich podobieństwo do grzybów z klasy *Basidiomycetes*. W odróżnieniu od poprzednio opisanych zarodnikujące kolonie grzyba na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4) charakteryzowały się krótkimi, prostymi odgałęzieniami wyrastającymi z czwartej strefy strzępki oraz przegrodami w formie krążków (fot. 5), a cytoplazma strzępek wykazywała sporadyczne objawy granulacji.



Fot. 4. Dychotomiczne rozgałęzienia strzępek grzybni w powiększeniu 100-krotnym



Fot. 5. Strzępki grzybni z prostymi odgałęzieniami w powiększeniu 100-krotnym

Proste przegrody występowały również u niezarodnikujących, pozbawionych sprzążek strzępek kolonii grzyba ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (p3). U pozostałych izolatów z tego stanowiska obserwowano obecność dużej ilości zarodników. Dodatkowo strzępki grzybni tworzyły mniej lub bardziej zbite układy grzybniowe, dające się wyróżnić pod mikroskopem, złożone z równoległe ułożonych i mocno do siebie przylegających strzępek. Natomiast w budowie strzępek niewchodzących w skład „sznurów” można było wyróżnić przegrody zlokalizowane w miejscu występowania odgałęzienia bocznego. Pozbawione sprzążek strzępki zarodnikującej grzybni, wypełnione ciałami zapasowymi, ulegały silnej wakuolizacji w swojej dystalnej części. Proste strzępki, nierozgałęzione w części apikalnej, odznaczały się ścianami poprzecznymi umiejscowionymi u nasady rozgałęzienia, a kolonia – sporadyczną obecnością zarodników. Strzępki izolatów charakteryzowały się obecnością pęcherzykowatych rozszerzeń występujących u nasady rozgałęzienia oraz licznymi ciałami sferycznego kształtu.



Na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1) wyróżniono typowe ściany poprzeczne w formie krążków (zlokalizowane nie tylko u nasady rozgałęzień) w przewężonych podwierzchołkowo strzępkach kolonii. Izolaty te charakteryzowały się brakiem sprzążek. Dodatkowo u jednego z grzybów stwierdzono obecność kryształów, podczas gdy nie zaobserwowano występowania tego typu wydaliny w obrębie zarodnikującej kolonii.

Cechą charakterystyczną kolonii grzybów wyizolowanych ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) było występowanie pęcherzykowatych nabrzmień na końcach strzępek tych grzybni, które wzrastały jako odgałęzienie strzępki głównej. Pęcherzykowate grono, składające się z zarodników (pojedynczych lub łańcuszków), łatwo odpadające od główki, pozwala na dużym prawdopodobieństwem zakwalifikować je do typu botryblastospor. Innego typu zarodniki, z wyraźnie zagęszczoną cytoplazmą, wyróżniono w obrębie kolejnej kolonii. Cechowały się one bazypetalnym powstawaniem na trzonkach będących przedłużeniem komórki. Zarodnikująca kolonia odznaczała się w szczególności brakiem sprzążek oraz nagromadzeniem wakuol i ciał zapasowych w dystalnych częściach strzępek, podczas gdy ich apikalne partie były stosunkowo gęste.

Badanie morfologii strzępek kolonii wyizolowanych z korzeni drzew rosnących na stanowisku z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5) wykazała obecność dychotomicznych rozgałęzień i brak występowania sprzążek. Do utworów strzępkowych grzybni zaliczono również apikalnie rozdęte boczne odgałęzienia, położone na krótkich odgałęzieniach odchodzących od strzępki głównej, zakończone pęcherzykiem, oraz strzępki układające się w swoistego rodzaju zwoje. Innego typu budowa (strzępki w postaci krótkich, beczułkowatych komórek oddzielonych od siebie ścianami poprzecznymi typu prostego) charakteryzowała niezarodnikujące kolonie. Dodatkową cechą diagnostyczną był również brak sprzążek oraz sporadycznie obserwowane pojedyncze kryształy.

#### *Drugi termin badań – letni*

Strzępki grzybów wyizolowanych w drugim terminie cechowały się (poza jednym wyjątkiem) brakiem sprzążek w obrębie przeważnie niezarodnikujących kolonii, co pozwala na ich systematyczne umiejscowienie w klasie *Ascomycetes* (fot. 6). Pozbawione zarodników kolonie grzybów ze stanowiska z popiołem nienawożonym (p) wykazywały obecność prostych długich strzępek w obrębie czoła wzrostu kolonii.



Fot. 6. Strzępki grzybni *Ascomycetes* w powiększeniu 40-krotnym i 100-krotnym



Inną morfologią cechowała się kolonia ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 4 (p4). Krótkie odgałęzienia strzępek sprawiały wrażenie pozbawionych materiałów zapasowych w porównaniu ze strzępkami głównymi, z których wyrastały, ale nie obserwowano sprzążek zarówno w obrębie strzępek pierwszego, jak i drugiego rzędu niezarodnikujących kolonii. Natomiast strzępki grzybni zarodnikującej kolonii spletały się, tworząc swoistego rodzaju zwoje składające się ze strzępek, których cytoplazma wykazywała objawy granulacji. Oprócz występowania zagregowanej cytoplazmy apikalnej części rozdętych strzępek nie zaobserwowano jednak sprzążek.

Podobnie brak sprzążek cechował czoło niezarodnikującej kolonii grzybów ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 3 (p3), składającej się z prostych strzępek o gęstej cytoplazmie. Natomiast w obrębie niezarodnikującej kolonii obserwowano sporadycznie krótkie odgałęzienia wyrastające z grubych strzępek pozbawionych sprzążek.

W przeciwieństwie do opisanych wcześniej wariantów cechą morfologiczną niezarodnikującej kolonii ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1) było występowanie sprzążek umiejscowionych w obrębie strzępek przybierających postać wielokrotnie rozgałęzionych komórek. Wiele komórek o zgranulowanej cytoplazmie charakteryzowało się również szeregiem rozdęć i wypustek.

Zarodnikująca kolonia grzybów ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) cechowała się nagromadzeniem koralikowych zgrubień dystalnych części strzępek, podczas gdy apikalne partie były ich pozbawione. Charakteryzowała się również brakiem sprzążek. Natomiast pozbawione sprzążek strzępki zarodnikującej grzybni ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5) ulegały silnej wakuolizacji w swojej dystalnej części. Ponadto oprócz sporadycznego występowania buławkowatych struktur osadzonych na cienkich, krótkich trzonkach obserwowano strzępki układające się w zwoje. W przeciwieństwie do innej kolonii proste, długie strzępki niezarodnikującej grzybni, przylegając ściśle do siebie, formowały swoistego rodzaju „sznury”. Nie zaobserwowano tutaj również obecności sprzążek w obrębie strzępek.

#### Trzeci termin badań – jesienny

Strzępki grzybów wyizolowanych w trzecim terminie cechowały się występowaniem sprzążek w obrębie niezarodnikujących kolonii (kultury umiejscowione w klasie *Basidiomycetes*) lub ich brakiem (kolonie zakwalifikowane do *Ascomycetes*). Niezarodnikująca kolonia ze stanowiska z popiołem nienawożonym (p) składała się z dychotomicznie rozgałęzionych strzępek pozbawionych sprzążek w przeciwieństwie do strzępek kolejnych kolonii, które wykazywały obecność tych sprzążek. Natomiast oddalone od czoła kolonii strzępki niezarodnikującej grzybni spletały się, tworząc mniej lub bardziej zbite układy grzybniowe, dające się wyróżnić pod mikroskopem, z charakterystycznymi pęcherzykami na powierzchni, podczas gdy strzępki czoła kolonii były pozbawione owych pęcherzyków. Występowanie sprzążek w obrębie niezarodnikującej kolonii pozwala zakwalifikować ją do klasy *Basidiomycetes* (fot. 7).

Podobnie w obrębie niezarodnikującej kolonii ze stanowiska z popiołem nawożonym i nadkładem 4 (p+4) można było wyróżnić sprzążki zlokalizowane głównie w dystalnych częściach strzępek. Cechą morfologiczną kolejnych kolonii było występowanie pęcherzyków na powierzchni jej strzępek oraz brak zarodnikowania; w obrębie niezarodnikującej kolonii nie były widoczne tak pęcherzyki, jak i sprzążki na powierzchni strzępek. W wariantcie z popiołem nienawożonym z nadkładem 3 (p3) strzępki niezarodnikujących kolonii charakteryzowały się występowaniem przegród (najprawdopodobniej złożonych), podczas



gdy nie zaobserwowano tego typu przegród w obrębie innych kolonii. Ponadto we wszystkich wspomnianych koloniach nie odnotowano obecności sprzążek.



Fot. 7. Niezarodnikująca kolonia *Basidiomycetes* w powiększeniu 100-krotnym

Spośród izolatów ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 1 (p1) wiele niezarodnikujących kolonii składało się z przeważnie prostych, tylko sporadycznie rozgałęzionych strzępek. Elementem składowym strzępki były również przegrody (najprawdopodobniej proste), co w połączeniu z brakiem sprzążek oraz oceną morfologii kolonii, pozwala bardzo ostrożnie zakwalifikować omawiane grzyby do klasy *Ascomycetes*. W odróżnieniu od poprzednio opisanych kolonii jedna z kultur składała się ze strzępek dychotomicznie rozgałęzionych w części apikalnej, często o bardzo nieregularnym zarysie. Cechą charakterystyczną było również występowanie szeregu rozdęć i wypustek w obrębie komórek o zgranulowanej cytoplazmie wypełnionej ciałami lipidowymi. Nie zaobserwowano natomiast obecności sprzążek w obrębie strzępek tej kolonii. Na tym stanowisku odnotowano również charakterystyczne beczułkowate komórki, układające się w koralikowate sznury u niezarodnikującej kolonii.

Cytoplazma zarodnikującej grzybni ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 2 (p2) ulegała silnej granulacji w dystalnej części strzępek. Oprócz braku sprzążek obserwowano sklerocja nagromadzone w starszych częściach kolonii. Czoło niezarodnikującej kolonii składało się z prostych strzępek o gęstej cytoplazmie, pozbawionych sprzążek. Oprócz sporadycznych rozdęć w dystalnych częściach strzępek niezarodnikująca kolonia była morfologicznie zbliżona do grzybów z klasy *Ascomycotina*.

Strzępki grzybni zarodnikującej kolonii ze stanowiska z popiołem nienawożonym i nadkładem 5 (p5) spletały się, tworząc swoistego rodzaju zwoje składające się ze strzępek, których cytoplazma, wypełniona ciałami zapasowymi, wykazywała objawy granulacji. Ponadto wiele komórek o zgranulowanej cytoplazmie cechowało się występowaniem rozdęć. Inna morfologia charakteryzowała proste strzępki nierozgałęzione w części apikalnej. Ich ściany poprzeczne były umiejscowione u nasady rozgałęzienia, a cała kolonia cechowała się sporadyczną obecnością zarodników. Zupełnie inną budową odznaczały się te strzępki niezarodnikujących izolatów, u których obserwowano obecność pęcherzykowatych rozszerzeń u nasady dychotomicznego rozgałęzienia oraz występowanie przegród (najprawdopodobniej doliporowych). Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, iż wiek kolonii znacząco wpływał na morfologię strzępek i częstotliwość występowania rozszerzeń.



## 6. Podsumowanie wyników i dyskusja

Od czasu XIX-wiecznej, szybko postępującej industrializacji zauważa się wzrost negatywnego oddziaływania człowieka na środowisko naturalne. Silna antropopresja objawia się tworzeniem przez ludzi coraz większej liczby odpadów nie tylko przemysłowych, ale również komunalnych i rolniczych, na których składowanie potrzeba coraz większych przestrzeni. To niszczące oddziaływanie zaczyna powodować zmiany jakościowe oraz ilościowe flory i fauny na terenach zajętych przez człowieka. W krajach uprzemysłowionych w ostatnich latach obserwuje się wielokrotne przyspieszenie tempa degradacji naturalnych zasobów przyrody, w tym degradacji gleb. Powierzchnia obszarów zdegradowanych powiększa się, między innymi na skutek działalności przemysłu energetycznego, wydobywczego i hutniczego. Obszary te stanowią duży problem. Zwiększanie się ich uszczupla tereny pod rekreację, uprawy rolnicze i leśne oraz budownictwo.

