

Dorota Farfal¹

Wpływ warunków siedliskowych na rozwój korzeni jesionu w wierzchnich warstwach gleby

The effect of habitat on European ash root growth in the topsoil layers

Abstract. The density of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) roots (g/100 cm³ of soil) in two topsoil layers (layer 1: 0–5 cm, and layer 2: 5–15 cm) was compared in two habitats. The study was conducted in ash stands aged between 38–43 years old, representing the most typical of European ash forest habitat types: alder-ash (OIJ) and moist deciduous forest (Lw).

The root system of ash was more extensive when growing in the ash-alder forest (soil layer 1: 0.635 g/100 cm³ of soil, and soil layer 2: 0.682 g/100 cm³ of soil) than in the moist deciduous forest (soil layer 1: 0.374 g/100 cm³ of soil, soil layer 2: 0.229 g/100 cm³ of soil). There was an increase in the proportion of fine roots (<2 mm diameter) to course roots (>20 mm diameter) going from ash-alder to moist deciduous habitat. In OIJ course roots made up 75–85% of total root weight (soil layer 1: Lw – 0.143 g/100 cm³ of soil OIJ – 0.038 g/100 cm³ of soil, soil layer 2: Lw – 0.054 g/100 cm³ of soil, OIJ – 0.008 g/100 cm³ of soil). The average density of ash fine roots, was significantly higher in ash-alder forest than moist deciduous forest in both the soil layers studied. Moreover, in the upper soil layer in the ash-alder habitat, the density of dead fine roots (0.05 g/100 cm³ of soil) was 1.3 times higher than the density of live fine roots of ash (0.038 g cm³ of soil), while in the Lw habitat it was twofold lower than the density of fine roots (soil layer 1: 0.069 g/100 cm³ of soil, soil layer 2: 0.143 g/100 cm³ of soil). The ratio between the density of live fine roots of ash and the density of all species together, as well as dead fine roots may indicate a faster rate of turnover of fine roots of ash in the ash-alder habitat than moist deciduous forest, particularly during periods of adverse weather conditions (e.g. drought, spring/summer and autumn during active growth of roots).

Key words: fine roots, *Fraxinus excelsior* L., ash decline

1. Wstęp

Jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), którego optymalne warunki wzrostu i rozwoju są na żyznych siedliskach o wysokim poziomie wód gruntowych, obejmuje swym zasięgiem prawie cały obszar Europy. Obserwowane od pewnego czasu w naszym kraju zjawisko zamierania jesionu dotyczy zarówno pojedynczych drzew, jak i całych drzewostanów niezależnie od wieku (Stocki, Stocka 1999; Matyjasik 2001). W Polsce większość badań nad *F. excelsior* L. dotyczyła jego wymagań siedliskowych oraz zagrożeń fitopatologicznych (Faliński, Pawlaczyk 1995; Przybył 2002).

Zamieranie drzew leśnych, zgodnie z hipotezą Schütta (1981), może być konsekwencją zakłóceń gospodarki wodnej drzew oraz słabej regeneracji korzeni drobnych i mikoryz. W procesie zamierania drzew liściastych ważną rolę odgrywają patogeny z rodzaju *Phytophthora*, uszkadzające systemy korzeniowe (Oszako 2002; Orlikowski et al. 2004). Ponadto obniżenie poziomu wód gruntowych obserwowane w wielu rejonach Polski, szczególnie w latach 90. XX wieku, jak również pojawiające się coraz częściej anomalie pogodowe, negatywnie wpływają na rozwój wielu drzewostanów, w tym jesionowych. Nasilenie zjawiska zamierania

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu, Sękocin Stary, 05–090 Raszyn, Fax +48227150507, e-mail: farfald@ibles.waw.pl

jesionu obserwowane jest zarówno w fazie juwenilnej, jak i w drzewostanach 30-letnich (Szwajkiewicz 1999).

Lasotwórcza rola jesionu, jego ekologiczne i biocenytyczne właściwości w drzewostanach mieszanych, a także niewyjaśniony proces jego zamierania uzasadniają kontynuowanie szczegółowych badań tego gatunku.

