

JERZY SKRZYSZEWSKI, RAFAŁ TARANOWSKI

# Przyrost i wzrost nadziemnej i podziemnej części podrostów jodłowych w Nadleśnictwie Piotrków Trybunalski

The increment and growth of above- and belowground part of the fir undergrowth in the Piotrków Trybunalski Forest District

## ABSTRACT

Skrzyszewski J., Taranowski R. 2010. Przyrost i wzrost nadziemnej i podziemnej części podrostów jodłowych w Nadleśnictwie Piotrków Trybunalski. Sylwan 154 (7): 488-498.

The objective of the research was to determine the relationship between the dimensions and increment of the aboveground (easy to determine) and the belowground biomass of fir undergrowth in different shelter conditions. In the examined samples, the length of taproots (*DKp*) up to the age of 30 was dependent on its increment during the first three years of development. Later years saw an intensified growth of taproots. However, the differences from the first years of growth did not compensate for the differences in the first years. Reduced *DKp* growth was observed in the group of seedlings incrementing to a height of less than 4 cm. The height increment of fir undergrowth at about 20 years of age should not be less than 20 cm. The growth of roots and aboveground parts depends on other factors. The growth of roots was related to the growth of aboveground parts only to a small degree. Under the conditions of suppression, the extremely poor height increment of firs was compensated by the development of the aboveground biomass. With a moderate height increment (sufficient light availability) root growth was more intense. No clear relationship was found between the development of taproots and horizontal roots.

## KEY WORDS

*Abies alba*, root system, height, length, growth, increment, Poland

## ADDRESSES

Jerzy Skrzyszewski <sup>(1)</sup> – e-mail: rlskrzys@cyf-kr.edu.pl

Rafał Taranowski <sup>(2)</sup> – e-mail: rafal.taranowski@lodz.lasy.gov.pl

<sup>(1)</sup> Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu, Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Nadleśnictwo Piotrków; Łęczno 101; 97-330 Sulejów

## Wstęp

Jodła wymaga długiego okresu odnowienia [Jaworski 1994]. Podczas jego trwania stopniowo dozuje się ilość światła docierającego do dna lasu. Stopień ocienienia wpływa na wzrost części nadziemnej i ma również znaczenie, wraz z długością okresu osłony, dla rozwoju części podziemnej [Šafar 1954; Skrzyszewski, Gomółka 1998; Skrzyszewski, Szczygieł 2002]. System korzeniowy rozwija się jednak pod mniejszym wpływem warunków siedliskowych, decydujących o wzroście części nadziemnej [Jaworski 2004]. Jodła w początkowym okresie życia rozwija palowy system korzeniowy, który później przekształca się w system sercowaty. Wykształcenie głęboko sięgającego korzenia palowego zmniejsza zagrożenie od wiatrowałów, a stabilność drzew ma istotne znaczenie podczas długich okresów pielęgnacji zapasu w rębniach stopniowych. Zwiększa także objętość bryły gleby przerośniętej korzeniami. Silnie rozwinięty system korzeniowy poprawia retencyjność związków nieprzepuszczalnych gleb [Lange i in. 2008].

Celem pracy było określenie zależności między wymiarami i przyrostem części nadziemnej i podziemnej podrostów jodłowych, wzrastających w zróżnicowanych warunkach osłony przy północnej granicy zasięgu tego gatunku. Poznanie relacji pomiędzy łatwymi do oceny zmianami wysokości a wzrostem korzenia może dać podstawy do optymalizacji zasad kształtowania warunków świetlnych w okresie odnowienia.

## Teren badań i metodyka

Badania zrealizowano w oddziale 84 leśnictwa Stobnica (Nadleśnictwo Piotrków Trybunalski, obręb Lubień). Drzewostan wzrastał na siedlisku lasu mieszanego świeżego, na glebie rdzawej brunatnej wytworzonej na glinie piaszczystej, warstwy wierzchnie stanowiły piaski gliniaste. W sąsiedztwie występują siedliska olsowe, co sprawia, że na terenie oddziału panują korzystne warunki wilgotnościowe. Nadleśnictwo Piotrków Trybunalski położone jest w strefie o niskiej rocznej sumie opadów. W okresie 1981-1997 przeciętna roczna suma opadów wyniosła 522 mm (dane ze stacji meteorologicznej w Sulejowie). W składzie gatunkowym drzewostanu dominuje sosna (80%), a dąb stanowił pozostałe 20%. Jodła występowała pojedynczo. W podroście i dolnym piętrze występowała tylko jodła (pochodzenie naturalne). Zasobność drzewostanu wynosiła 249 m<sup>3</sup>/ha, pierśnica 20 cm, wysokość 25 m, a bonitację określono na I/II.

Prace terenowe zrealizowano na przełomie sierpnia i września w 2005 roku. W drzewostanie wyznaczono po trzy 2-arowe stanowiska badawcze w 3 fragmentach drzewostanu różniących się wyraźnie stopniem zwarcia (łącznie 9 stanowisk). Na każdym stanowisku wybrano biogrupę składającą się z jodeł tworzących 3 warstwy wysokościowe. W centrum biogrupy wybrano 3 sąsiadujące ze sobą jodły z trzech różnych warstw wysokościowych: najwyższą, do 2/3 wysokości najwyższej i do 1/3 wysokości najwyższej. Uzyskano w ten sposób zróżnicowanie warunków świetlnych, w których wzrastały badane drzewa. Wybrane jodły ścięto i pomierzono na nich: średnicę pnia w szyi korzeniowej, wysokość, długość i szerokość korony oraz przyrosty roczne wysokości do najniższego widocznego okółka. Odsłonięto korzenie horyzontalne, przeliczono je i zmierzono ich długość. Wykopano cały system korzeniowy. Zważono w stanie świeżym koronę, strzałę i system korzeniowy. W warunkach laboratoryjnych wykonano analizę przyrostu wysokości poniżej ostatniego widocznego okółka, analizę przyrostu długości korzenia palowego w sekcjach 10 cm oraz analizę przyrostu długości 3 najdłuższych korzeni horyzontalnych w sekcjach 20 cm. Pomierzono szerokości słoju przyrostu rocznego w szyi korzeniowej.