Zagospodarowanie odpadów przemysłowych energetyki węgla kamiennego jest istotnym zagadnieniem zarówno dla producentów, jak i dla podmiotów zajmujących się bezpośrednią utylizacją odpadów. W Polsce powierzchnie zajmowane przez składowiska odpadów przemysłowych stanowią obszar 10-krotnie większy niż w państwach Unii Europejskiej. W ciągu roku ze spalania węgla powstaje około 20 mln ton odpadów paleniskowych, które tylko w niewielkim stopniu zostają wykorzystane do innych celów niż deponowanie ich na składowiskach odpadów paleniskowych, co stwarza zarówno problem ekologiczny, jak i ekonomiczny. Przykładem takiej działalności jest Elektrownia „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. Przedsiębiorstwo to rocznie spala niemal 2,6 mln ton węgla oraz 200 tys. ton biomasy, z czego powstaje 560 tys. ton odpadów, w tym ponad 330 tys. ton popiołożużli. Powstałe odpady charakteryzują się specyficznymi właściwościami chemicznymi, mianowicie wysokim odczynem pH (9–12), brakiem substancji organicznej i azotu oraz występowaniem trudno dostępnych form tlenków sodu, potasu, siarki, żelaza, fosforu i potasu. Odpady te są magazynowane na składowisku odpadów paleniskowych, a tylko nieznaczna ich część zostaje poddana odzyskowi (niespełna 28 tys. ton), co powoduje powiększanie się powierzchni składowiska. Jednak wyniki wielu badań (Baran i in. 1993; Bogacz 1995; Kitzak i in. 1999; Harabin i Wrona 2000; Czyż i Kitzak 2003; Maciak 2003; Bielińska i Stankowski 2004; Bašućka 2006; Chudecka i Tomaszewicz 2009), jak i wnioski przedstawione w niniejszej pracy wskazują, że terenom tym można przywrócić wartość użytkową i zdolność produkcyjną przez właściwe zabiegi rekultywacyjne – techniczne, agrotechniczne i biologiczne.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 roku w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (DzU z 2006 roku, nr 49, poz. 356) odpady powstałe ze spalania węgla kamiennego należą do grupy R-14 i można je rekultywować z osadami ściekowymi w stosunku 1 : 1. Popioły suche i popiołożużle są materiałami, które można wykorzystać jako materiały budowlane. Wyniki badań przeprowadzonych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach wskazują, że mieszaniny popioło-żużlowe odpowiadają normom PN-S-96012, PN-S-06103 i PN-S-96011 oraz PN-88/B-04481 i PN-B-12095, dotyczącym stosowania mieszanek popioło-żużlowych w robotach drogowych, produkcji cementu oraz przy budowie nasypów ziemnych. Zgodnie z europejską normą PN-EN 450 polskie cementownie z kapitałem zagranicznym stosują suche popioły jako istotny komponent – około 20% – do produkcji cementu.



Według *Nowej strategii w sprawie odpadów...* (2005) przyjętej przez kraje członkowskie Unii Europejskiej oraz Dyrektywy Rady (EWG) 75/442 z dnia 15 lipca 1975 roku w sprawie odpadów (DZUrz. WE L nr 194 z 1975 roku, art. 3, poz. 1) działania powinny zmierzać do maksymalnego ograniczenia składowania odpadów jako metody utylizacji przy jednoczesnym dążeniu do ich zagospodarowania. Ponowne zastosowanie popiołożużli w procesach gospodarczych może przynieść znaczne zmniejszenie kosztów inwestycji, powstrzymać degradację zasobów naturalnych oraz przyczynić się do poprawy kondycji finansowej elektrowni ponoszących koszty składowania odpadów paleniskowych.

Zastosowanie odpadów paleniskowych wraz z innymi produktami odpadowymi (bogatymi w materię organiczną, jak komposty czy osady ściekowe) może stać się celowe, a nawet konieczne, postępująca bowiem urbanizacja kraju oraz działalność eksploatacyjna i przemysłowa zostawiają po sobie coraz większe powierzchnie gruntów zdegradowanych i zdewastowanych, wymagających odtworzenia rzeźby terenu, sieci dróg czy gleb jako siedliska dla roślin. Optymalne dla środowiska byłoby przeprowadzenie ich rekultywacji z zastosowaniem materiałów naturalnego pochodzenia (mas ziemnych próchnicznych i bezpróchnicznych), których jednak pozyskanie w tak ogromnej ilości jest niemożliwe, a często wiązałyby się z degradacją nowych terenów. Korzystnym rozwiązaniem wydaje się znalezienie gatunków roślin mogących żyć na zdegradowanym terenie.

Badania nad rekultywacją terenów zdegradowanych są prowadzone od wielu lat. W latach 1971–1973 (Harabin i Wrona 2000) prowadzono doświadczenie mające na celu zrekultywowanie terenów, znajdujących się na zwałowisku odpadów górnictwa węgla kamiennego „Przechlebie” i centralnym zwałowisku „Smolnica” w Zabrze. Do zagospodarowania zwałowisk użyto 35 gatunków i odmian drzew oraz krzewów. Najbardziej przydatne do tych celów okazały się mieszańce topoli: *Populus* ‘Hybrida 194’, *Populus* ‘Hybrida 275’, *Populus* ×*canadensis* Moench ‘Grandis’ i *Populus* ×*canadensis* ‘Italica 214’. Zadowalające rezultaty uzyskano także, stosując porzeczkę czarną (*Ribes nigrum* L.), wierzbę ostrolistną (*Salix acutifolia* Willd.), wierzbę wiciową (*Salix viminalis* L.) oraz ligustr pospolity (*Ligustrum vulgare* L.). Mniej przydatne okazały się między innymi: dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), klon zwyczajny (*Acer platanoides* L.), lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.), lipa szerokolistna (*Tilia platyphyllos* Scop.), topola biała (*Populus alba* L.) i rokitnik zwyczajny (*Hippophaë rhamnoides* L.).

W roku 1979 (Bogacz 1995; Bógacz i in. 1997) na terenie Nadleśnictwa Czulów, niedaleko Katowic, założono doświadczenie, w którym wykorzystano popiół pochodzący z ciepłowni Tychy. Wprowadzono tam między innymi takie gatunki drzew, jak: dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), sosna czarna (*Pinus nigra* Arn.), modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.) i brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth.). Doświadczenie dotyczyło poznania liczebności poszczególnych gatunków, zwarcia koron, wysokości i pierśnic posadzonych drzew, a także wybranych właściwości chemicznych i fizycznych wierzchnich warstw gleb. Z danych przedstawionych przez autorów wynika, że dąb czerwony na badanym siedlisku charakteryzował się niewielką liczebnością.

Obserwacje prowadzono także na zrekultywowanym składowisku mokrego odpopielania elektrowni „Adamów” w Turku (Wróbel i in. 2005; Wróbel i in. 2006; Pacewicz i in. 2006; Pacewicz i in. 2007; Pacewicz i in. 2008). Założono tam w latach 90. XX wieku 17 powierzchni eksperymentalnych utworzonych z lotnych popiołów i żużlu, pokrytych 25–50-centymetrową warstwą osadów ściekowych lub gliny zwałowej. W celu poprawy chemizmu zastosowano kompleksowe nawożenie NPK lub nawożenie azotowe. Na analizowanych powierzchniach stwierdzono występowanie 57 gatunków roślin naczyniowych.



wych, w tym 10 gatunków drzew i krzewów należących do 51 rodzajów z 17 rodzin. Niższe rośliny zarodnikowe były reprezentowane tylko przez jeden gatunek mszaka – *Ceratodon purpureus* (Hedwig) Bridel. Najliczniej reprezentowane były rodziny astrowatych (*Asteraceae*) – 16 taksonów i traw (*Poaceae*) – 14 taksonów. Wymienieni autorzy stwierdzili, że powierzchnie eksperymentalne, na których zastosowano wariant ze skałą popiołową bez nawożenia mineralnego lub tylko nawożenie azotowe, charakteryzowały się znikomą pokrywą roślinną, a najlepsze rezultaty osiągnięto na wariantach z nadkładem gliny zwalowej.

Prowadzący doświadczenia dążą przede wszystkim do wypracowania sposobów, które zwiększą skuteczność przeprowadzanych prac rekultywacyjnych, jednocześnie obniżając ich koszty, a prace rekultywacyjne, prowadzone w należyty sposób, przyczynią się do powstawania gleby oraz do właściwego rozwoju roślin. W doświadczeniu polowym założonym przy elektrowni „Dolna Odra” badano, jak dąb czerwony reaguje na odpady paleniskowe z węgla kamiennego znajdujące się na składowiskach wymagających rekultywacji. Doświadczenie z podłożami utworzonymi na bazie popiołożuźli, założone w 2004 roku, miało dać odpowiedź na pytanie o przydatność antropogenicznych materiałów do formowania sztucznego tworzywa – substytutu gleby. Podłożem był popiołożeźel miejscowego pochodzenia nienawożony, jak i dodatkowo wzbogacony w nawozy NPK. Istotnym aspektem w pracach rekultywacyjnych z użyciem popiołów jest skomponowanie możliwie najbardziej „efektywnego”, sprawnego w środowisku profilu gleby antropogenicznej, tzn. takiego, który w jak najkrótszym czasie przyjmie wiele funkcji przynależnych glebom. Chodzi tu przede wszystkim o możliwość zaspokojenia potrzeb pokarmowych roślin i pełnienie funkcji siedliska dla mikroorganizmów glebowych, dla której rozwinięcia nieodzowne jest występowanie w glebie materii organicznej. Wyniki doświadczenia wskazują, że istotne dla wzrostu roślin jest przykrycie popiołów warstwą zawierającą materię organiczną – utworzoną z komponentów naturalnych (torf, słoma), antropogenicznych (osady ściekowe, komposty) lub będącą mieszaniną tych komponentów. Układ ten, wraz z podkładem, stanie się skałą macierzystą nowo tworzącej się gleby.

Najlepsze średnie wyniki dotyczące wszystkich wykonanych badań uzyskano na stanowisku, gdzie w podkładzie zastosowano popiół nawożony nawozami mineralnymi NPK (60:70:70), a w nadkładzie mieszaninę kory z drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i popiołu w stosunku objętościowym 1:1:2:4 (p+2). Podkład w tym przypadku znacznie oddziałuje na rozwój drzew przez dostarczanie roślinom dodatkowych składników pokarmowych w postaci składników mineralnych. W nadkładzie 2 dużą rolę odgrywają składniki organiczne, które zostały dostarczone w postaci korowiny i kompostu. Mieszanina tych składników – mineralnych w podłożu i organicznych w nadkładzie – miała istotne znaczenie dla przyrostów roślin. Rośliny osiągnęły średnio wysokość do ponad 140 cm i największą średnicę nasady pni – niemal 35 mm, a także charakteryzowały się średnio największą liczbą pędów bocznych – 15 sztuk.

Równie dobrym wariantem dla prawidłowego rozwoju drzew okazał się sam popiół w podkładzie (bez dodatku nawozów mineralnych) z warstwą nadkładu 2. Także w tym przypadku uzyskano wysokie wartości mierzonych cech. Tak było dla: średniej długości liścia (15,84 cm), średniej długości blaszki liściowej (14,08 mm), średniej odległości od najszerzego miejsca blaszki do podstawy (9,02 mm) oraz średniej powierzchni blaszki liściowej (68,46 cm<sup>2</sup>).

Z przeprowadzonych badań wynika, że najodpowiedniejszymi wariantami do biologicznej rekultywacji są podłoża z popiołu nawożonego lub z popiołu nienawożonego i nadkładu 2 – mieszaniny kory z drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA i popiołu w stosunku



objętościowym 1:1:2:4 (p+2 i p2). Rośliny rosnące na tych kombinacjach podłoży charakteryzowały się najlepszymi parametrami biometrycznymi oraz fizjologicznymi (mimo niższego współczynnika wybarwienia liści sprawność fotosyntetyczna była najwyższa). U drzew rosnących na wymienionych wcześniej stanowiskach stwierdzono także najlepszy rozwój mikoryz, mogący mieć wpływ na lepszą ogólną kondycję roślin. Różnice te mogą wynikać ze zmian wciąż zachodzących w podłożach, ale także ze zmian w warunkach pogodowych, które występowały w omawianych latach.