Celem prezentowanych badań było porównanie gęstości ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$ gleby) korzeni jesionu wyniesłego w wierzchnich warstwach gleby (0–5 cm, 5–15 cm) w zależności od warunków siedliskowych, ze szczególnym uwzględnieniem rozwoju korzeni drobnych (średnica $< 2 \text{ mm}$).

2. Metodyka badań

Do badań wytypowano 4 drzewostany jesionowe na terenie nadleśnictw: Rudka, Olecko i Lębork na podstawie informacji z bazy danych Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej oraz wyników badań ankietowych Instytutu Badawczego Leśnictwa (tab. 1). Głównymi kryteriami wyboru były: siedliskowy typ lasu, wiek drzewostanu oraz symptomy zamierania jesionu. Wybrane drzewostany w wieku 38–43 lat reprezentowały najbardziej typowe dla *Fraxinus excelsior* L. siedliskowe typy lasu, czyli ols jesionowy – OIJ i las wilgotny – Lw. Ponadto należały do drzewostanów średniowiekowych, wśród których pod koniec lat 90. XX wieku obserwowane było nasilenie procesu zamierania jesionu (Zachara et al. 2006). We wrześniu 2005 r. w każdym drzewostanie wytypowano trzy drzewa próbne o średnich parametrach wzrostu. Wokół każdego drzewa (w odległości od pnia równej połowie zasięgu korony) pobrano za pomocą próbnika o średnicy 8 cm po 5 próbek gleby wraz z korzeniami z głębokości

0–15 cm (łącznie 60 próbek). Ponadto pobrano próbki korzeni drobnych jesionu, które służyły jako wzorce w pracach laboratoryjnych. Wzorce korzeni jesionu przechowywano w płynie konserwującym (Pachlewski, Pachlewska 1965).

W warunkach laboratoryjnych podzielono próbki gleby na dwie warstwy 0–5 cm i 5–15 cm. Następnie, oddzielnie dla każdej warstwy gleby, oczyszczono fragmenty korzeni i na podstawie pomiaru średnicy w ich grubszym końcu zaliczono do poszczególnych frakcji grubości (I: średnica $< 2 \text{ mm}$, II: 2–5 mm, III: 5–10 mm, IV: 10–20 mm, V: $> 20 \text{ mm}$). Na podstawie analizy morfologii korzeni pod mikroskopem stereoskopowym oraz porównań ze wzorcami wyróżniono żywe korzenie jesionu wyniesłego oraz gatunków domieszkowych. Korzenie martwe zostały wydzielone bez uwzględnienia podziału na gatunki (Persson 1983; Bauhus, Bartsch 1996). Ocenione korzenie wysuszone w temperaturze 105°C , w czasie odpowiednim do ich średnicy (Böhm 1985). Następnie obliczono suchą masę korzeni (g) przypadającą na jednostkę objętości gleby (100 cm^3 gleby).

Żywołność korzeni w wierzchnich warstwach gleby (0–5 cm, 5–15 cm) w wybranych drzewostanach jesionowych scharakteryzowano poprzez całkowitą gęstość korzeni ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$ gleby) oraz gęstość poszczególnych frakcji grubości korzeni z podziałem na żywe korzenie jesionu wyniesłego, żywe korzenie gatunków domieszkowych (inne) i korzenie martwe.

Różnice średniej gęstości korzeni w wierzchnich warstwach gleby w zależności od warunków siedliskowych analizowano wykorzystując test Kołmogorowa-Smirnowa (test KS).