## Wyniki

Wiek jodeł wahał się od 22 do 46 lat przy medianie równej 38. W tabeli 1 zamieszczono macierz współczynników korelacji cząstkowej zależności między cechami systemów korzeniowych a wybranymi cechami części nadziemnej przy wyłączonym wpływie wieku. Zmienne pochodziły z bezpośredniego pomiaru drzew w roku prowadzenia badań. Długość korzenia palowego (*DKp*) była skorelowana ze wszystkimi analizowanymi cechami z wyjątkiem sumy długości korzeni horyzontalnych i długości korony. Najwyższy współczynnik korelacji stwierdzono dla związku między długością korzenia palowego a wysokością drzewa (współczynnik determinacji – 0,52). Z tymi samymi cechami co *DKp* związana była również suma długości korzeni horyzontalnych. Współczynniki korelacji w przypadku tej cechy były zwykle wyższe z wyjątkiem wysokości drzewa, która wykazywała silniejszy związek z długością korzenia palowego. Najwyższe współczynniki korelacji z cechami części nadziemnej zanotowano dla masy systemu korzeniowego.

Na podstawie analiz wysokości drzewa i długości korzenia palowego obliczono wartości tych cech w wieku 3 lat i porównano je z wymiarami wymaganymi dla sadzonek 3/0 pierwszej

klasy jakości według PN-R-67025 [1999] (ryc. 1). W przypadku trzech jodeł ich wysokość osiągała wartości przewidziane w normie. Wielkość tej cechy u większości drzewek była na poziomie wymagań dla 2 klasy jakości. Długość korzenia 9 jodeł przekraczała lub była na granicy wymagań 1 klasy jakości, a w sześciu przypadkach znajdowała się tuż poniżej wymagań 2 klasy. W próbie wyróżniają się drzewa nr 26 i 27, których wymiary wyraźnie odstają od pozostałych (ryc. 1).

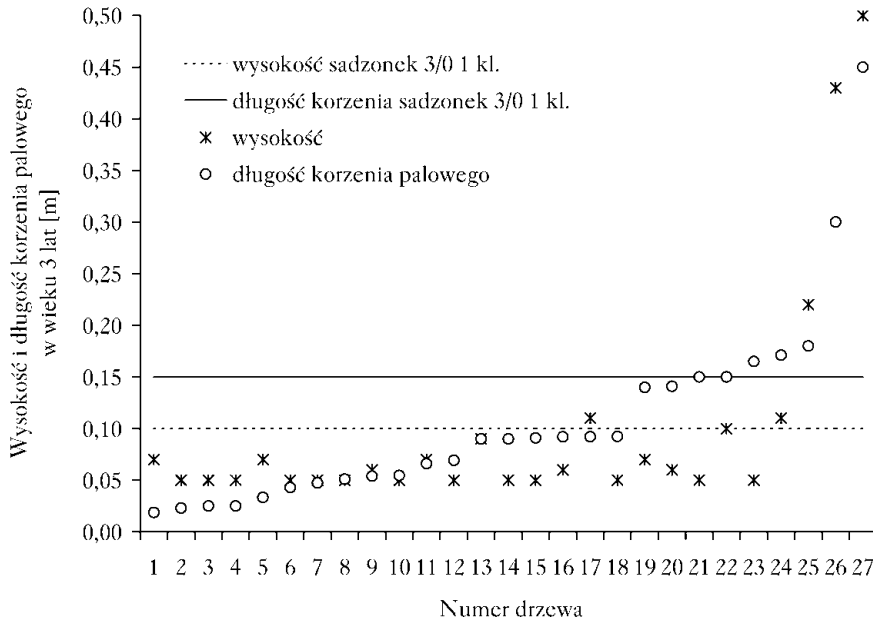
Tabela 1.

Współczynniki korelacji cząstkowej cech systemów korzeniowych i cech części nadziemnej przy wyłączonym wpływie wieku

Correlation coefficients for root and aboveground parameters excluding the impact of age

Cecha	Długość korzenia palowego [m]	Suma długości korzeni horyzontalnych [m]	Masa systemu korzeniowego [kg]
Suma długości korzeni horyzontalnych [m]	0,43		
Masa systemu korzeniowego [kg]	0,61*	0,88*	
Średnica w szyi korzeniowej [cm]	0,66*	0,80*	0,92*
Wysokość drzewa [m]	0,72*	0,65*	0,83*
Długość korony [m]	0,49	0,45	0,63*
Szerokość korony [m]	0,64*	0,83*	0,87*
Masa korony [kg]	0,63*	0,82*	0,93*
Masa strzały [kg]	0,60*	0,84*	0,98*
Masa całkowita [kg]	0,62*	0,86*	0,98*

\* wartości istotne na poziomie  $\alpha \leq 0,05$ ; values significant at  $\alpha \leq 0,05$  level



Ryc. 1.