Biorąc pod uwagę wszystkie parametry wzrostu i rozwoju roślin, za najbardziej niekorzystny wariant należy uznać popiół bez nadkładu. Analizując statystycznie opracowane wyniki, a także obserwując rośliny, można zauważyć, że rodzaj zastosowanego nadkładu ma zdecydowany wpływ na ostateczny rezultat rekultywacji. Brak nadkładu powoduje obniżenie wartości wyników w porównaniu z tym samym podłożem, ale dodatkowo z nadkładami 1 lub 2 (mieszanka torfu niskiego i popiołu, mieszanka korowiny drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu i popiołu).

Rośliny preferowały podłoże nawożone NPK. Na różnice w wynikach badań tu omawianych, prowadzonych przez pięć lat, może mieć wpływ zmiana warunków chemicznych utworzonego podkładu z popiołu nienawożonego. Może to wynikać z działalności systemu korzeniowego roślin, który przyczynił się do poprawy struktury wytworzonych gleb przez ich spulchnienie. Również naniesiona warstwa materii organicznej przyczyniła się do poprawy ich właściwości chemicznych, inicjując procesy glebotwórcze. Chudecka i Tomaszewicz (2009) podają, że już po trzech latach istnienia modelu rekultywacji biologicznej nastąpiło wyraźne zróżnicowanie zawartości materii organicznej w nadkładach. Jest to efektem oddziaływania procesów mineralizacji, humifikacji i akumulacji materii organicznej z roślinności porastającej poletka. Ich badania dowodzą, że wraz ze spadkiem zawartości materii organicznej w nadkładach nie nastąpiło pogorszenie się warunków wodno-powietrznych, lecz nawet ich poprawa. Natomiast nadkłady z dużym udziałem masy organicznej wcale tych cech nie gwarantowały. Zaobserwowano również obniżenie wartości pH nadkładów z odczynu alkalicznego na obojętny oraz niewielki spadek pH podkładu, co daje możliwość wprowadzania na tak wytworzone gleby roślinności o coraz większych wymaganiach glebowych.

Zastosowanie nawożenia podłoża popiołowego pełną dawką NPK pozwoliło rosnącym na nim drzewom osiągnąć średnicę nasady pnia 1,7 razy większą w porównaniu z drzewami rosnącymi na stanowisku kontrolnym utworzonym na popiele i blisko 1,4 razy większą w stosunku do drzew rosnących na stanowisku kontrolnym utworzonym na gruncie naturalnym z piasków aluwialnych. Wysokość roślin, liczba pędów oraz długość przyrostu rocznego u drzew rosnących na popiele nienawożonym były mniejsze o 20–50% niż u roślin rosnących na pozostałych stanowiskach. Spośród nadkładów wykorzystanych w doświadczeniu największe różnice wystąpiły po zastosowaniu nadkładu 2 (p+2), gdzie wysokość roślin była większa prawie o 40% w stosunku do roślin rosnących na stanowisku kontrolnym z popiołem nienawożonym (p0).

Istotne są zmiany we właściwościach zastosowanych podkładów i nadkładów zachodzące od momentu założenia modelu i posadzenia na nim roślin do czasu ukończenia badań. W okresie badań w nadkładach poprawiły się warunki wodno-powietrzne oraz zmianie uległ odczyn. Jak podają Chudecka i Tomaszewicz (2009), w nadkładach 1 i 2 odczyn jest na pograniczu obojętnego i zasadowego, natomiast w przypadku pozostałych oscyluje w granicach obojętnego. W nadkładach 3, 4 i 5 zaobserwowano zmniejszenie zagęszczenia, a w nadkładach 1 i 2 wzrost zbitości. Największa ilość azotu ogólnego występowała w nadkładzie 3. Także w nadkładach odnotowano większą zawartość azotu,



fosforu, magnezu, wapnia i siarki, natomiast podkład z popiołu nawożonego lub nienawożonego zawiera większą ilość potasu aniżeli nadkłady z większą ilością osadów ściekowych.

Nadkłady zawierały więcej składników pokarmowych dostępnych dla roślin, ale także metali ciężkich i innych pierwiastków aniżeli podkłady. Wyjątek stanowiła tylko ilość potasu, którego było więcej w podkładach utworzonych w niniejszym doświadczeniu z popiołu paleniskowego powstałego ze spalania węgla kamiennego. Zawartość form ogólnych miedzi, manganu, niklu i cynku w nadkładach nie budziła zastrzeżeń w porównaniu z normami podawanymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (DzU z 2002 roku, nr 134, poz. 1140). Zawartość form ogólnych kadmu i ołowiu natomiast była nieco większa, aniżeli dopuszczają normy dla gleb lekkich. Nadkłady zawierały najwięcej form rozpuszczalnych w 1 mol HCl miedzi i kadmu, następnie manganu i ołowiu, a najmniej niklu i cynku w stosunku do ilości form ogólnych. Wiąże się to z możliwością pobrania tych metali ciężkich przez rośliny. W trakcie prowadzenia badań nie wystąpiła jednak wyraźna migracja makroskładników i metali ciężkich z nadkładów do podkładów oraz do roślin.

Uzyskane wyniki dają możliwość wyboru najbardziej odpowiedniego sposobu przygotowania rekultywowanego podłoża pod uprawę drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.). Badając wpływ zróżnicowanej technologii rekultywacji popiołów, powinno się zwrócić szczególną uwagę na te technologie, przy których badany gatunek nie osiągnął zadowalających wyników. Chcąc osiągnąć dobre rezultaty w technologii rekultywacji terenów, należy eliminować te metody, których zastosowanie nie przynosi satysfakcjonujących efektów.

Zastosowanie nadkładów z dodatkiem materii organicznej do rekultywacji odpadów paleniskowych istotnie stymuluje aktywność enzymatyczną gleby, wpływając na aktywizację środowiska glebowego (Bielińska i Stankowski 2004; Gilewska i Płóćniczak 2004; Mocek i in. 2004; Bielińska i in. 2005; Bielińska i Futa 2008; Błaszak i Nowak 2008; Bielińska i in. 2009). Według tych autorów połączenie właściwości fizycznych oraz chemicznych popiołów i zastosowanych komponentów organicznych pozwala na uzyskanie wartościowego materiału do rekultywacji.

Większość roślin wyższych do prawidłowego wzrostu i rozwoju potrzebuje symbiozy z grzybami, promieniowcami czy bakteriami, które kolonizują korzenie. Organizmy te pomagają roślinom w lepszym przyswajaniu makro- i mikroelementów z podłoża, co pozwala roślinom wyższym rozwijać się na stanowiskach ubogich w składniki odżywcze, jakimi są między innymi stanowiska rekultywowane. Badania wpływu mikoryz na wzrost i zdrowotność drzew prowadzili różni autorzy (Tochowicz 1951; Read i Stribley 1973; Reid 1978; Powell i Bates 1981; Bradley i in. 1982a, b; Harley i Smith 1983; Read i Bajwa 1985; Dixon 1988; Linderman 1988; Leake i Read 1989; Kropp i Langlois 1990; Xiao i Berch 1995; Smith i Read 1997; Dahm i Redlak 2000; Kacprzak i in. 2000; Karolewski i Werner 2000; Kielszewska-Rokicka 2000; Rudawska 2000; Werner i in. 2000; Nawrocka-Grześkowiak 2001; Dickie i in. 2002; Kowalski 2007; Rudawska i Leski 2007; Aleksandrowicz-Trzczińska 2009; Bolibok i in. 2009; Krupa 2009; Myga-Nowak i in. 2010). Wymienieni autorzy podkreślają istotę wpływu grzybów mikoryzowych na prawidłowy wzrost drzew. Zaobserwowano to także podczas badań wykonanych w doświadczeniu na modelu rekultywacyjnym. U drzew, które charakteryzowały się lepszym wzrostem i rozwojem, stwierdzono intensywniejsze występowanie mikoryz. Jak podaje Król (1967), mikroflora i mikrofauna w drzewostanie dębu czerwonego jest uboższa niż w drzewostanie dębu szypułkowego. Zmniejszenie ilości runa leśnego w drzewostanie dębu czerwonego należy uznać za cechę pozytywną, ponieważ opady dostające się do gleby są wykorzystywane przez korzenie drzew, a nie roślin zielnych. Jest to szcze-



gólnie istotne na glebach słabszych, piaszczystych, gdzie pod dębami szypułkowymi występuje masowo borówka czarna zatrzymująca dużo wody opadowej i dużo jej zużywająca. Poza dodatnią cechą związaną z bilansem wodnym pozytywne oddziaływanie dębu czerwonego na podłoże jest związane dodatkowo z rozwijaniem głębokiego i gęsto rozgałęzionego systemu korzeniowego oraz obfitym opadem liści, z których powstaje dobrej jakości próchnica. Podłoża utworzone na obiekcie doświadczalnym są wierzchniej, 40-centymetrowej warstwie pulchne niezależnie od zastosowanego nadkładu, co ułatwia rozrost masy korzeniowej roślin. Notowane niewielkie zagęszczenie podłoża popiołowych jest efektem naturalnego osiadania gleb, nie jest jednak na tyle duże, by stwarzać problemy w rozroście systemów korzeniowych i kształtować jednoznacznie negatywne stosunki wodno-powietrzne tych gleb. Pulchność ta wynika ze znaczącej ilości materii organicznej w nadkładach. Materia ta, będąc źródłem składników pokarmowych dla roślin (szczególnie azotu) i mikroorganizmów, powoduje inicjowanie ważnych procesów glebowych, w tym tworzenia i stabilizacji struktury gleby.

Zawartość makro- i mikroelementów w podłożach, w zależności od zastosowanych kombinacji, kształtowała się bardzo różnie. Największe zawartości badanych pierwiastków w przeważającej większości określono na układach utworzonych z dodatkiem nawozów mineralnych do podkładu (p+), a najniższe – na stanowiskach kontrolnych. Różnica zawartości większości badanych makro- i mikroelementów w liściach wynosiła 3–5 razy, a w korzeniach – 0,5–2 razy. Największe różnice stwierdzono w przypadku zawartości manganu – w liściach była to różnica 7-krotna, a w korzeniach niemal 14-krotna. Znaczne różnice odnotowano też w przypadku zawartości niklu, cynku, żelaza oraz kadmu, przy czym zawsze większe zawartości występowały w liściach badanych drzew.

Rezultaty badań różnych autorów wskazują na możliwość uprawy wielu roślin rolniczych, a także przemysłowych i ozdobnych na terenach objętych rekultywacją z udziałem popiołów paleniskowych z węgla kamiennego, komunalnych osadów ściekowych i wyprodukowanych z nich kompostów. Potwierdzają to między innymi badania Barana i in. (1993 i 2006), Siuty i Wasiaka (2001), Krzywego i in. (2002 i 2004), Stankowskiego i in. (2003), Czyża i in. (2004), Bielińskiej i in. (2008), Zielińskiego i in. (2008) oraz Czyża i Kitzaka (2009). Wskazane jest kontynuowanie badań. Wynika to z faktu, że tworzenie się gleb jest procesem długotrwałym, a zastosowane podkłady i nadkłady są utworami stosunkowo młodymi. Dzięki dalszym badaniom wyniki staną się bardziej reprezentatywne.

## Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników można wysnuć następujące wnioski:

1. Badania przeprowadzone na drzewach dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) rosnących na podłożach utworzonych z popiołożuźli z dodatkiem substancji organicznych wskazują na przydatność tego gatunku do biologicznej rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych powstałych ze spalania węgla kamiennego.

2. Biorąc pod uwagę wszystkie badane cechy, najlepszy wzrost roślin stwierdzono na stanowisku z popiołem nienawożonym oraz nadkładem 2 – p2 [mieszanka kory drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA, popiołu (1:1:2:4)].

3. Najgorszym stanowiskiem do wzrostu roślin była kombinacja popiołu nienawożonego i nadkładu 1 – p1 [torf niski, popiół (1:3)].

4. Stwierdzono korzystny wpływ dodatku materii organicznej do warstwy nadkładów na cechy biometryczne, wzrostowe oraz fizjologiczne drzew dębu czerwonego (*Quercus rubra*).