Tabela 1. Charakterystyka drzewostanów jesionowych

Table 1. Characteristics of ash stands

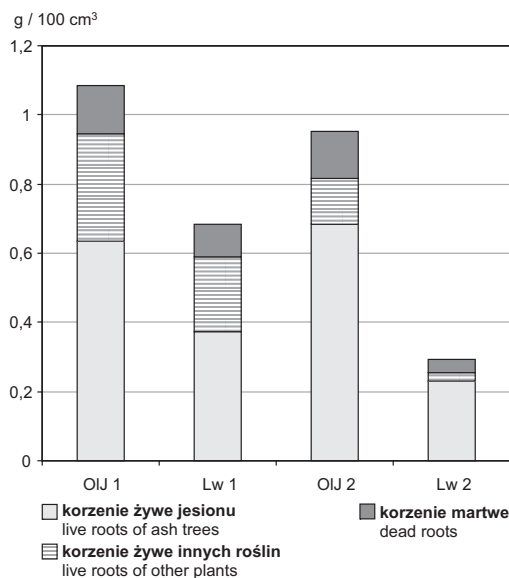
Nadleśnictwo Forest District	Oddział Compart- ment	Typ gleby Soil type	STL Habitat type*	Drzewostan Forest stand		
				skład gatunkowy species composition**	wiek age (years)	$d_{1,3}$ DBH (cm)
Rudka	109d	torfowo-murszowa peat-moorsh soil	OIJ	8Js 2OI	38	25,87
Olecko	116i	torf niski low peat soil	OIJ	6Js 2Brz 2OI	43	23,03
Lębork	284m	mineralnomurszowa mineral-moorsh soil	Lw	8Js 2Brz	42	23,03
Lębork	355b	brunatna kwaśna acid brown soil	Lw	5Js 3OI 1Db 1Brz	42	20,51

* OIJ – alder-ash forest, Lw - moist deciduous forest

** Js – ash, OI – alder, Brz – birch, Db - oak

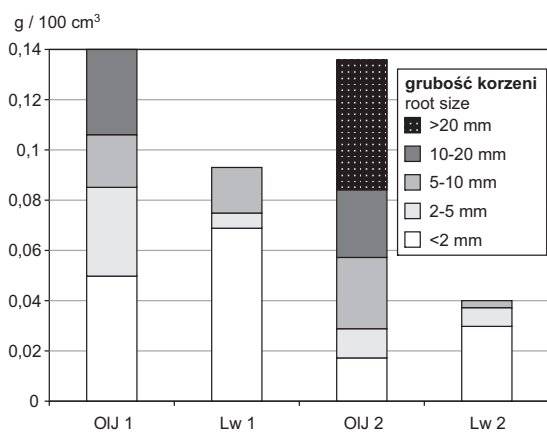
3. Wyniki

Drzewostany jesionowe na siedlisku olsu jesionowego, zarówno w warstwie gleby 0–5 cm, jak i 5–15 cm charakteryzowały się bardziej intensywnym rozwojem korzeni (odpowiednio: 1,086 g/100 cm³ gleby i 0,952 g/100 cm³ gleby) niż na siedlisku lasu wilgotnego (odpowiednio: 0,682 g/100 cm³ gleby i 0,294 g/100 cm³



Rycina 1. Ogólna gęstość korzeni (g/100 cm³ gleby) w drzewostanach jesionowych w zależności od warunków siedliskowych (OIJ; Lw) i warstwy gleby (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)

Figure 1. Total density of roots (g/100 cm³ of soil) in ash stands in relation to habitat (OIJ; Lw) conditions and soil layer depth (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)



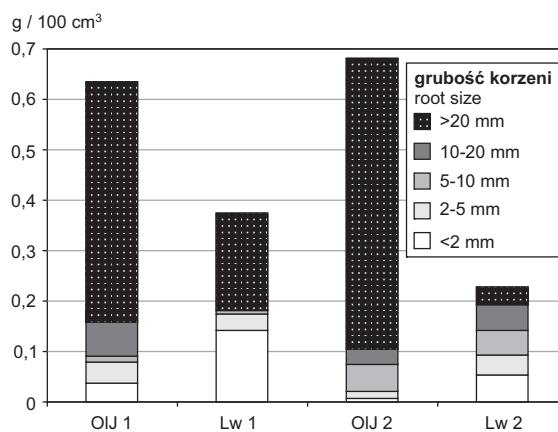
Rycina 2. Gęstość korzeni martwych (g/100 cm³ gleby) w zależności od warunków siedliskowych (OIJ; Lw) i warstwy gleby (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)