Porównanie wysokości drzewa i długości korzenia palowego badanych jodeł z wymiarami wymaganymi dla sadzonek 3/0 pierwszej klasy jakości według PN-R-67025 [1999]

Comparison of the tree height and taproot length of the analysed firs with the dimensions required for the 3/0 first quality class seedlings according to PN-R-67025 [1999]

Obliczono także wysokość drzewa, długość korzenia palowego i grubość szyi korzeniowej bez kory w wieku 10, 20 i 30 lat. Macierz współczynników korelacji pomiędzy wymienionymi cechami oraz wysokością drzewa i  $DKp$  w wieku 3 lat zamieszczono w tabeli 2. W obliczeniach odrzucono wartości odstające (drzewa 26 i 27). Obliczenia dla wieku 3, 10 i 20 lat wykonano na próbie 25 drzew, a dla wieku 30 lat na próbie 21 drzew. Nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności pomiędzy długością korzenia palowego a wysokością osiąganą w określonym wieku. Innymi słowy nie stwierdzono związku pomiędzy dynamiką wzrostu analizowanych cech u pojedynczych drzew w okresie 10, 20 i 30 lat. Długość korzenia palowego w wieku 10, 20 i 30 lat była uzależniona od długości osiągniętej w okresach wcześniejszych. Zaskakująco wysoki wpływ na wartość tej cechy w wieku 10, 20 i 30 lat miała długość korzenia osiągnięta w wieku zaledwie 3 lat, co więcej  $DKp$  w wieku 20 i 30 lat była silniej lub równie mocno (współczynniki korelacji 0,80 i 0,66; 0,84 i 0,72 oraz 0,84 i 0,92 (tab. 2), nie różnią się statystycznie) związana z  $DKp$  w wieku 3 lat jak z  $DKp$  w wieku 10 lat (dla jodeł 20-letnich) i 20 lat (dla jodeł 30-letnich). Wyniki te sugerują, że dominujący wpływ na długość korzenia palowego do wieku 30 lat miał przyrost  $DKp$  w pierwszych 3 latach życia. Na rycinie 2 przedstawiono zależność między wzrostem wysokości i długości korzenia palowego jodeł o korzeniu palowym w wieku 3 lat dłuższym ( $DKp > \text{średniej}$ ) i krótszym od średniej ( $DKp < \text{średniej}$ ). Jodły tej samej wysokości posiadały bardzo różną długość korzeni palowych. Z kształtu krzywych (ryc. 2) wynika, że kluczowym dla określenia funkcji aproksymującej omawianą zależność jest określenie przebiegu wzrostu korzenia palowego w zależności od przebiegu wzrostu wysokości do wysokości drzewa około 2 m. Wzrost wysokości w tym zakresie bardzo dobrze opisuje np. krzywa Gompertz 2 [Seber, Wild 1989] o postaci  $h = a \cdot e^{(-e^{(-b \cdot \text{wiek} - c)})}$ , ale wystarczająco dokładnie również prosta funkcja wykładnicza  $h = a \cdot b^{\text{wiek}}$ . Wzrost długości korzenia palowego można w omawianym zakresie opisać krzywą funkcji potęgowej  $DKp = a \cdot \text{wiek}^b$ . Kształt tych krzywych dobrze oddaje relacje (opisane w dalszej części pracy) między wzrostem jodeł na wysokość a wzrostem  $DKp$ . Nie udało się jednak z satysfakcjonującą precyzją określić parametrów funkcji opisującej wzrost  $DKp$  na podstawie znajomości parametrów funkcji opisującej wzrost wysokości. Wydaje się, że inne czynniki decydowały o długości korzenia palowego, a inne o wzroście na wysokość.

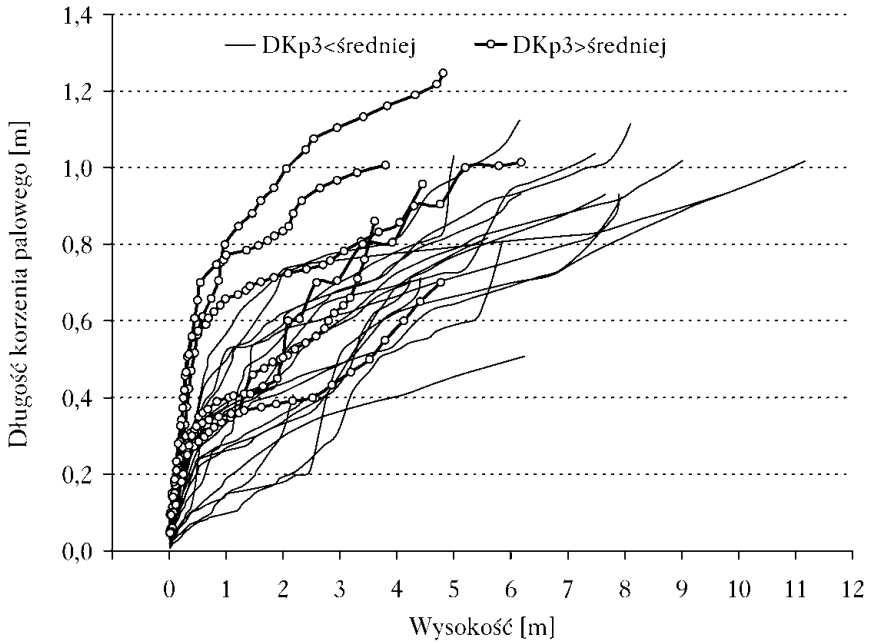
Na rycinie 3 przedstawiono rozrzut długości korzeni palowych w wieku 20 lat i wysokości osiągniętych przez jodły w tym wieku. Wiek 20 lat przyjęto, gdyż umożliwiał włączenie do