5. Ilość składników pokarmowych dostępnych dla roślin znajdująca się w nadkładach odpowiadała wartościom normatywnym (od średnich do niskich) dla gleb uprawnych.

6. Stwierdzono obecność oraz rozwój grzybów mikoryzowych na korzeniach badanych drzew.

7. Średnia zawartość kadmu, miedzi, manganu i ołowiu w korzeniach drzew była odwrotnie skorelowana z zawartością tych pierwiastków w podłożu. W przypadku pozostałych pierwiastków niska wartość współczynnika korelacji wskazuje na brak istotnego związku pomiędzy ilością makro- i mikroelementów w podłożu i ich kumulowaniem w korzeniach i liściach. Współczynnik korelacji był wysoki i istotny tylko pomiędzy średnią zawartością azotu i siarki w liściach.

8. Podłoża sztucznie utworzone na obiekcie doświadczalnym są wierzchniej, 40-centymetrowej warstwie pulchne niezależnie od zastosowanego nadkładu, co ułatwia rozrost masy korzeniowej roślin. Występujące niewielkie zagęszczenie podłoży popiołowych jest efektem naturalnego osiadania gleb, nie jest ono jednak na tyle duże, by stwarzać problemy w rozroście systemów korzeniowych i kształtować jednoznacznie negatywne stosunki wodno-powietrzne tych gleb.

9. W trakcie trzyletnich badań odczyn nadkładów (pH w KCl) uległ obniżeniu. Obecnie większość zastosowanych nadkładów to materiały obojętne; jedynie nadkłady 1 [mieszanka torfu niskiego i popiołu (1:3)] i 2 [mieszanka kory drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego metodą GWDA, popiołu (1:1:2:4)] mają odczyn na pograniczu obojętnej i zasadowej.

10. Wszystkie zastosowane nadkłady oraz popiół wykazują ponadnormatywne zdolności magazynowania wody, co może okresowo, w warunkach nadmiaru wód powierzchniowych, wpływać na niedobór powietrza i ograniczać natlenienie.

Ze względu na złożoność i długotrwałość tworzenia się utworu glebowego, a także wykorzystywanie w doświadczeniu roślin drzewiastych wskazana jest interdyscyplinarna kontynuacja badań.





## Piśmiennictwo

- ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA M. 2009. Określanie stopnia zmikoryzowania systemu korzeniowego rocznych sadzonek sosny na podstawie próby. *Sylwan* 145(2): 5–13.
- ANDERSON E. 1949. *Introgressive hybridization*. New York, Wiley.
- ANDREARCZYK J. 1971. Zmienność liści wiązu pospolitego (*Ulmus campestris* L.). *Rocz. Dendrol.* 25: 117–136.
- ANDREARCZYK J. 1979. Zmienność gatunków *Ulmus* L. występujących w Polsce. *Monogr. Bot.* 57: 5–68.
- ANDRUSZCZAK E., STRĄCZYŃSKI S., ŻURAWSKI H., PABIN J., KAMIĘŃSKA W. 1981. Właściwości fizyczne i chemiczne popiołów z hałdy elektrociepłowni Czechnica oraz skład chemiczny roślin zasiedlających hałdę. *Rocz. Glebozn.* 32(2): 25–35.
- ARCHAMBAULT L., BARNES B.V., WITTER J.A. 1990. Landscape ecosystems of disturbed oak forests of south-eastern Michigan, U.S.A. *Can. J. Forest Res.* 20: 1570–1582.
- BACIECZKO W., ZIELIŃSKI J. 2004. Wstępna ocena modelu rekultywacji odpadów paleniskowych Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie na podstawie flory synantropijnej. *Folia Univ. Agric. Stetin. Ser. Agricultura* 234(93): 9–17.
- BARAN S., FLIS-BUJAK M., TURSKI R., ŻUKOWSKA G. 1993. Przemiany substancji organicznej w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. *Zesz. Prob. Postęp. Nauk Rol.* 409: 243–250.
- BARAN S., WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A., ŻUKOWSKA G. 2006. Ocena przydatności osadu ściekowego i węgla mineralnej Grodan do rekultywacji gruntu bezglebowego na podstawie zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. *Rocz. Glebozn.* 57(1/2): 21–31.
- BAŠUČKA U. 2006. *Sukcesii roslinnosti porodnyh vidaliv šaht červonograds'kovo gimičopromislovovo rajonu*. Lwów, PWW NLTU Ukrainy, ISBN 978-966-8445-63-7.
- BEDNORZ L. 1998. Zmienność morfologiczna wawrzynka wilczyeliko (*Daphne mezereum*) na Nizinie Wielkopolskiej. W: *Botanika polska u progu XXI wieku*, Mater. 51 Zjazdu PTB, Gdańsk 15–19 września 1998: Gdańsk, Wydaw. UG: 32.
- BENČAT F. 1982. *Atlas rozšírenia cudzokrajnych derevin na Slovensku a rajonizacia ich pestovania*. Bratislava, Veda Vydavateľstvo Slovenkej Akademie Vied.
- BIAŁOBRZESKA M. 1970a. Grab zwyczajny *Carpinus betulus* L. Zmienność liści i owoców drzew i krzewów w zespołach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. *Monogr. Bot.* 32: 86–100.
- BIAŁOBRZESKA M. 1970b. Kruszyna pospolita *Frangula alnus* L. Zmienność liści i owoców drzew i krzewów w zespołach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. *Monogr. Bot.* 32: 179–195.
- BIAŁOBRZESKA M. 1970c. Leszczyna *Corylus avellana* L. Zmienność liści i owoców drzew i krzewów w zespołach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. *Monogr. Bot.* 32: 66–85.
- BIAŁOBRZESKA M., STASZKIEWICZ J. 1997. Zmienność liści leszczyny pospolitej – *Corylus avellana* (Betulaceae). Zmienność wybranych gatunków krzewów i drzew. *Fragm. Florist. Geobot., Ser. Polonica* 15(Suppl. 2): 15–25.
- BIAŁOBRZESKA M., TURCHANOWICZ J. 1991. Badania systematyczno-biometryczne nad rodzajem *Betula* L. ze Strzeżlińca w Górach Stołowych. *Rocz. Dendrol.* 39: 51–78.
- BIELIŃSKA E.J., FUTA B. 2008. Aktywność enzymatyczna gleby jako wskaźnik efektu rekultywacji zdegradowanych terenów przy zakładach azotowych „Puławy” S.A. W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Szczecin, Zapol: 13–21.
- BIELIŃSKA E.J., FUTA B., STANKOWSKI S. 2005. Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na aktywność enzymatyczną i wybrane właściwości chemiczne industrioziemów na terenie Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Popioły z Energetyki*, XII Międzynar. Konf., Sopot, 12–14 października 2005 r. Szczecin, Ekotech: 234–246.



- BIELIŃSKA E.J., STANKOWSKI S. 2004. Wpływ popiołów i odpadów organicznych na właściwości biochemiczne gleb na modelu rekultywacji w ZE Dolna Odra S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf., Zakopane, 13–16 października 2004 r. Szczecin, Ekotech: 289–298.
- BIELIŃSKA E.J., WĘGOREK T., MOCEK A., PUCHAŁA A. 2009. Wpływ ryzosfery na aktywność enzymatyczną gleb w uprawie regeneracyjnej sosny zwyczajnej w zasięgu długoletniej emisji azotowej. W: *Tereny zdegradowane i rekultywowane – możliwości ich zagospodarowania*. Szczecin, Zapol: 25–34.
- BIELIŃSKA E.J., WIŚNIEWSKI J., WĘGOREK T., ZUBAŁA T., STANKOWSKI S. 2008. *Osady ściekowe w rekultywacji składowisk popiołów z elektrowni. Monografia, T. 4. Gospodarka odpadami komunalnymi*. Komitet Chemii Analitycznej PAN. Red. K. Szymański, R. Sidelko. Koszalin, Feniks: 111–120.
- BIESZCZAD S., SOBOTA J. 1999. *Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego*. Wrocław, Wydaw. AR we Wrocławiu: 307–387.
- BLĄSZAK M., NOWAK A. 2008. Sukcesja mikroorganizmów w glebach antropogenicznych utworzonych z popiołów paleniskowych i odpadów pochodzenia organicznego. W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Szczecin, Zapol: 23–30.
- BOGACZ A. 1995. Oddziaływanie melioracyjne dawek popiołu ze spalania węgla kamiennego na niektóre właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb piaszczystych siedliska borowego świeżego. *Zesz. Prob. Postęp. Nauk Rol.*, 418: 677–684.
- BOGACZ A., ZABAWSKI J., LICZNAR M. 1997. Oddziaływanie melioracyjnych dawek popiołu z węgla kamiennego na szatę roślinną siedlisk Boru Świeżego. *Sylvan* 1: 85–92.
- BOGUCKI Z. 1979. *Elementy statystyki dla biologów: statystyka opisowa*. Poznań, Wydaw. Nauk. UAM.
- BOIŃSKA U. 1974. Zmienność liści, owoców i łusek *Betula humilis* Schrk w północnej Polsce. *Stud. Soc. Sci. Toruń, Sec. D Botanica* 9: 108.
- BOIŃSKA U., NIENARTOWICZ A. 1979. Zmienność liści drzew i krzewów w zespołach lesnych rezerwatu Las Piwnicki k. Torunia. *Rocz. Dendrol.* 32: 73–84.
- BOLIBOK L., KOWALCZYK M., DROZDOWSKI S. 2009. Ocena wegetatywnej i generatywnej ekspansji rokitnika (*Hippophaë rhamnoides* L.) na zwalowisku zewnętrznym Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów pod kątem wykorzystania w procesie rekultywacji drogą sukcesji kierowanej. *Sylvan* 153(3): 203–216.
- BORATYŃSKI A. 1980. Zmienność jaworu w Polsce. *Arbor. Kórn.* 25: 53–84.
- BORATYŃSKI A. 1990. Outline of taxonomy and chorology. In: *Oak decline in Europe*, Proc. of an Intern. Symp., Kórnik, Poland, may 15–18, 1990. Poznań, PWRiL: 13–27.
- BOROWSKI J. 2008. *Wzrost rodzimych gatunków drzew przy ulicach Warszawy*. Warszawa, Wydaw. SGGW, ISBN 978-83-7583-053-8.
- BOROWSKI J., LATOCHA P. 2006. Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski – Trees and shrubs suitable for street conditions in Warsaw and other cities in central Poland. *Rocz. Dendrol.* 54: 83–93.
- BORÓWKA R.K. 2002. Środowisko geograficzne. W: *Przyroda Pomorza Zachodniego*, Szczecin. Oficyna In Plus: 15–17.
- BRADLEY R., BURT A.J.K., READ D.J. 1982a. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. *Nature* 292: 335–337.
- BRADLEY R., BURT A.J.K., READ D.J. 1982b. The role of mycorrhizal infection in heavy metal resistance. *New Phytol.* 91: 197–209.
- BRAND G.J., WALKOWIAK J.T. 1991. *Forest statistics for Iowa, 1990*. St. Paul, United States Department of Agriculture: 1–100.
- BRODOVIĆ T.M., BRODOVIĆ M.M. 1979. *Derev'â i kustarniki zapada USSR. Atlas*. Lwów, Izdat. Obedineniâ „Wiša Škola”: 80.
- BUGAŁA W. 2000. *Drzewa i krzewy*. Warszawa, PWRiL, ISBN 83-09-01724-3.
- CHAPMAN W.K., BESSETTE A.E. 1990. *Trees and shrubs of the Adirondacks*. Utica, NY, North Country Books, Inc.
- CHUDECKA J., TOMASZEWICZ T. 2009. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie odpadów paleniskowych. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 540: 321–327.