Figure 2. Density of dead roots (g/100 cm³ of soil) in relation to habitat (OIJ; Lw) conditions and soil layer depth (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)

gleby). Niezależnie od warunków siedliskowych udział żywych korzeni jesionu zwiększał się wraz ze wzrostem głębokości w glebie (1. warstwa gleby: 54–58%, i 2. warstwa gleby: 72–78%). Korzenie gatunków domieszkowych stanowiły 29–32% i ich udział zmniejszał się wraz ze wzrostem głębokości w glebie, szczególnie w drzewostanach na siedlisku lasu wilgotnego. W drugiej warstwie gleby stwierdzono statystycznie istotne różnice średniej całkowitej gęstości korzeni gatunków domieszkowych (test KS $p < 0,05$) w zależności od warunków siedliskowych. W badanych drzewostanach, udział korzeni martwych nie przekroczył 15%. W pierwszej warstwie gleby na siedlisku Lw dominowały martwe korzenie drobne (74%), natomiast na siedlisku OIJ stwierdzono dość wyrównany udział korzeni poszczególnych frakcji grubości. Na siedlisku Lw nie zaobserwowano obecności martwych korzeni IV i V frakcji grubości. Niezależnie od warunków siedliskowych gęstość martwych korzeni drobnych wyraźnie zmniejszała się wraz ze wzrostem głębokości w glebie (ryc. 1 i 2).

Wśród korzeni jesionu (0,635 g/100 cm³ gleby) na siedlisku OIJ w 1. warstwie gleby dominowały korzenie o średnicy 20 mm (75%). Najmniej korzeni (0,012 g/100 cm³ gleby) zaliczono do III frakcji grubości. Stanowiły one jedynie 2% całkowitej gęstości korzeni jesionu. Udział korzeni I oraz II frakcji grubości był bardzo wyrównany (6%), a ich gęstość wynosiła odpowiednio: 0,038 i 0,040 g/100 cm³ gleby. W 2. warstwie gleby na tym samym siedlisku stwierdzono intensywny rozwój korzeni jesionu V frakcji grubości (0,578 g/100 cm³ gleby), natomiast słaby korzeni I i II frakcji grubości, odpowiednio: 0,008 i 0,013 g/100 cm³ gleby (ryc. 3).

Całkowita gęstość korzeni jesionu na siedlisku Lw w 1. warstwie gleby była prawie dwukrotnie mniejsza



Rycina 3. Gęstość żywych korzeni jesionu (g/100 cm³ gleby) w zależności od warunków siedliskowych (OIJ; Lw) i warstwy gleby (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm).

Figure 3. Density of live roots of ash (g/100 cm³ of soil) in relation to habitat (OIJ; Lw) conditions and soil layer depth (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm).

(0,374 g/100 cm³ gleby) niż na siedlisku OIJ. Najwięcej korzeni zaliczono do I i V frakcji grubości (odpowiednio: 0,143 g/100 cm³ gleby i 0,192 g/100 cm³ gleby), natomiast nielicznie występowały korzenie III i IV frakcji grubości. W 2. warstwie gleby stwierdzono wyraźnie mniejszą gęstość korzeni I (0,054 g/100 cm³ gleby) i V (0,036 g/100 cm³ gleby) frakcji grubości (ryc. 3).