**Tabela 2.**

Współczynniki korelacji długości korzenia palowego i wysokości oraz średnicy w szyi korzeniowej  
Correlation coefficients for the taproot length, height and root collar diameter

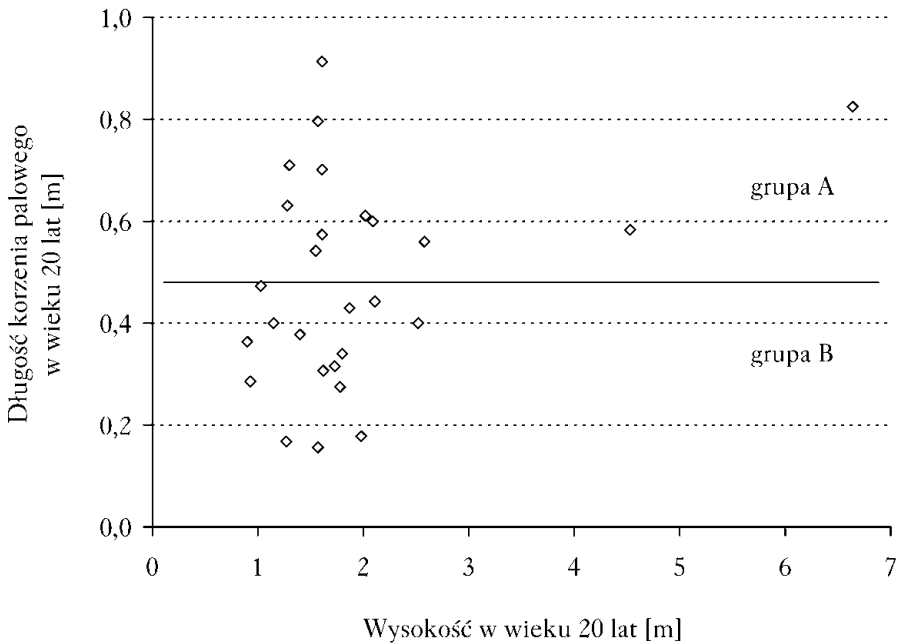
	Długość [m] korzenia palowego w wieku			
	3 lat	10 lat	20 lat	30 lat
Wysokość w wieku 3 lat [m]	0,39	0,32	0,29	0,38
Długość korzenia palowego w wieku 3 lat [m]		0,60**	0,80**	0,84**
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 10 lat [cm]		0,36	0,47*	0,47*
Wysokość w wieku 10 lat [m]		0,22	0,20	0,22
Długość korzenia palowego w wieku 10 lat [m]			0,66**	0,72**
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 20 lat [cm]			0,30	0,42*
Wysokość w wieku 20 lat [m]			0,08	0,25
Długość korzenia palowego w wieku 20 lat [m]				0,92**
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 30 lat [cm]				0,36
Wysokość w wieku 30 lat [m]				0,41

wartości istotne na poziomie  $\alpha \leq 0,05$  \* i  $\alpha \leq 0,01$  \*\*; values significant at  $\alpha \leq 0,05$  \* and  $\alpha \leq 0,01$  \*\* level



Ryc. 2.

Zależność między wzrostem wysokości a długością korzenia palowego badanych jodeł  
Relationship between the height growth and the taproot length for analysed firs

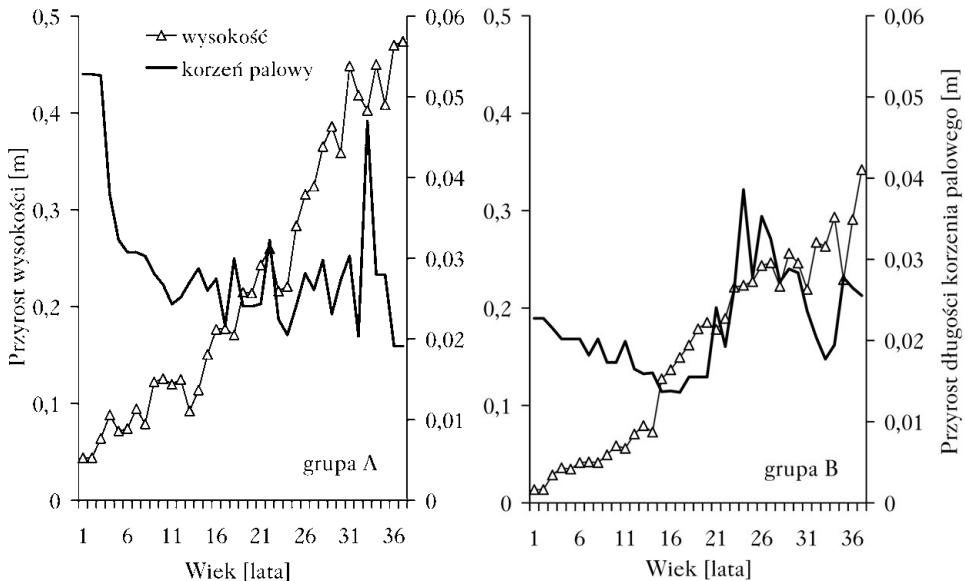


Ryc. 3.