- CIEĆKO Z., NOWAK G., LISOWSKI J. 1988. Zawartość metali ciężkich w glebie w zależności od stosowania popiołu z węgla kamiennego. W: *Działanie popiołów z węgla kamiennego na glebę i roślinę*, Mater. Konf. Nauk., Olsztyn–Ostrołęka. Olsztyn, Ostrołęckie Tow. Nauk. im. Adama Chętnika: 7–13.
- COOMBES A. J. 1996. *Drzewa*. Warszawa, Wiedza i Życie: 171.
- CZEKAŁA J. 1999. Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. *Fol. Univ. Agric. Stetin*. 77: 33–38.
- CZYŻ H., KITCZAK T. 2003. Możliwość zadarniania hałd popioło-żużli w świetle przeprowadzonych badań. W: *Rekultywacja Terenów Zdegradowanych*, II Międzynar. Konf. Nauk.-Tech. Szczecin, BiG: 177–181.
- CZYŻ H., KITCZAK T. 2009. Dynamika zmian w szacie roślinnej trawników w zależności od charakteru podłoża i typu mieszanki. *Acta Agrophys*. 13(2): 321–328.
- CZYŻ H., KITCZAK T., STANKOWSKI S. 2004. Początkowy rozwój traw na podłożach z udziałem popiołów. W: *Popioły z energetyki*. Konf. Nauk., Warszawa, 13–16 październik. Szczecin, BiG: 349–356.
- CZYŻ H., ROGALSKI M., GOS A., KITCZAK T. 2003. Biologiczna rekultywacja hałd popioło-żużli. W: *Człowiek i Środowisko Przyrodnicze Pomorza Zachodniego*. Red. S. Rogalska i J. Domagała. Szczecin, Oficyna In Plus: 72–75.
- DAHM H., REDŁAK K. 2000. Wpływ związków fenolowych na aktywność enzymatyczną grzybów ektromikoryzowych. *Sylvan* 144(2): 77–86.
- DANIELEWICZ W. 1993. Morfologiczna zmienność liści, owoców i łusek owocowych brzozy karpackiej (*Betula carpatica* Waldst. et Kit.) w Polsce. *Rocz. Dendrol.* 41: 33–52.
- DANIELEWICZ W., MACIEJEWSKA I. 1994. Zmienność wybranych cech morfologicznych brzozy z przeobrażonych stanowisk torfowisk wysokich okolic Chlebowa w Puszczy Noteckiej. *Rocz. Dendrol.* 42: 23–36.
- DANIELEWICZ W., MALIŃSKI T. 1994. Obce gatunki drzew i krzewów w Wielkopolskim Parku Narodowym. *Prz. Przyr.* 5: 181–189.
- DICKIE I.A., KOIDE R.T., STEINER K.C. 2002. Influences of established trees on mycorrhizas, nutrition, and growth of quercus rubra seedlings. *Ecol. Monogr.* 72: 505–521.
- DIXON R.K. 1988. Response of ectomycorrhizal *Quercus rubra* to soil cadmium, nickel and lead. *Soil Biol. Biochem.* 20(4): 555–559.
- DOBRAKCI R., PIOTRKOWSKI A. 2002. Geomorfologia i geologia Doliny Dolnej Odry. W: *Dolina Dolnej Odry. Monografia Przyrodnicza Parku Krajobrazowego*. Red. J. Jasnowska. Szczecin, Zapol.
- DRAB M. 2002. *Efekty biologicznej rekultywacji byłego złoża kruszywa budowlanego „Dobroszów Wielki” w województwie lubuskim*. Zielona Góra, Redakcja Wydawnictw Naukowo-Technicznych, ISBN 83-89044-80-3.
- DUNCAN W.H., DUNCAN M.B. 1988. *Trees of the southeastern United States*. Athens, GA, The University of Georgia Press.
- Dyrektury Rady (EWG) 75/442 z dnia 15 lipca 1975 roku w sprawie odpadów. *DzUrz. WE L* nr 194 z 1975 roku.
- ELL J., TOIVONEN P.M.A. 2003. *Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology*. Dodrecht, Kluwer Academic Publishers: 125–150, ISBN 1-4020-7440-9.
- FIJAŁKOWSKI D. 1968. Zmienność liści dębów szypułkowego (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowego (*Quercus sessilis* Ehrh.) w lasach Lubelszczyzny. *Sylvan* 12: 41–48.
- GILEWSKA M. 2000. Rekultywacja biologiczna składowisk popiołów elektrownianych. W: *Tereny zdegradowane – możliwości ich rekultywacji*. Szczecin, Wydaw. AR.: 65–74. Nauka – Gospodarce.
- GILEWSKA M. 2003. Rekultywacja biologiczna gruntów składowisk popiołowych ZE PAK S.A. W: *Popioły z Energetyki*, X Jubileuszowa Międzynar. Konf., Warszawa, 14–17 października 2003 r. Szczecin BiG: 331–342.
- GILEWSKA M., PŁOCINICZAK A. 2004. Aktywność enzymatyczna gruntu składowiska popiołowego. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf. Zakopane, 13–16 października 2004 r. Szczecin, Ekotech: 299–306.
- GLAPIŃSKA A., ŁUKWIŃSKI L., CYGANEK J., ŚLIWA A., TRELA Z., SZCZEŚNIAK H., KIETLIŃSKA E. 1990. *Mapa mineralnych surowców odpadowych na tle obszarów chronionych wg stanu z 31.12.1988*. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR: 36–39.
- GODET J.D. 1997. *Drzewa i krzewy. Rozpoznawanie gatunków*. Warszawa, Multico Oficyna Wydawnicza: 48, 158.
- GODET J.D. 2008. *Atlas drewna*. Warszawa, Multico Oficyna Wydawnicza: 61–63.



- GODFREY R.K. 1988. *Trees, shrubs, and woody vines of northern Florida and adjacent Georgia and Alabama*. Athens, GA, The University of Georgia Press: 413–417.
- GÓRAL S., ROLA S. 2001. Trawy na popiołach elektrociepłowni nawożonych osadami ściekowymi. *Inż. Ekol.* 3. PTIE, Bydgoszcz: 146–150.
- GREGORCZYK A. 1995. O modyfikacji klimatogramów Waltera i Lietha. *Zesz. Nauk AR Szczec.* 60: 29–33.
- GROCHOWICZ E., KORYTKOWSKI J. 1998. *Ochrona przed odpadami*. Warszawa, WSiP.
- GRZYWACZ A. 2007. Grzyby ektomikoryzowe. W: *Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 11–16.
- GUZIEL A. 1988. *Ochrona i kształtowanie środowiska w rozwoju górnictwa w Polsce*. Cz. 2. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR.
- HAHN J.T. 1991. *Timber resource of Missouri*. St. Paul, United States Department of Agriculture: 1–123.
- HARABIN Z., WRONA A. 2000. Zadrzewianie i zalesianie zwalowisk odpadów górnictwa węgla kamiennego – możliwości a praktyczne efekty, W: *Tereny zdegradowane – możliwości ich rekultywacji*. Red. S. Stankowski. Szczecin, Ekotech: 91–102. Nauka – Gospodarce.
- HARLEY J.L., SMITH S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. London–New York, Academic Press.
- HEINZ-WERNER D., HEINZ-WERNER R.A., SCHWEGLER A. 1992. *Jakie to drzewo?* Warszawa, PWRiL: 212.
- HEINZE W., SCHREIBER D. 1984. Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Europa. *Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges.* 75: 11–56.
- HEREŻNIAK J. 1992. Amerykańskie drzewa i krzewy na ziemiach Polskich. W: *Rośliny pochodzenia amerykańskiego zadomowione w Polsce*. Red. M. Ławrynowicz, A.U. Warcholińska. Łódź, Łódź. Tow. Nauk. 1992: 97–150.
- JENTYS-SZAFEROWA J. 1951. Graficzna metoda porównawcza kształtów roślinnych. *Kosmos, Ser. A* 66: 346–377.
- JENTYS-SZAFEROWA J. 1959. Graficzna metoda porównawcza kształtów roślinnych. *Nauka Polska* 7(3): 79–110.
- JENTYS-SZAFEROWA J. 1964. Metody biometryczne w badaniu ewolucji historycznej roślin. *Acta Soc. Bot. Pol.* 31(1): 77–94.
- JENTYS-SZAFEROWA J. 1970. Zestawienie wyników badań. Zmienność liści i owoców drzew i krzewów w zaspalach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. *Monogr. Bot.* 32: 202–236.
- JOHNSON O., MORE D. 2009. *Drzewa. Przewodnik Collinsa*. Warszawa, Multico Oficyna Wydawnicza, ISBN 978-83-7073-643-9.
- KACPRZAK M., ASIĘGBU F.O., MAŃKA M. 2000. Zmiany odczynu i aktywności peroksydazy w korzeniach siewek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego pod wpływem infekcji *Rhizoctonia solani* i *Fusarium* spp. *Sylwan* 144(2): 99–103.
- KAROLEWSKI P., WERNER A. 2000. Wpływ grzybów ekto- i ektendromikoryzowych na poziom fenoli w korzeniach siewek sosny zwyczajnej rosnących w glebie skażonej przez toksyczne metale. *Sylwan* 144(2): 69–76.
- KELTY M.J. 1989. Productivity of New England Hemlock/ hardwood stands as affected by species composition and canopy structure. *For. Ecol. Manage.* 28: 237–257.
- KIELISZEWSKA-ROKICKA B. 2000. Żywotność ektomikoryz – kryteria fizjologiczne. *Sylwan* 144(2): 41–52.
- KITCZAK T., GOS A., CZYŻ H., TRZASKOŚ M. 1998. Sukcesja roślinności na hałdach popioło-żużli różnie zagospodarowanych. W: *Stan i możliwości środowiska naturalnego*. Szczecin, Wydaw. AR: 123–132. Nauka – Gospodarce.
- KITCZAK T., GOS A., CZYŻ H., TRZASKOŚ M. 1999. Roślinność hałd popioło-żużli. *Fol. Univ. Agric. Stetin:* 11–18.
- KLUCZYŃSKI B. 1973. Rozwój siewek wybranych gatunków drzew i krzewów na popiołach energetycznych Elektrowni „Halemba” w doświadczeniu wazonowym. *Arbo. Kórn.*: 18.
- KOMARNICKIJ H.A., KUBRĄŠOV L.B., URANOV A.A. 1962. *Sistematika rasteńij*. Moskwa, Gosudarstvennoe Učebno-Pedagogičeskoe Izdatel'stvo Ministerstva Prośvešeniä RSFSR: 547–548.
- KONDRACKI J. 1988. *Geografia fizyczna Polski*. Wyd. 6. Warszawa, PWN: 250–251.
- KOPCEWICZ J., LEWAK J. 2007. *Fizjologia roślin*. Warszawa, Wydaw. Nauk. PWN: 659–667.
- KOWALSKI S. 2007. Ekologiczne aspekty ektomikoryz – od badań podstawowych do praktycznego zastosowania w polskim leśnictwie. W: *Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w Polskim szkółkarstwie leśnym*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 28–37.