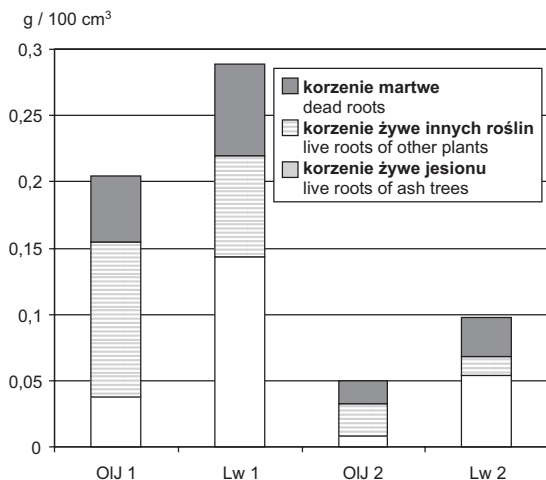
Analizując gęstość korzeni drobnych w wybranych drzewostanach, stwierdzono zdecydowanie słabszy rozwój korzeni jesionu na siedlisku OIJ – w obu warstwach gleby (1. warstwa: 0,038 g/100 cm³ gleby, 2. warstwa: 0,008 g/100 cm³ gleby), niż na siedlisku Lw (1. warstwa: 0,143 g/100 cm³ gleby, 2. warstwa: 0,054 g/100 cm³ gleby). Różnice średniej gęstości korzeni drobnych jesionu w zależności od warunków siedliskowych były statystycznie istotne, zarówno w 1. warstwie gleby (test KS $p < 0,05$), jak i w 2. warstwie (test KS $p < 0,001$). W 1. warstwie gleby na siedlisku OIJ gęstość korzeni drobnych jesionu była trzykrotnie mniejsza (0,038 g/100 cm³ gleby) niż gatunków domieszkowych (0,117 g/100 cm³ gleby), natomiast na siedlisku Lw stwierdzono dwukrotnie więcej żywych korzeni drobnych jesionu niż gatunków domieszkowych (odpowiednio: 0,143 i 0,077 g/100 cm³ gleby). Niezależnie od warunków siedliskowych w 1. warstwie gleby martwe korzenie drobne stanowiły 24%. W drzewostanach na siedlisku OIJ gęstość martwych korzeni drobnych (0,05 g/100 cm³ gleby) była 1,3 razy większa niż żywych korzeni jesionu (0,038 g/100 cm³ gleby), natomiast na siedlisku Lw wykazano odwrotną tendencję (martwe: 0,069 g/100 cm³ gleby; jesion: 0,143 g/100 cm³ gleby). Niezależnie od warunków siedliskowych stwierdzono niższą gęstość martwych korzeni drobnych niż żywych korzeni drobnych

gatunków domieszkowych (ryc. 4). Różnice średniej gęstości martwych korzeni drobnych w 1. warstwie gleby w zależności od warunków siedliskowych był statystycznie istotne (test KS $p < 0,025$).

4. Dyskusja

Rozwój systemów korzeniowych drzew determinują nie tylko właściwości biologiczne gatunku, ale również środowisko leśne. Struktura gleby, jej stosunki wodne, dostępność substancji pokarmowych oraz mikrobiologia w istotny sposób regulują wzrost korzeni, szczególnie w wierzchnich warstwach gleby (Cardon, Whitbeck 2007). Jesion wyniosły charakteryzuje się dobrze wykształconym, mocnym systemem korzeniowym. W korzystnych warunkach wilgotnościowych, np. w pobliżu cieków wodnych, wytwarza system korzeniowy płaski, o dużym zasięgu poziomym (Tyszkiewicz, Obmiński 1963; Tomanek 1980). Drzewostany jesionowe w wieku 40 lat wymagają określonej pielęgnacji dotyczącej kształtowania warunków świetlnych, rozwoju korony, regulacji więzby (Savill 1992). Warunki świetlne drzewostanu w istotny sposób determinują rozwój korzeni drobnych w wierzchnich warstwach gleby. Biomasa korzeni drobnych jesionu w warunkach „pełnego światła” może być czterokrotnie większa niż w warunkach „słabego światła” (Rust, Savill 2000). W drzewostanach mieszanych intensywny rozwój korzeni drobnych *F. excelsior* L. ogranicza rozwój korzeni innych gatunków (Faliński, Pawlaczyk 1995; Rust, Savill 2000). Silna dominacja korzeni jesionu stwierdzana jest nawet w drzewostanach, w których udział tego gatunku nie przekracza 40% (Polatajčuk, Šparik 1993). Wyniki badań Pachlewskiego (1954) świadczą, że jesion wyniosły należy do gatunków mikotroficzných, jednak w odróżnieniu do drzew iglastych na jego korzeniach drobnych dominują endomikoryzy. W Puszczy Białowieskiej w korzystnych warunkach wzrostu na siedlisku olsu jesionowego *F. excelsior* L. charakteryzuje się obfitym występowaniem endomikoryz. Natomiast w zespole *Alneto-betuletum* (Paczowski 1930 – oles brzożowy, dziś *Thelypteridi-Betuletum pubescentis* Czerw. 1972 – sosnowo-brzożowy las bagieny) nadmiar wody w glebie ogranicza rozwój endomikoryz na korzeniach jesionu (Pachlewski 1954).