Długość korzenia palowego w zależności od wysokości osiągniętej przez jodły w wieku 20 lat  
Taproot length in relation to height for 20-years-old firs

obliczeń wszystkich zmierzonych drzew. Utworzono dwie grupy drzew różniące się długością korzenia palowego w wieku 20 lat – powyżej (A) i poniżej (B) średniej równej 0,48 m (linia pozioma na ryc. 3). Obliczono średnią wartość rocznego przyrostu wysokości i długości korzenia palowego dla obu grup (ryc. 4). Jodły w grupie A osiągały wyraźnie większe przyrosty roczne wysokości. U jodeł grupy B obserwuje się dodatkowo zahamowanie przyrostu wysokości od około 30 roku życia. W obu grupach trend przyrostu wysokości był rosnący, a najmniejsze wartości przyrostu odpowiadają początkowemu okresowi życia. Przyrost długości korzenia palowego zmieniał się bardzo dynamicznie w rytmie odbiegającym od zmian przyrostu wysokości. Jodły o głębiej sięgającym korzeniu palowym w wieku 20 lat (grupa A), przyrastały bardzo intensywnie w początkowym okresie życia. Do około 10 roku życia przyrost *DKp* zmniejszał się gwałtownie i w kolejnych latach, nie wykazując wyraźnego trendu, ulegał znacznym corocznym wahaniom. Przyrost długości korzenia palowego w grupie B osiągał w początkowym okresie życia jodeł bardzo małe wielkości, później zmniejszał się jeszcze bardziej, osiągając minimum w wieku około 15 lat, natomiast od około 20 roku wyraźnie się zwiększył. W tym czasie przyrost wysokości i długości korzenia palowego przejściowo zrównał się w obu grupach. W następnych latach przyrost korzenia palowego jodeł grupy A był jednak wyraźnie większy niż w grupie B.

Opisany powyżej przebieg przyrostu długości korzenia palowego i wysokości jest wyraźnie widoczny na rycinie 5. W celu lepszej wizualizacji omawianych zależności na wykresie przedstawiono krzywą trendu w postaci wielomianu 3 stopnia. Współczynnik determinacji  $R^2$  dla grupy A wyniósł 0,64, natomiast dla grupy B – 0,49. Średni roczny przyrost wysokości jodeł grupy A nigdy nie był mniejszy niż 4 cm. Przyrost wysokości na takim poziomie uzyskiwały jodły grupy B od 6 roku życia. Od 1 do 5 roku życia średni roczny przyrost wysokości w grupie B wahał się od 1,4 do 3,5 cm (ryc. 4), przy odchyleniu standardowym równym 1,4 cm. Okres wzrostu w warunkach silnego ocienienia mógł zadecydować o niskiej pozycji biosocjalnej



Ryc. 4.

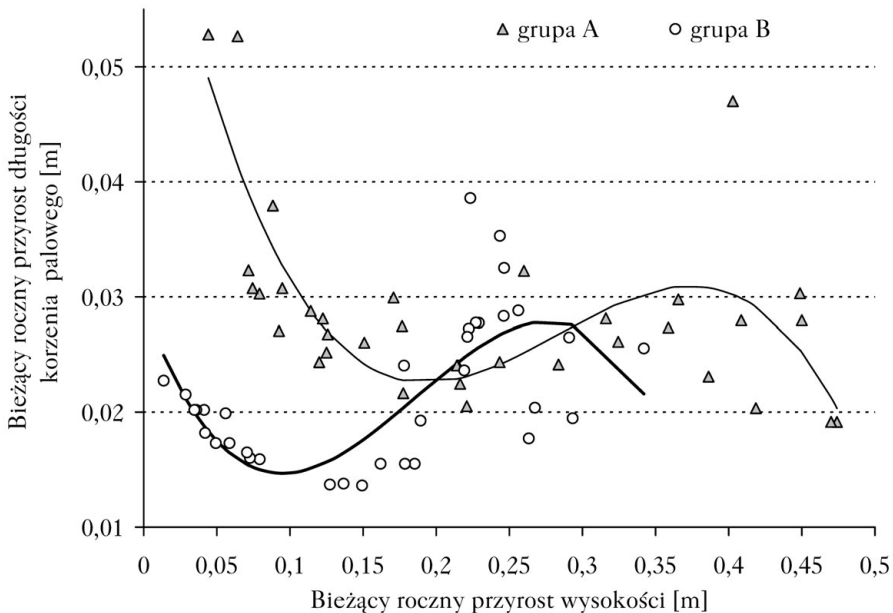
Roczny przyrost wysokości i długości korzenia palowego badanych jodeł  
Annual increment of height and taproot length for analysed firs

i konieczności inwestowania przede wszystkim we wzrost części nadziemnej. Poprawa warunków wzrostu jodeł grupy B nastąpiła po dwudziestym roku życia, kiedy to średni przyrost wysokości wynosił 20-30 cm (ryc. 4).

Zwiększenie średniego przyrostu  $DKp$  jodeł grupy B po 20 roku życia przypada u poszczególnych drzew na okres pomiędzy 18 a 27 rokiem ich życia. Obliczono współczynnik korelacji pomiędzy przyrostem  $DKp$  jodeł w tym okresie a  $DKp$  w wieku 30 lat. Nie stwierdzono zależności korelacyjnej. Niewielki przyrost długości korzenia w początkowym okresie wzrostu nie został zrekompensowany w późniejszym czasie, kiedy nastąpiła poprawa warunków świetlnych (przyrost wysokości w grupie A i B uległ zrównaniu).

Ze względu na zróżnicowany stopień osłony, jodły uzyskiwały daną wysokość w różnym wieku. Określono wiek osiągnięcia przez jodły wysokości około 2 i 4 m. Wahał się on od 8 do 29 lat dla wysokości 2 m i od 15 do 36 lat dla wysokości 4 m. Zależność pomiędzy długością korzenia palowego jodeł o wysokości 4 m a wiekiem jego uzyskania przedstawiono na rycinie 6. Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy wiekiem osiągania wysokości około 2 i 4 m a długością korzenia palowego, współczynnik korelacji wyniósł 0,05 (wysokość 2 m) i 0,09 (wysokość 4 m).