- KOWNAS S., SIENICKA A. 1962. *Obecny stan zadrzewienia miasta Szczecina*. Szczecin, Szczec. Tow. Nauk. 11.
- KOŹMIŃSKI C., CZARNECKA M. 1993. Klimat miasta Szczecina i okolicy. W: *Stan środowiska Miasta i Rejonu Szczecina. Zagrożenia i ochrona*. Red. J. Jasnowska. Szczecin, Szczec. Tow. Nauk. 1993: 49–53.
- KOŹMIŃSKI C., MICHALSKA B. 2004. *Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza*. Szczecin, Zapol.
- KOŹMIŃSKI C., MICHALSKA B., CZARNECKA M. 2007. *Klimat województwa zachodniopomorskiego*. Szczecin, Zapol: 32.
- KREMER B.T. 1996. *Leksykon Przyrodniczy – Drzewa*. Warszawa, Świat Książki: 128–129.
- KROPP B.R., LANGLOSIS C.G. 1990. Ectomycorrhizae in reforestation. *Can. J. Forest Res.* 20: 438–451.
- KRÓL S. 1967. Dąb czerwony – *Quercus robur* L. w warunkach środowiska leśnego zachodniej części Polski. *Pr. Kom. Nauk Rol. Leśnych*. 21(2). Poznań, Pozn. Tow. Przyj. Nauk: 419–482.
- KRUGER R.A. 2003. Efektywne zagospodarowanie popiołów lotnych w południowej Afryce. W: *Popioły z Energetyki. X Jubileuszowa Międzynar. Konf.*, Warszawa, 14–17 października 2003 r. Szczecin, BiG: 53–70, ISBN 978838758813.
- KRUPA P. 2009. Ektomikoryzy i ich znaczenie dla roślin rosnących na terenach zdegradowanych przez przemysł. *Sylwan* 153(3): 189–196.
- KRÜSSMANN G. 1962. *Handbuch der Laubgehölze. In zwei Banden*. Berlin, Paul Parey in Berlin und Hamburg: 318–319.
- KRZAKLEWSKI W. 1990. *Analiza działalności rekultywacyjnej na terenach pogórnicznych w głównych gałęziach przemysłu wydobywczego w Polsce*. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR: 9–13, 70–80.
- KRZYWY E., IŻEWSKA A., WOŁOSZYK C. 2004. Ocena składu chemicznego i wartości nawozowej osadu ściekowego oraz kompostów wyprodukowanych z komunalnego osadu ściekowego. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 499: 165–171.
- KRZYWY E., WOŁOSZYK C. 1996. Charakterystyka chemiczna i możliwości wykorzystania do produkcji kompostów osadów ściekowych z miejskich oczyszczalni. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 62: 265–271.
- KRZYWY E., WOŁOSZYK C., IŻEWSKA A., KRZYWY J. 2002. Niektóre właściwości chemiczne gleby lekkiej po trzech latach od zastosowania kompostu z komunalnego osadu ściekowego. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk. Rol.* 499: 359–365.
- KUBUS M., NOWAK G., ZIELIŃSKI J. 2003. Drzewa i krzewy dzielnic Szczecina: Pogodno, Łękno i Niemierzyn. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 231(92): 35–48.
- KUBUS M., NOWAK G., ZIELIŃSKI J. 2008. Ocena przydatności gledicji trójcierniowej *Gleditsia tricanthos* L. do rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Red. S. Stankowski, K. Pacewicz. Szczecin, Pol. Tow. Inżynierii Ekologicznej: 51–57.
- KUŚWIK H. 1986/87. Zmienność morfologiczna cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) w Polsce. *Rocz. Dendrol.* 37: 25–60.
- LEAKE J.R., READ D.J. 1989. Experiments with Ericoid Mycorrhiza. *Method. Microbiol.* 23: 435–459.
- LEATHERBERRY E.C., ROUSSOPOULOS S.M., SPENCER H.S. JR. 1992. *An Analysis of Iowa's forest resources, 1990*. St. Paul, United States Department of Agriculture: 1–67.
- LINDERMAN R.G. 1988. Mycorrhizal interaction with the rhizospheric microflora; The mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 76: 366–371.
- LINDERMAN R.G., CALL C.A. 1977. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78: 366–371.
- LITTLE E.L. 1979. *Checklist of United States trees (native and naturalized)*. Agric. Handb. 541. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- MACIAK F. 2003. *Ochrona i rekultywacja środowiska*. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR: 132–168, 271–292.
- MACIAK F., HRYNKIEWICZ S. 1990. *Rekultywacja rolnicza terenów zdewastowanych z zastosowaniem popiołów elektrycznych. Zalecenia*. Warszawa, EC Żerań.
- MACIOROWSKI R., GILEWSKA M., PACEWICZ K., STANKOWSKI S., OTREMBKA K. 2006. Właściwości fizjologiczne wybranych gatunków drzew i krzewów rosnących na składowisku popiołu z węgla brunatnego rekultywowa-



- nego osadami ściekowymi i gliną zwałową. W: *Gospodarka odpadami komunalnymi*. Red. K. Szymański. Koszalin, Komitet Chemii Analitycznej: 199–212.
- MACIOROWSKI R., STANKOWSKI S., NIEDŹWIECKI E., MALINOWSKI R. 2003. Wpływ produktu z oczyszczania gazów spalinowych SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> na procesy fotosyntetyczne roślin pszenżyta i pszenicy, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu siarki. *Folia Univ. Agric. Stetin., Ser. Agricultura* 91: 63–68.
- MACIOROWSKI R., STANKOWSKI S., TOMCZEWSKA J. 2004. Wstępna ocena wzrostu roślin i procesów fotosyntetycznych wybranych gatunków roślin na modelu rekultywacyjnym w ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf., Zakopane, 13–16 października 2004 r. Szczecin, Ekotech: 307–316.
- MACIOROWSKI R., WOŁOSZYK C. 2003. Bezpośredni i następczy wpływ kompostów sporządzonych na bazie komunalnego osadu ściekowego na fotosyntezę rzepaku jarego i pszenicy ozimej. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 494: 273–286.
- MACIOROWSKI R., ZIELIŃSKI J., NOWAK G., STANKOWSKI S. 2007. Ocena wzrostu i procesów fotosyntetycznych perukowca podolskiego (*Cotinus coggygia* Scop.) i róży pomarszczonej (*Rosa rugosa* Thunb.) rosnących na modelu rekultywacyjnym w Elektrowni „Dolna Odra” w Nowym Czarnowie. W: *Gospodarka odpadami komunalnymi*. Red. K. Szymański. Koszalin, Komitet Chemii Analitycznej: 259–266.
- MARTYN D. 2000. *Klimaty kuli ziemskiej*. Warszawa, Wydaw. Nauk. PWN, ISBN 9788301130497.
- MAZUR T. 1996. Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 456: 251–256.
- MEUDEG G., PRAT J.-Y., RETOURNARD D. 2005. *Choroby i szkodniki drzew i krzewów ozdobnych*. Warszawa, Delta W-Z: 49–56.
- MEYER F.H. 1978. *Bäume in der Stadt*. Stuttgart, Eugen Ulmer, Ulmer, ISBN 3800150328.
- MILLERS I., SHRINER D., RIZZO D. 1989. *History of hardwood decline in the eastern United States*. Gen. Tech. Rep. NE-126. Bromall, PA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- MITCHELL A. 1998. *Przewodnik przyrodniczy. Drzewa, cechy charakterystyczne, rozpoznawanie*. Warszawa, Poddęblik-Romanowski i Spółka: 24–25.
- MOCEK A., BIELIŃSKA E.J., KACZMAREK Z., MICHALIK J. 2004. Enzymatic activity of forest soils after 10-year period of reclamation of forest area totally damaged by fire. In: *Proc. of the Intern. Conf. on bioremediation of soil and groundwater*, Cracow–Poland. Gliwice, Silesian University of Technology: 121–132.
- MOWSZOWICZ J. 1979. *Przewodnik do oznaczania drzew i krzewów krajowych i aklimatyzowanych*. Warszawa, WSIP: 184.
- MURKOWSKI A., STANKOWSKI S. 2002. Wykorzystanie składników popiołu węglowego do nawożenia pszenżyta. W: *Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenżyta*, IV Symp. Nauk., Kołobrzeg. Szczecin, Wydaw. AR: 29–31.
- MYGA-NOWAK M., MARCZAK M., KRUPA P. 2010. Bakterie wspomagające rozwój ektomikoryz. *Sylvan* 154(12): 837–845.
- NAIK T.R., CHUN Y. 2003. Międzynarodowe aspekty produkcji i wykorzystania produktów spalania węgla. W: *Popioły z Energetyki*, X Jubileuszowa Międzynar. Konf., Warszawa, 14–17 października 2003 r. Szczecin, BiG: 31–52.
- NAWROCKA-GRZEŚKOWIAK U. 2001. Endomikoryza u krzewów z rodzaju *Rhododendron* jako czynnik wpływający korzystnie na ukorzenianie sadzonek i wzrost młodych roślin w różnych warunkach środowiska. *Rozp. AR Szczec.* 204: 1–58.
- NIEDŹWIECKI E., MELLER E. 1994. Wstępne wyniki badań nad przydatnością odpadów paleniskowych z ZE „Dolna Odra” w uprawach rolniczych. W: *Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin*. Świnoujście, 17–18 listopad 1994 r. Szczecin, [b.w.]: 17–18.
- Nowa strategia w sprawie odpadów: Tworzenie z Europy społeczeństwa recyklingu*. 2005. Bruksela, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/05/1673&format=HTML&aged=0&language=PL&guiLanguage=en>, dostęp 25.03.2008.
- NOWAK G. 2007. Wzrost perukowca podolskiego (*Cotinus coggygia*) na podłożu z odpadów paleniskowych. *Rocz. AR Pozn., Ogrrodn.* 41: 141–145.



- NOWAK G., CIEĆKO Z. 1991. Pobranie i wykorzystanie fosforu z węgla kamiennego przez uprawy roślinne. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 207: 130–139.
- NOWAK G., NOWAKOWSKA M. 2012. Układ przestrzenny i zadrzewienie Gryfina. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* (w druku).
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J. 2008. Blooming of romanas rose (*Rosa rugosa* Thunb.) cultivated on ash dumps reclaimed with various techniques. *Acta Agrobot.* 61(1): 149–152.
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J., STANKOWSKI S. 2004. Badania wstępne nad wykorzystaniem świerku serbskiego *Picea omorika* do rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf., Zakopane 2004. Szczecin, Ekotech: 333–338.
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J., STANKOWSKI S. 2005. Wstępna ocena przydatności gledicji trójcierniowej *Gleditsia triacanthos* L. do rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *XII Międzynar. Konf.*, Sopot, 12–14 października 2005 r. Szczecin, [b.w.]: 335–340.
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J., WIĘCKOWSKA U. 2008a. Plon owoców róży pomarszczonej (*Rosa rugosa*) z krzewów wykorzystanych do rekultywacji odpadów paleniskowych w ZE „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. Cz. 1. Cechy ilościowe. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 266(8): 127–132.
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J., WIĘCKOWSKA U. 2009. Zawartość S<sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w owocach róży pomarszczonej (*Rosa rugosa*) rosnącej na odpadach paleniskowych z Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.*, PAN Wyd. Nauk Rol., Leśn. i Wet., 540: 353–359.
- NOWAK G., ZIELIŃSKI J., WRZESIŃSKA E. 2008b. Wzrost drzew i krzewów na rekultywowanym składowisku popiołów z węgla kamiennego. W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Szczecin, Pol. Tow. Inżynierii Ekologicznej: 59–69.
- NOWOSIELSKI O. 1974. *Metody oznaczania potrzeb nawożenia*. Warszawa, PWRiL.
- NOWOSIELSKI S., KARTECZEK A., CZOPSKA-NOWOSIELSKA M., KUCIĘBA K. 1991. *Metody i przykłady sporządzania ocen oddziaływania eksploatacji złóż węgla kamiennego na środowisko*. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR: 7–21, 44–83.
- OKTABA W. 1977. *Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa*. Warszawa, PWN.
- PACEWICZ K., WRÓBEL M., GILEWSKA M., OTREMBKA K. 2007. Wpływ zróżnicowanych sposobów rekultywacji na wzrost robinii akacjowej i oliwnika wąskolistnego na przykładzie modelu biologicznej rekultywacji składowiska mokrego odpopielania elektrowni „Adamów” w Turku. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 518: 157–165.
- PACEWICZ K., WRÓBEL M., WIECZOREK T., GILEWSKA M., OTREMBKA K. 2006. Ocena gatunków drzew i krzewów wybranych do rekultywacji biologicznej składowiska odpadów popielnych elektrowni Adamów w Turku. W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Szczecin, Zapol: 71–83.
- PACHLEWSKI R. 1983. Grzyby symbiotyczne i mikoryzy sosny (*Pinus silvestris* L.). *Pr. IBL* 615: 3–123.
- PAPAGEORGIOU G.C., GOVINDJEE. 2004. *Chlorophyll a fluorescence a signature of photosynthesis*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- PIĄTKOWSKA K., ZALESKA J. 1972. *Drzewa, krzewy i pnącza dla spółdzielczych osiedli mieszkaniowych*. Warszawa, Zakład Wydawnictw CRS: 102–104.
- PIOŚ. 1997. *Raport o stanie środowiska w województwie szczecińskim w latach 1995–1996*. Szczecin, Ekolog Pomorski, ISBN838716674X, 9788387166748.
- PIRC H. 2006. *Drzewa od A do Z*. Warszawa, KDC, ISBN 8374043237.
- PN-88/B-04481: 1988. *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu*.
- PN-B-12095: 1997. *Urządzenia wodno-melioracyjne. Nasypy. Wymagania i badania przy odbiorze*.
- PN-EN 450: 2009. *Popiół lotny do betonu. Cz. 1. Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności*.
- PN-S-96012: 1997. *Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem*.
- PN-S-06103: 1997. *Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego*.
- PN-S-96011: 1998. *Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych*.
- PODBIELKOWSKI Z. 2002. *Fitogeografia części świata*. T. 2. Warszawa, Wydaw. Nauk. PWN, ISBN 8301138904.
- POWELL C.L., BATES P.M. 1981. Ericoid mycorrhizas stimulate fruit yield of blueberry. *Hort Science* 16(5): 655–656.
- PROŃCZUK J. 1994. Popioły, melioracja i ochrona. *Wiad. Melior. Łąkarskie* 5: 8–12.
- READ D.J., BAJWA R. 1985. Some nutritional aspects of the biology of ericaceous mycorrhizas. *Proc. of the Royal Society of Edinburgh* 85B: 317–332.