Wyniki prezentowanych badań świadczą o bardziej intensywnym rozwoju systemów korzeniowych jesionu w wierzchnich warstwach gleby (0–5 cm, 5–15 cm) na siedlisku olsu jesionowego niż na siedlisku lasu wilgotnego. W badanych warstwach gleby na siedlisku OIJ dominowały korzenie o średnicy powyżej 20 mm, które stabilizują roślinę w podłożu. Natomiast korzenie drobne uczestniczące w procesie odżywiania drzewa, intensywniej rozwijały się w drzewostanach na siedlisku



Rycina 4. Gęstość korzeni drobnych (g/100 cm³ gleby) w zależności od warunków siedliskowych (OIJ; Lw) i warstwy gleby (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)

Figure 4. Fine root density (g/100 cm³ of soil) in relation to habitat (OIJ; Lw) conditions and soil layer depth (1: 0–5 cm; 2: 5–15 cm)

Lw. Ols jesionowy jest siedliskiem żyzniejszym, o korzystniejszych warunkach wilgotnościowych w porównaniu z lasem wilgotnym, tak więc silniejszy rozwój korzeni drobnych na siedlisku Lw można uznać za swoistą formę adaptacji drzew do rozwoju w mniej korzystnych warunkach wilgotnościowych (Teskey et al. 1985; Fell et al. 1988). Gęstość korzeni drobnych jesionu świadczyła o większych możliwościach konkurencyjnych tego gatunku w zdobywaniu zasobów wody i składników odżywczych w drzewostanach na siedlisku Lw niż na siedlisku OIJ. Rozwój korzeni drobnych jesionu na siedlisku Lw był dwukrotnie intensywniejszy niż gatunków domieszkowych, natomiast na siedlisku OIJ gęstość korzeni drobnych jesionu była trzykrotnie mniejsza niż gatunków domieszkowych.

Proporcje pomiędzy gęstością żywych korzeni drobnych jesionu i gatunków domieszkowych oraz martwych korzeni drobnych mogą świadczyć o szybszym tempie zamierania korzeni drobnych jesionu na siedlisku OIJ niż Lw, szczególnie w okresach niekorzystnych warunków pogodowych (np. susza wiosną i jesienią podczas intensywnego wzrostu korzeni) panujących w sezonie badań. W kwietniu i we wrześniu 2005 r. w wielu rejonach Polski suma opadów była niższa od średniej wieloletniej, natomiast średnie miesięczne temperatury powietrza były wyższe od średnich wieloletnich (Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Styczeń-Grudzień 2005, IMiGW).

5. Wnioski

1. System korzeniowy jesionu wyniosłego w wierzchnich warstwach gleby (0–5 cm, 5–15 cm) intensywniej rozwija się na siedlisku olsu jesionowego niż na siedlisku lasu wilgotnego.

2. Intensywniejszy rozwój korzeni drobnych jesionu na siedlisku lasu wilgotnego niż na siedlisku olsu jesionowego stanowi swoistą formę adaptacji drzew leśnych do rozwoju w mniej korzystnych warunkach wilgotnościowych.

3. Wpływ niekorzystnych warunków pogodowych na żywotność korzeni drobnych jesionu np. susze w okresach intensywnego wzrostu korzeni wiosną i jesienią wyraźniej zaznacza się w drzewostanach na siedlisku olsu jesionowego niż lasu wilgotnego.