O stabilności drzewa i możliwości wypełniania przez system korzeniowy funkcji fizjologicznych decyduje nie tylko korzeń palowy, ale również korzenie horyzontalne. Na podstawie analizy długości 3 najdłuższych korzeni horyzontalnych określono średnią długość korzenia horyzontalnego w wieku 20 i 30 lat. Współczynniki korelacji tych cech z charakterystykami wzrostu strzały i korzenia palowego zamieszczono w tabeli 3. W obliczeniach odrzucono jodły 26 i 27. Na uwagę zasługuje zależność pomiędzy długością korzenia horyzontalnego w wieku

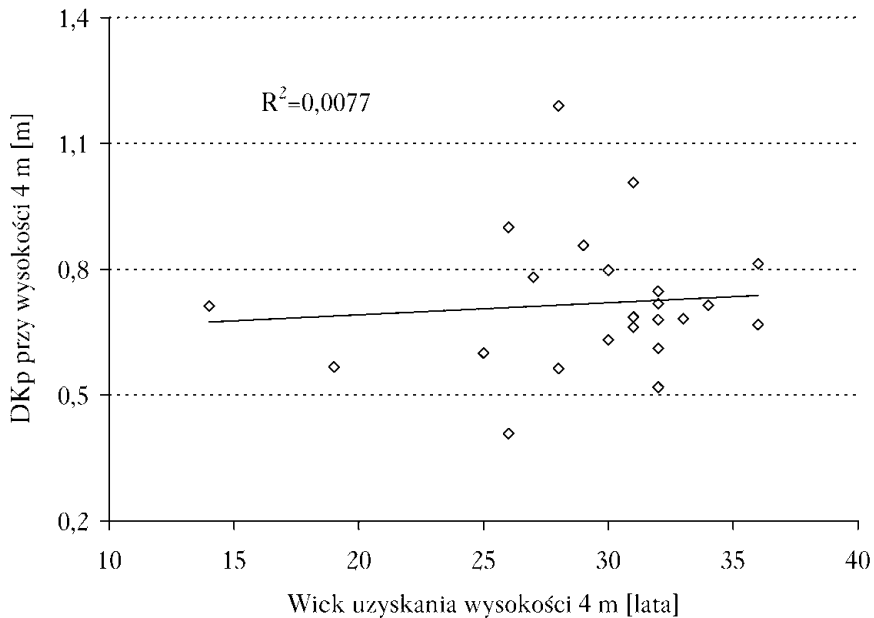


Ryc. 5.

Zależność średniego bieżącego rocznego przyrostu długości korzenia palowego od średniego bieżącego rocznego przyrostu wysokości

Dependence of mean current annual increment of the taproot length on mean current annual height increment

20 lat a  $DKp$  w wieku 3 lat. Im większa dynamika przyrostu korzenia palowego w początkowym okresie życia, tym większa długość korzeni horizontalnych w wieku 20 lat. Stwierdzono silniejszą zależność wysokości z długością korzenia horizontalnego niż z długością korzenia palowego (tab. 2 i 3).



Ryc. 6.

Zależność pomiędzy długością korzenia palowego jodeł o wysokości 4 m a wiekiem uzyskania tej wysokości  
Relationship between the length of the taproot in 4-meter-high firs and the age at which the trees have reached this height

Tabela 3.

Współczynniki korelacji długości korzenia horizontalnego i wysokości drzewa oraz średnicy w szyi korzeniowej  
Correlation coefficients for the length of a horizontal root, height and root collar diameter

	Długość [m] korzenia horizontalnego	
	w wieku 20 lat	w wieku 30 lat
Wysokość w wieku 3 lat [m]	-0,09	-0,21
Długość korzenia palowego w wieku 3 lat [m]	0,56*	0,33
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 10 lat [cm]	-0,06	0,13
Wysokość w wieku 10 lat [m]	0,23	-0,04
Długość korzenia palowego w wieku 10 lat [m]	0,01	0,34
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 20 lat [cm]	0,54*	0,45*
Wysokość w wieku 20 lat [m]	0,42	0,38
Długość korzenia palowego w wieku 20 lat [m]	0,17	0,19
Długość korzenia horizontalnego w wieku 20 lat [m]		0,81*
Średnica w szyi korzeniowej bez kory w wieku 30 lat [cm]		0,48*
Wysokość w wieku 30 lat [m]		0,61*
Długość korzenia palowego w wieku 30 lat [m]		0,32

\* wartości istotne na poziomie  $\alpha \leq 0,05$ ; values significant at  $\alpha \leq 0,05$  level