- READ D.J., STRIBLEY D.P. 1973. Effect of mycorrhizal infection on nitrogen and phosphorus nutrition of ericaceous plants. *Nature (London), New Biol.* 244: 81–82.
- REID C.P.P. 1978. Mycorrhizae and water stress. In: *Proc. of the JUFRO Symbiosum on Root Physiology and Symbiosis*. September 11–15, 1978, Nancy, France. Eds. A. Riadecker, J. Gagnaire-Michard. [b.w.]: 392–408.
- ROSIK-DULEWSKA C. 2007. *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa, PWN: 276–289.
- ROSIK-DULEWSKA C., DULEWSKI J. 1989. Możliwości rekultywacji biologicznej składowisk z odpadów paleniskowych z elektrowni – przegląd literatury. *Prz. Nauk. Lit. Rol. Leś.* 35(2): 218–226.
- ROSTAŃSKI K., ROSTAŃSKI K.M. 1999. *Klucz do oznaczania wybranych gatunków drzewiastych*. Krzeszowice, Kubajak: 76–79.
- ROSZCZYŃSKI W., GAWLICKI M. 1990. Technologie przerobcze, przetwórcze oraz zagospodarowanie odpadów. W: *Gospodarka surowcami mineralnymi na tle kształtowania warunków przyrodniczych w Kujawskim Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych*. Red. R. Uberman. Warszawa, Wydaw. SGGW-AR 1990: 86–100.
- ROUSSOPOULOS S.M. 1992. *Forest statistics for Minnesota's prairie unit*. St. Paul, United States Department of Agriculture: 1–45.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 roku w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami. *DzU* z 2006 roku, nr 49, poz. 356.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *DzU* z 2002 roku, nr 134, poz. 1140.
- RUDAWSKA M. 2000. Rola ektomikoryz w biologicznej ochronie drzew leśnych przed patogenami glebowymi. *Sylvan* 144(2): 27–39.
- RUDAWSKA M., LESKI T. 2007. Doświadczenia światowe w praktycznym stosowaniu mikoryzacji sadzonek drzew leśnych – historia i współczesność. W: *Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 17–27.
- RUSSELL T., CUTLER C., WALTERS M. 2008. *Ilustrowana encyklopedia drzewa świata*. Kraków, TAIWPN Universitas, ISBN 97883242-0842-5.
- RZĘSA S., OWCZAREK W., MOCEK A. 1999. *Problemy odwodnieniowej degradacji gleb uprawnych w rejonach w rejonach kopalnictwa odkrywkowego na nizinie środkowopolskiej*. Poznań, Wydaw. AR im. Augusta Cieszkowskiego: 240–255, 314–324.
- SAKAI Y., HARA K. 2003. Aktualny stan skutecznego wykorzystania popiołu z węgla w Japonii. W: *Popioły z Energetyki. X Jubileuszowa Międzynar. Konf.*, Warszawa, 14–17 października 2003 r. Szczecin, BiG: 71–86.
- SANDER I.L. 1990. *Quercus rubra L. northern red oak. Silvics of North America*. Vol. 2. *Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 727–733.
- SENETA W., DOLATOWSKI J. 2008. *Dendrologia*. Warszawa, PWN, ISBN 978-83-01-15369-4.
- ŠEPOT'EV F.L. 1949. *Dendrologiá*. Moskwa–Leningrad, Goslesbumizdat: 107.
- SIENICKA A., KOWNAS S. 1963. *Parki wiejskie województwa szczecińskiego*. Szczecin, Szczec. Tow. Nauk. 16.
- SIUTA J. 1998. *Rekultywacja gruntów*. Warszawa, IOŚ.
- SIUTA J., WASIAK G. 2001. Zasady wykorzystania osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe (przyrodnicze). *Inż. Ekol.* 3: 13–42.
- SKÓRSKA E. 2000. Reakcja wybranych roślin uprawnych na promieniowanie UV-B. *Rozp. AR Szczec.* 192.
- SMITH S.E., READ L.J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. London–New York, Academic Press.
- SMITH W.B., GOLITZ M.F. 1988. *Indiana forest statistics, 1986*. St. Paul, United States Department of Agriculture: 1–139.
- SPEAR R.W. 1989. Late-Quaternary history of high-elevation vegetation in the White Mountains of New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 59(2): 125–151.
- SRIVASTAVA A., STRASSER R.J., GOVINDJEE 1999. Greening of peas: parallel measurements of oscillation of the initial fluorescence transient, period four oscillation of the initial fluorescence level, delayed light emission, and P700. *Photosynthetica* 37: 3.
- STACHAK A. 1993. Zielen Szczecina i najbliższych okolic. W: *Stan środowiska miasta i rejonu Szczecina. Zagrożenia i ochrona*. Red. J. Jasnowska, Szczecin, Szczec. Tow. Nauk.: 173–190.



- STACHAK A., GRINN U. 1992. Drzewa i krzewy Cmentarza Centralnego Szczecina. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 153: 111–127.
- STACHAK A., GRINN U., HAAS-NOGAL M., KUBUS M., NOWAK G., NOWAKOWSKA M. 2000. *Zieleń Szczecina. Ilustrowany przewodnik dendrologiczny*. Wolczkowo k. Szczecina, Oficyna In Plus.
- STACHAK A., KUBUS M., NOWAK G. 1998. Drzewa i krzewy wiejskich terenów przykościelnych i cmentarzy południowej części Niziny Szczecińskiej. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 188(71): 115–151.
- STACHAK A., KUBUS M., NOWAK G. 1999. Drzewa i krzewy wiejskich terenów przykościelnych i cmentarzy w części Niziny Szczecińskiej po zachodniej stronie Odry i Zalewu Szczecińskiego. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 198(76): 3–25.
- STACHAK A., KUBUS M., NOWAK G. 2003. Zadrzewienie parków okolic Pyrzyc i Stargardu. *Folia Hortic.* suppl. 2: 101–103.
- STACHAK A., MAŚLAK B. 1986/87. Drzewa i krzewy placów i ulic centrum Szczecina oraz głównych arterii komunikacyjnych miasta. *Rocz. Dendrol.* 37: 169–190.
- STACHAK A., MAŚLAK B. 1989. Drzewa i krzewy parków centrum Szczecina. *Rocz. Dendrol.* 38: 73–103.
- STACHAK A., NOWAK G. 1998. Drzewa i krzewy osiedli w zachodniej i północno-zachodniej części lewobrzeżnego Szczecina. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 188(71): 3–32.
- STACHAK A., ZIELIŃSKI J., RONEWICZ P. 1996a. Drzewa i krzewy osiedli w południowo-zachodniej i północnej części lewobrzeżnego Szczecina. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 170(61): 85–123.
- STACHAK A., ZIELIŃSKI J., RONEWICZ P., WIATROWSKA E. 1996b. Stare drzewa i krzewy Szczecina. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 170(61): 3–33.
- STANKOWSKI S., KRZYWY E., CZYŻ H., NOWAK A., MACIOROWSKI R., TOMASZEWICZ T., CHUDECKA J., ZIELIŃSKI J., KITCZAK T. 2003. Badania modelowe nad wykorzystaniem popiołów i odpadów organicznych do rekultywacji terenów zdegradowanych. W: *Popioły z Energetyki*, X Jubileuszowa Międzynar. Konf., Warszawa, 14–17 października 2003 r. Szczecin, BiG: 315–330.
- STANKOWSKI S., ŁĄCZNY J.M., MACIOROWSKI R., MATEJCZYK M. 2004. The effect of ashes from power plant and organic wastes on the grass growth and the water quality, short communication. Wien, Universität für Bodenkultur, *Forsliche Schriftenreihe*, 18: 66–71.
- STANKOWSKI S., MACIOROWSKI R., KRZYWY E., KRZYWY J., KOĆMIT A., TOMASZEWICZ T., CHUDECKA J., NOWAK A., BACIECZKO W., ZIELIŃSKI J., NOWAK G., CZYŻ H., KITCZAK T. 2005. *Sprawozdanie etapowe III*, 28 listopad 2005 (maszynopis).
- STASZKIEWICZ J. 1993. Zmienność morfologiczna szpilek, szyszek i nasion. W: *Biologia sosny zwyczajnej*. Red. S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała. Poznań, Sorus: 33–43.
- STASZKIEWICZ J. 1997. Zmienność liści gatunków z rodzaju *Lonicera* (*Caprifoliace*). Zmienność wybranych gatunków krzewów i drzew. *Fragm. Florist. Geobot., Ser. Polonica*, Suppl. 2: 277–295.
- STOCKI J., KINELSKI S., DZWONKOWSKI R. 2008. *Drzewa liściaste i owady na nich żerujące*. Warszawa, Multico Oficyna Wydawnicza, ISBN 978-83-7073-662-0.
- STRASSER B.J., STRASSER R.J. 1995. Measuring fast fluorescence transient to address environmental questions: The JIP test. In: *Photosynthesis: from light to biosphere*. Ed. P. Mathias. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 977–980.
- STRASSER R.J., SCHWARZ B., EGGENBERG P. 1998. Fluorescence routine tests to describe the behaviour in its environment. In: *Application of chlorophyll fluorescence*. Ed. H.K. Lichtenthaler. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 181–187.
- STRZAŁKO J., MOSSOR-PIETRASZEWSKA T. 1999. *Kompendium wiedzy o ekologii*. Warszawa, PWN: 338–341, 528–533.
- STRZAŁKO J., ROŻNOWSKI F. 1992. *Zastosowanie metod statystycznych w biologii*. Słupsk, WSP w Słupsku.
- STRZAŁKOWSKI A., ŚLIŻYŃSKI A. 1978. *Matematyczne metody opracowania wyników pomiarów*. Warszawa, PWN.
- SUSZKA B., MULLER C., BONNET-MASIMBERT M. 2000. *Nasiona leśnych drzew liściastych od zbioru do siewu*. Warszawa–Poznań, PWN: 276–289.
- SZYMANOWSKI T. 1974. *Rozpoznawanie drzew i krzewów w stanie bezliśnym*. Warszawa, PWRiL: 308–309.
- TOCHOWICZ H. 1951. *Dąb*. Warszawa, PWRiL.