Podziękowania

Prezentowane badania zrealizowano w ramach projektu „Możliwości przeciwdziałania zjawisku zamierania jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) meto-

dami hodowli lasu” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji w latach 2003–2006 (Zachara et al. 2006).

Literatura

- Bauhus J., Bartsch N. 1996. Fine-root growth in beech (*Fagus sylvatica*) forest gaps. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 2153–2159.
- Böhm W. 1985. Metody badań systemów korzeniowych. Warszawa, PWRiL, ISBN 830900902X.
- Cardon Z. G., Whitbeck J. L. 2007. The rhizosphere. An ecological perspective. Elsevier – Academic Press, ISBN 0120887754.
- Faliński J. B., Pawlaczyk P. 1995. Zarys ekologii. w: Bugala W. (red.) Jesion wyniosły *Fraxinus excelsior* L. Nasze Drzewa Leśne, 17. Poznań – Kórnik, Sorus: 217–305.
- Fell W., Kottke I., Oberwinkler F. 1988. The effect of drought on mycorrhizal production and very fine root system development of Norway spruce under natural and experimental conditions. *Plant and Soil*, 108: 221–231.
- Matyjasik J. 2001. Zamieranie jesionu w Nadleśnictwie Jamy. *Biuletyn Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu*, 2: 20–21.
- Orlikowski L.B., Oszako T., Duda B., Szkuta G. 2004. Występowanie *Phytophthora citricola* na jesionie wyniosłym (*Fraxinus excelsior*) w szkółkach leśnych. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 129–136.
- Oszako T. 2002. Rola organizmów z rodzaju *Phytophthora* w zamieraniu drzew liściastych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, A*, 2: 128–130
- Pachlewski R. 1954. Badania mikotroficzne jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) z uwzględnieniem warunków ekologicznych i fitocenotycznych. *Ekologia Polska*, 2: 151–164.
- Pachlewski R., Pachlewska J. 1965. Badania nad mikoryzą świerka (*Picea excelsa* (Lam.) Lk.) i graba (*Carpinus betulus* L.) w naturalnych zespołach leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 280: 3–53.
- Persson H. 1983. The distribution and productivity of fine-roots in boreal forests. *Plant and Soil*, 71: 87–101.
- Polatajczuk V. K., Šparik J. S. 1993. Jasen obyknovennyj v Ukrainskich Karpatach. *Lesovedenie*, 1: 25–34.
- Przybył K. 2002. Ważniejsze choroby grzybowe i bakteryjne niektórych drzew i krzewów parkowych. *Biuletyn Ogródów Botanicznych*, 11: 9–20.
- Rust S., Savill P.S. 2000. The root systems of *Fraxinus excelsior* and *Fagus sylvatica* and their competitive relationships. *Forestry*, 73 (5): 499–508.
- Savill P. S. 1992. The silviculture of trees used in British forestry. Oxon, CAB International.
- Stocki J., Stocka T. 1999. Przyczyny zamierania drzew i drzewostanów jesionowych. Biblioteczka Leśniczego, 118. Warszawa, SITLiD: 3–11.
- Szwalkiewicz J. 1999. Zamieranie drzew i drzewostanów jesionowych-przyczyny, skutki, prognoza. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 69: 24–30.

- Schütt P. 1981. Erste Ausätze zur Experimentellen klärung des Tannensterbens. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 132 (6): 443–452.
- Teskey R.O., Gier Ch. C., Hinckley T. M. 1985. Relation between root system size and water inflow capacity of *Abies amabilis* growing in a subalpine forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 669–672.
- Tomanek J. 1980. Botanika leśna. Warszawa, PWRiL.
- Tyszkiewicz S., Obmiński Z. 1963: Hodowla i uprawa lasu. Warszawa, PWRiL.
- Zachara T., Zajączkowski J., Gil W., Łukaszewicz J., Paluch R. 2006. Możliwości przeciwdziałania zjawisku zamierania jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) metodami hodowli lasu. Dokumentacja końcowa IBL.