## Dyskusja

Lyr i Hoffmann [1992] podają, że w warunkach osłony zmniejsza się ogólna ilość produkowanej suchej masy, a wzrost nadziemnej części drzewa jest w stosunku do korzeni wyraźnie większy. W wyniku wtórnego rozdziału materii organicznej w warunkach bardzo dużego ocienienia silnie zmniejsza się przede wszystkim wzrost systemu korzeniowego. Przy silnym ocienieniu może on zostać zatrzymany nawet przy ciągle trwającym wzroście wysokości. W miarę wzrostu ocienienia stosunek masy korzeni do pędów nadziemnych zmniejsza się. Pozornie sprzeczną informację podaje Bernadzki [2008] pisząc, że szybka reakcja przyrostowa jodeł na odsłonięcie wiąże się z tym, że ocienienie hamuje znacznie silniej wzrost części nadziemnych niż korzeni. To samo wynika z pracy Šafara [1954]. Cytowane wnioski wyjaśniają dlaczego tak trudno aproksymować wzrost systemu korzeniowego na podstawie znajomości wzrostu części nadziemnej, nawet przy uwzględnieniu jego dynamiki. W niniejszej pracy oraz w publikacji Skrzyszewskiego i Szczygła [2002] stwierdzono, że jest pewna minimalna, graniczna wielkość przyrostu wysokości (stopnia osłony), przy której przyrost długości korzenia palowego ulega załamaniu. Dostateczne (umiarkowane) zaopatrzenie nalotu pod okapem drzewostanu w światło nie prowadzi do przyspieszenia wzrostu wysokości, ale pozwala rozbudować system korzeniowy (ryc. 5). Wartość tego granicznego przyrostu wysokości jest indywidualną cechą drzewa. W tej pracy, wyrażona średnią, wyniosła poniżej 4 cm. Niezależnie od wielkości przyrostu  $DKp$  w początkowym okresie życia, do wieku 10-15 lat (ryc. 4) obserwowano jego wyraźny kilkunastoletni spadek. U jodeł o początkowo niewielkim przyroście  $DKp$  okres wzrostu tej cechy następował, gdy przyrost wysokości drzewa przekroczył 20-30 cm. Był to prawdopodobnie czas poprawy warunków świetlnych. Zwiększenie przyrostu  $DKp$  w tym okresie nie wyrównało różnic między drzewami, które ustaliły się na początku ich życia. Zaskakujące jest tak duże znaczenie przyrostu osiągniętego w pierwszych 3 latach życia na długość korzenia palowego w wieku 30 lat. Należy sobie zadać pytanie o znaczenie, jakie w tym kontekście ma wybór między odnowieniem naturalnym i siewem a sadzeniem, które często jest związane ze skracaniem korzeni. Na podstawie wykonanych badań nie można udzielić jednoznacznej odpowiedzi nie znając przebiegu wzrostu w dalszych latach życia.

Interpretację wyników pracy utrudnia brak zależności pomiędzy długością korzenia palowego a sumą długości korzeni horyzontalnych (tab. 1). Suma długości korzeni horyzontalnych jest dobrym miernikiem rozwoju fizjologicznego systemu korzeniowego. W niniejszej pracy wskaźnik ten został określony jednorazowo w roku wykonania badań, a wyniki obliczeń ze względu na znaczne zróżnicowanie wieku nie są jednoznaczne. W pracy obliczono długość korzeni horyzontalnych na podstawie analizy długości trzech najdłuższych korzeni. Obliczone w ten sposób cechy są również mało precyzyjne, gdyż współczynnik korelacji pomiędzy średnią długością 3 najdłuższych korzeni horyzontalnych a sumą długości korzeni horyzontalnych w roku wykonania badań wyniósł 0,13 i nie był istotny statystycznie.

Publikacja Šafara [1954] bezpośrednio dotyczy poruszanych w tej pracy zagadnień. Stwierdził on, że w warunkach silnej osłony drzewostanu macierzystego, ograniczającej wzrost wysokości, korzeń palowy jodeł przyrasta na długość przez cały okres wzrostu drzew w takich warunkach. Obserwuje się go również u jodeł skrajnie przygłuszonych. Taką samą prawidłowość stwierdzono w pracy Skrzyszewskiego i Gomółki [1998] oraz Skrzyszewskiego i Szczygła [2002]. Konsekwencją prawidłowości zaobserwowanych przez Šafara [1954] powinna być korzystniejsza proporcja między wysokością drzewa a długością korzenia u jodeł wzrastających w dłuższym okresie odnowienia. Jodły wzrastające w warunkach ocienienia dorastały do danej wysokości

dłużej. Jeżeli w tym czasie trwał nieprzerwany wzrost długości korzenia palowego, to podrosty jodłowe rosnące w dłuższym okresie odnowienia będą miały dłuższy korzeń palowy w stosunku do wysokości niż jodły rosnące szybciej. Obserwacje te dotyczyły podrostów w wieku 43-100 lat, wzrastających w lesie o strukturze przerębowej. Warunki osłony w takich lasach są stałe w długiej perspektywie czasowej i charakteryzują się małym dostępem światła do dna lasu. Wywierają one bardzo silną presję selekcyjną na powstające tam naloty jodłowe. W konsekwencji, przeżywają tylko te osobniki, które są najlepiej przystosowane do warunków wzrostu w silnym ocienieniu. Wyniki badań z terenu Piotrkowa Trybunalskiego dotyczą podrostów młodszych o 24 lata, które wzrastały w korzystniejszych warunkach świetlnych i tutaj takiej prawidłowości nie zaobserwowano. W badaniach z terenu Nadleśnictwa Stary Sącz analizowano podrosty jodłowe w wieku od 22 do 89 lat (dane niepublikowane). Wyniki uzyskane przy takiej rozpiętości wieku potwierdzają spostrzeżenia Šafara [1954].