- TOMANEK J. 1970. *Botanika leśna*. Warszawa, PWRiL: 22–23, 264–275.
- TOMCZEWSKA J., STANKOWSKI S., GILEWSKA M., OTREMBKA K. 2004. Ocena procesów fotosyntetycznych roślin: robinii akacjowej i klonu zwyczajnego w warunkach składowiska popiołów elektrownianych. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf., Zakopane, 13–16 października 2004 r. Szczecin, Ekotech: 317–324.
- TOMŻYŃSKA M. 2006. Drzewa liściaste. W: *Katalog roślin – drzewa, krzewy, byliny polecane przez związek Szkołkarzy Polskich*. Red. J. Filipczak, A. Żukowska. Warszawa, Wydaw. Agencja Promocji Zieleni: 47–66.
- Ustawa z 27 czerwca 1997 roku o odpadach. *DzU* z 1997 roku, nr 96, poz. 592.
- WERNER A., IDZIKOWSKA K., NAPIERAŁA-FILIPIAK A. 2000. Mikoryza ektendrotroficzna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylwan* 144(2): 53–67.
- WOLNY T., OBERTI A., STANECZEK S. 1997. Doświadczenia miejskiego przedsiębiorstwa gospodarki komunalnej w Świętochłowicach w rekultywacji hałd hutniczych. W: *Trawy w procesie rekultywacji biologicznej terenów trudnych o różnych gruntach*, Mater. 1 Ogólnopol. Konf. Nauk., Ustroń-Jaszowice, 14–15 październik. [b.m.], Inst. Podstaw Inż. Środ. PAN w Zabrze, Hod. Rośl. Nieznanice Sp. z o.o.: 4.
- WOŚ A. 1996. *Zarys klimatu Polski*. Poznań, Wydaw. Nauk. UAM, ISBN 83-232-0755-0.
- WOŚ A. 1999. *Klimat Polski*. Warszawa, Wydaw. Nauk. PWN, ISBN 83-01-12780-5.
- WROCHNA M., GAWROŃSKA H., BORKOWSKA B., GAWROŃSKI S.W. 2007. Wpływ zasolenia na akumulację biomasy i fluorescencję chlorofilu u roślin trzech odmian szarlatu ozdobnego. *Rocz. AR Pozn., Ogrodnictwo* 383(41): 235–239.
- WRÓBEL M., PACEWICZ K., WIECZOREK T., GILEWSKA M., OTREMBKA K. 2006. Charakterystyka wzrostu krzewów karagany syberyjskiej, derenia świdy i rokitnika zwyczajnego na składowisku popiołów elektrownianych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 5(1): 75–86.
- WRÓBEL M., WIECZOREK T., STANKOWSKI S., GILEWSKA M., OTREMBKA K. 2005. Analiza florystyczna i fitosocjologiczna zachwaszczenia powierzchni eksperymentalnych modelu biologicznej rekultywacji składowiska mokrego odpopielania elektrowni „Adamów”. W: *Popioły z Energetyki*, XII Międzynar. Konf. Nauk., 12–14 październik 2005 r., Sopot. Szczecin, Ekotech: 346–361.
- XIAO G., BERCH S.M. 1995. The ability of know ericoid mycorrhizal fungi to from mycorrhizae with *Gaultheria shallon*. *Mycologia* 87(4): 467–470.
- ZARZYŃSKI P. *Choroby drzew leśnych – introdukowane gatunki*, [www.laspolski.net.pl](http://www.laspolski.net.pl), dostęp 7.10.2007.
- ZIELIŃSKI J. 2008. Zmienność wiciokrzewu pomorskiego (*Lonicera periclymenum* L.) w warunkach uprawy. *Rozpr. AR Szczec.* 254.
- ZIELIŃSKI J., NOWAK G. 2004a. Ocena wzrostu rokitnika pospolitego *Hippophaë rhamnoides* rosnącego na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 242(98): 203–206.
- ZIELIŃSKI J., NOWAK G. 2004b. Zmienność liści rokitnika pospolitego *Hippophaë rhamnoides* rosnącego na odpadach paleniskowych rekultywowanych różnymi metodami. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 242(98): 207–210.
- ZIELIŃSKI J., NOWAK G. 2011. Drzewa i krzewy do rekultywacji składowiska odpadów przemysłowych. W: *Rośliny do zadań specjalnych*. Red. M. Drozdek. Sulechów-Kalsk, Oficyna Wydawnicza PWSZ w Sulechowie: 455–466.
- ZIELIŃSKI J., NOWAK G., MACIOROWSKI R., HONZIK R., USTIAK S. 2008. Wzrost drzew klonu jawora (*Acer pseudo-platanus*), jarzębu pospolitego (*Sorbus aucuparia*) i olszy czarnej (*Alnus glutinosa*) na składowisku ilów nadkładowych węgla brunatnego obiektu „Strimicka wysypka” (Chomutov, Czechy). W: *Drzewa i krzewy na terenach rekultywowanych i zdegradowanych*. Szczecin, Zapol: 97–104.
- ZIELIŃSKI J., Nowak G., Stankowski S. 2004. Badania wstępne nad wykorzystaniem jodły jednobarwnej *Abies concolor* (Gordon et Glend.)Lindl. ex Hildebr. do rekultywacji składowiska odpadów paleniskowych Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” S.A. w Nowym Czarnowie. W: *Popioły z Energetyki*, XI Międzynar. Konf., Zakopane, 13–16 października 2004 r. Szczecin, Ekotech: 341–347.
- ŻUK B. 1989. *Biometria stosowana*. Warszawa, PWN, ISBN 83-01-08616-5.

# Growth and development of red oak (*Quercus rubra* L.) depending upon the way of substrate preparation with the addition of ash and slag

## Summary

The paper presents the results of research on the growth and development of the red oak trees (*Quercus rubra* L.), growing on the model of combustion waste reclamation, located in the area of „Dolna Odra” S.A. power plant in Nowe Czarnowo. As the first factor of experiment, raw ash (p) and ash enriched with mineral fertilisers NPK (60:70:70 kg/ha) – p+ were applied. The second factor were overlayers: 1 – a mixture of low peat and ash in the volume ratio of 1:3; 2 – a mixture of outer bark of coniferous trees, loose sand, compost produced with the GWDA method, ash in the volume ratio of 1:1:2:4; 3 – a mixture of loose sand, compost produced with the GWDA method, fermented communal sewage sludge of volume, as converted into dry mass of: 70% of sludge, 15% of straw and 15% of municipal greenery waste in the volume ratio of 1:1:2; 4 – a mixture of loose sand, ash, compost produced with the GWDA method, fermented communal waste sludge in the volume ratio of 0,5:0,5:1:2; 5 – a mixture of outer bark of coniferous trees, loose sand, compost produced with the GWDA method, fermented communal sewage sludge in the volume ratio of 1:1:2:4. To serve as comparative places, stands were created on domestic soil (gr0) and raw ash (p0). The research material were 3-year old seedlings of red oak, planted in the autumn of 2003, space 1,5×0,5 m.

Within the research, biometric measurements of shoots and leaves were made, together with the unit intensity of CO<sub>2</sub> assimilation, the ratio of greening of leaves, the vitality of plants and also the activity of the light phase of photosynthesis was determined with the method of induced fluorescence of chlorophyll and the parameters setting out the quanta productivity of the photosystem II were calculated. Tests of macro and micro elements were also carried out (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cl and B Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) in roots and leaves being monitored and the observation of trees related to the occurrence of mycorrhiza was conducted in the rhizosphere of trees.

The best mean results with reference to all examined features were obtained on the stand where ash with mineral NPK fertilisers was applied in the underlayer, and in the overlayer a mixture of bark of coniferous trees, loose sand, compost produced with the GWDA method and ash in volume ratio of 1:1:2:4 (p+2) were applied. In this case, the underlayer had a significant impact on the development of trees through the supply of additional nutrients to the plants in form of mineral components. In the overlayer 2, organic components which were supplied in form of outer bark and compost played a great role. As good a variant for the correct development of trees proved to be ash itself in the underlayer (with no additions of mineral fertilisers) with a layer of overlayer 2 (p2). In trees growing on these stands, better development of mycorrhiza was ascertained that could have an impact on a better general condition of plants. All parameters of growth and development of plants taken into account, ash without overlayer proved to be disadvantageous. Analysing statistical values of features tested and also watching the plants, one may notice that the overlayer had a decisive impact on the results. The lack of overlayer caused a reduction in the value of results, as compared to the same substrate but with an enriched overlayer. The results obtained allow to select the most convenient, as to the tested features, manner of preparation of the reclaimed substrate for the stand of red oak trees (*Quercus rubra* L.). Testing the impact



of differentiated technology of ash reclaiming, a particular attention shall be paid to the technologies with the application of which the genus researched did not achieve satisfactory results.

# Wachstum und Entwicklung der Roteiche (*Quercus rubra* L.) in Abhängigkeit von der Vorbereitung schlackenaschenhaltiger Böden

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit präsentiert Ergebnisse von Untersuchungen zum Wachstum und zur Entwicklung der Roteichenbäume (*Quercus rubra* L.), die auf dem Modell der Rekultivierung von Feuerungsabfällen auf dem Gebiet des Kraftwerkes „Dolna Odra“ S.A. in Nowy Czarnów wachsen. Den ersten Testfaktor bildete die Rohasche (p) und die mit NPK-Mineraldüngern (60:70:70 kg/ha; p+) angereicherte Asche. Den zweiten Faktor machten folgende Überdeckungen aus: 1 – Mischung aus Flachmoortorf und Asche in einem Volumenverhältnis von 1:3; 2 – Mischung aus Nadelbaumborke, lockerem Sand, nach der GWDA-Methode hergestelltem Kompost und Asche in einem Volumenverhältnis von 1:1:2:4; 3 – Mischung aus lockerem Sand, nach der GWDA-Methode hergestelltem Kompost, fermentiertem kommunalem Klärschlamm mit der folgenden, auf die Trockenmasse umgerechneten Zusammensetzung: 70% Klärschlamm, 15% Stroh und 15% Stadtgrünabfälle in einem Volumenverhältnis von 1:1:2; 4 – Mischung aus lockerem Sand, Asche, nach der GWDA-Methode hergestelltem Kompost, fermentiertem kommunalem Klärschlamm in einem Volumenverhältnis von 0,5:0,5:1:2; 5 – Mischung aus Nadelbaumborke, lockerem Sand, nach der GWDA-Methode hergestelltem Kompost, fermentiertem kommunalem Klärschlamm in einem Volumenverhältnis von 1:1:2:4. Die Vergleichsprüfglieder bildeten Baumstandorte auf dem heimischen Boden (gr0) und auf der Rohasche (p0). Das Untersuchungsmaterial stellten dreijährige Roteichenkeimlinge in Abständen von  $1,5 \times 0,5$  m dar, die im Herbst 2003 gepflanzt worden waren.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden biometrische Messungen von Trieben und Blättern sowie Einzel-Kohlendioxidassimilationsintensitäten vorgenommen, der Begrünungsgrad von Blättern, die Pflanzenvitalität sowie die Aktivität der lichtabhängigen Phase der Photosynthese mit der Methode der induzierten Chlorophyllfluoreszenz bestimmt und Parameter der Quantenproduktivität des Photosystems II berechnet. Es wurde auch der Gehalt an Makro- und Spurenelementen (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cl i B Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) in Wurzeln und Blättern der beobachteten Pflanzen bestimmt und Beobachtungen in der Rhizosphäre der Bäume im Zusammenhang mit dem Vorkommen von Mykorrhizen angestellt.

Die besten Ergebnisse im Hinblick auf alle untersuchten Merkmale wurden dort erreicht, wo die mit NPK-Mineraldüngern angereicherte Asche als Unterdeckung und die Mischung aus Nadelbaumborke, lockerem Sand, nach der GWDA-Methode hergestelltem Kompost und Asche in einem Volumenverhältnis von 1:1:2:4 (p+2) als Überdeckung angewendet wurden. Die Unterdeckung beeinflusste in diesem Fall erheblich die Baumentwicklung, indem sie den Pflanzen zusätzliche Nährstoffe in Form von Mineralstoffen zuführte. In der Überdeckung Nr. 2 spielten organische Stoffe eine bedeutsame Rolle, die den Bäumen mit der Borke und den Kompost zugeführt wurden. Die Entwicklung der Bäume wurde genauso gut durch die reine Asche (ohne Zusatz von Mineraldüngern) als Unterdeckung mit der Überdeckung Nr. 2 (p2) begünstigt. Bei Bäumen, die an diesen Standorten wuchsen, wurde die beste Entwicklung von Mykorrhizen festgestellt, die sich auf die allgemeine Kondition der Pflanzen positiv auswirken konnte. Als ungünstig in Bezug auf alle Wachstums- und Entwicklungsparameter erwies sich die Asche ohne Überdeckung. Aufgrund der Analyse statistischer Werte der untersuchten Merkmale und Beobachtung von Pflanzen kann festgestellt werden, dass die Überdeckung alle Ergebnisse entscheidend



beeinflusste. Ihr Fehlen hatte die Reduzierung der berechneten Werte im Vergleich mit dem gleichen, jedoch mit einer Überdeckung angereicherten Boden zur Folge.

Die ermittelten Ergebnisse lassen die im Hinblick auf die untersuchten Merkmale günstigste Vorbereitung des rekultivierten Bodens für den Anbau der Roteiche (*Quercus rubra* L.) wählen. Bei der Untersuchung verschiedener Verfahren zur Rekultivierung von Aschen sollen insbesondere die Verfahren beachtet werden, bei denen die untersuchte Pflanzenart keine befriedigenden Ergebnisse erreicht.



24, 15





Biblioteka Główna  
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu  
Technologicznego w Szczecinie

CZ.55432



001-055432-00-0

CZ 02.02

ISBN 978-83-7663-129-5