W interpretacji wyników badań przyjęto założenie, że większy przyrost wysokości jest wyrazem korzystniejszych warunków świetlnych. Słaba korelacja pomiędzy wysokością uzyskaną w wieku 10, 20 i 30 lat a długością korzenia palowego w tym samym wieku wskazuje, że warunki decydujące o jego rozwoju są w niewielkim stopniu zależne od warunków wpływających na wzrost części nadziemnej. W tym miejscu warto zwrócić uwagę na wartości odstające widoczne na rycinach 1, 3 i 6. Były to dwie jodły w wieku 22 i 26 lat, które w wieku 20 lat uzyskały wysokość odpowiednio 6,64 m oraz 4,53 m, przy średniej dla pozostałych drzew równej 1,64 i odchyleniu standardowym 0,44 m. Wzrastały one prawdopodobnie w warunkach pełnego dostępu światła od początku życia. Długość ich korzenia palowego w wieku 20 lat wyniosła 0,83 m i 0,58 m, przy średniej dla pozostałych drzew równej 0,46 m i odchyleniu standardowym 0,20 m. Natomiast najdłuższy korzeń palowy (0,91 m) w wieku 20 lat miała jodła o wysokości 1,61 m, a pośredniej długości (0,71 m) jodła o wysokości 1,3 m. Z badań dotyczących samosiewów jodłowych w wieku 4-6 lat wynika, że długość ich korzeni była największa, gdy gleba charakteryzowała się dużą zawartością węgla organicznego oraz wysoką aktywnością enzymatyczną (poziom dehydrogenazy [Farfał 2008]). Jodły o najdłuższych korzeniach cechowała największa liczba mikoryz. Wymienionych, niezwykle istotnych czynników nie da się uwzględnić przy badaniach, w których wielkość systemu korzeniowego określa się wstecz.

## Wnioski

- ✦ Długość korzenia palowego badanych drzew była do wieku 30 lat zależna od wielkości jego przyrostu w początkowych 3 latach życia.
- ✦ Przyrost wysokości nalotów jodłowych nie powinien być mniejszy od 4 cm. Przyrost wysokości podrostów jodłowych około 20. roku życia nie powinien być mniejszy od 20 cm.
- ✦ O wzroście systemu korzeniowego i części nadziemnej decydują odmienne czynniki, ale w warunkach skrajnie małego przyrostu wysokości (przygłuszenia) jodły inwestowały w rozwój części nadziemnej. Przy umiarkowanym przyroście wysokości (wystarczającym dostępie światła) intensyfikowały wzrost korzenia.
- ✦ Nie stwierdzono wyraźnego związku pomiędzy rozwojem korzenia palowego i korzeni horyzontalnych.

## Literatura

- Bernadzki E. 2008. Jodła pospolita. PWRiL, Warszawa.
- Farfał D. 2008. Żywotność systemów korzeniowych odnowień naturalnych i sztucznych jodły pospolitej w Karkonoskim Parku Narodowym. W: Barzdajn W., Raj A. [red.]. Jodła pospolita w Karkonoskim Parku Narodowym. Jelenia Góra: 87-104.
- Jaworski A. 1994. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Kraków: Gutenberg.

- Lange B., Luescher P., Germann P. F. 2008. Significance of tree roots for preferential infiltration in stagnic soils. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 5 (4, 9): 2373-2407.
- Lyr H., Hoffmann G. 1992. Wachstum-Einflussfaktoren. W: Lyr H., Fiedler J., Tranquillini W. [red.]. *Physiologie und Ökologie der Gehölz..* Jena, Gustav Fischer Verlag.
- PN-R-67025. 1999. Polska norma: sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje. PKN.
- Šafar J. 1954. Die Entwicklung des Tannenjungwuchses in den Plenterwäldern Kroatiens. *Schweiz. Z Forstwes.* Jg 105 (11-12).
- Seber G. A. F., Wild. C. J. 1989. *Nonlinear regression*, New York: John Wiley & Sons.
- Skrzyszewski J., Gomółka M. 1998. Analiza porównawcza nadziemnej i podziemnej części podrostów jodlowych wzrastających w różnych warunkach oświetlenia. *Sylwan* 142 (1): 83-91.
- Skrzyszewski J., Szczygieł P. 2002. Przyrost i wzrost nadziemnej i podziemnej części podrostów jodlowych. *Sylwan* 146 (6): 41-49.

## SUMMARY

### The increment and growth of above- and belowground part of the fir undergrowth in the Piotrków Trybunalski Forest District

In its initial phase of growth, silver fir forms a taproot that develops with age into a heart root system. The development of the tap root penetrating very deeply into the soil reduces the threat of windthrow, while the stability of trees is essential for the long-lasting stand tending phases in the irregular shelterwood system. It also increases the volume of the clump of soil with roots growing in it. A well-developed root system improves the water retention capacity of compacted and impermeable soils.

The objective of the research was to determine the relationship between the dimensions and increment of the aboveground (easy to determine) and the belowground biomass of fir undergrowth in different shelter conditions.

Measurements were carried out on 9 study sites featuring different light conditions in which the examined firs were growing. The selected firs were felled and the following parameters were measured: stem diameter at root collar, crown height and length and annual height increments. Horizontal roots were exposed, counted and their length measured. The whole root system was dug out. The fresh crown, stem and the root system were weighed. Analyses of height increment, increment of the length of a taproot and increment of the length of 3 longest horizontal roots were done under laboratory conditions. The widths of annual growth rings at the root collar were also measured.

In the examined sample, the length of taproots (*DKp*) up to the age of 30 years was dependent on their increment during the first three years of development. Later years saw an intensified growth of taproots, however, the differences from the first years of growth did not compensate for the differences in the first years. From the perspective of a 30-year study period firs that showed better taproot increments during the first years of life, had longer taproots at the age of 30. Reduced *DKp* growth was observed in the group of seedlings incrementing to a height of less than 4 cm. The height increment of fir undergrowth at about 20 years of age should not be less than 20 cm.

The growth of roots and aboveground parts depends on different factors. The growth of roots was related to the growth of aboveground parts only to small degree. Under the conditions of suppression, the extremely poor height increment of firs was compensated by the development of the aboveground biomass. With a moderate height increment (sufficient light availability) root growth was more intense. No clear relationship was found between the development of tap and horizontal roots.