

WOJCIECH OCHAŁ, STANISŁAW GRABCZYŃSKI, STANISŁAW ORZEŁ, BOGDAN WERTZ, JAROSŁAW SOCHA

## Alokacja nadziemnej biomasy u sosen zajmujących różne pozycje biosocjalne w drzewostanie\*

Aboveground biomass allocation in Scots pines of different biosocial positions in the stand

### ABSTRACT

Ochał W., Grabczyński S., Orzeł S., Wertz B., Socha J. 2013. Alokacja nadziemnej biomasy u sosen zajmujących różne pozycje biosocjalne w drzewostanie. Sylwan 157 (10): 737-746.

The aim of this study was to assess the impact of the biosocial position occupied by the tree on the amount and structure of the biomass produced. The empirical material was measurements of biomass for 63 pines (21 for each of the I, II, and III Kraft classes). The total aboveground biomass of the trees was calculated as sum of following fractions: stem wood, stem bark, living branches, dead branches, shoots, needles and cones. It has been found that with a decrease of biosocial position of tree the share of a stem increases while share of branches in the overall biomass of the tree decreases. On the other hand biosocial position does not affect significantly the share of needles, dead branches and cones.

### KEY WORDS

Scots pine, aboveground biomass, biomass allocation, biosocial class

### ADDRESSES

Wojciech Ochał – e-mail: rlochal@cyf-kr.edu.pl

Stanisław Grabczyński – e-mail: rlgrabcz@cyf-kr.edu.pl

Stanisław Orzeł – e-mail: rlorzel@cyf-kr.edu.pl

Bogdan Wertz – e-mail: b.wertz@ur.krakow.pl

Jarosław Socha – e-mail: rlocha@cyf-kr.edu.pl

Katedra Biometrii i Produkcyjności Lasu; Wydział Leśny; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie;  
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków

## Wstęp

Ilość biomasy zgromadzonej w różnych tkankach, organach lub wyróżnionych komponentach roślin (drzew) określana jest mianem alokacji [Litton i in. 2007]. W liczbowym ujęciu wyraża się ją przeważnie jako udział biomasy danej frakcji [Poorter, Sack 2012; Poorter i in. 2012] lub też w postaci proporcji biomasy różnych komponentów (np. biomasa części nadziemnej do biomasy części podziemnej) [Poorter, Sack 2012]. Franklin i in. [2012] wymieniają pięć podstawowych teorii wyjaśniających proces alokacji biomasy. Wśród nich jest powszechnie stosowany w leśnictwie model allometryczny, który zakłada, że absolutny rozmiar (biomasa) jednego organu jest funkcją wymiarów innego, a związek ten opisuje funkcja potęgowa [Gayon 2000]. Teoria ta wykorzystywana jest do budowy empirycznych modeli biomasy umożliwiających szacowanie tej cechy na podstawie prostych w pomiarze charakterystyk drzew, np. pierśnicy [Socha, Wężyk 2007; Zasada i in. 2008]. Zależności allometryczne nie uwzględniają jednak wpływu czynników wewnętrznych

\* Badania wykonano w ramach tematu DS-3418/KD/12.

i środowiskowych na alokację biomasy, która w istotny sposób zależy od warunków wzrostu drzew [Kellomäki 1981; Oleksyn i in. 1999; Poorter i in. 2012], zwłaszcza tych ograniczających zasoby światła i składników mineralnych. Poznanie czynników wpływających na alokację biomasy u drzew jest niezbędne do dogłębnego zrozumienia procesu obiegu i akumulacji węgla w ekosystemach leśnych [Litton i in. 2007]. Wiedza ta może być także pomocna przy opracowywaniu metod jej szacowania (np. wskaźniki alokacji biomasy, BEF – ang. biomass expansion factor) [Lehtonen i in. 2004], a także do oceny jakości i technicznych właściwości surowca drzewnego [Jelonek i in. 2008]. Ponadto struktura i wielkość biomasy drzew może być ważnym indykatorem warunków środowiskowych oraz kondycji zdrowotnej drzew i drzewostanów.

Jednym z podstawowych czynników, który może wpływać na wielkość i strukturę biomasy poszczególnych części drzew, wydaje się być konkurencja międzyosobnicza, której wyrazem jest pionowe zróżnicowanie drzewostanu na klasy socjalne, warunkujące ich dostęp do zasobów środowiskowych, przede wszystkim światła słonecznego. Wpływ zajmowanej przez drzewa pozycji biosocjalnej na wielkość i strukturę wytwarzanej biomasy był przedmiotem badań Nilssona i Albrektsona [1993], Mäkinena [1996], Vanninena i Mäkelä [2000] oraz Erikssona [2006].

Celem pracy jest analiza alokacji nadziemnej biomasy u sosen zajmujących różne pozycje biosocjalne w drzewostanie.

## Material i metody

Badania przeprowadzono w trzech litych drzewostanach sosnowych III i IV klasy wieku. Wybrano w nich i ścięto 63 drzewa próbne reprezentujące drzewostan główny (po 21 drzew z I, II i III klasy biosocjalnej Krafta). Przed ścięciem na drzewach zmierzono pierśnicę w dwóch prostopadłych kierunkach z dokładnością do 0,1 cm. Po ścięciu drzewa rozdzielono na następujące części: pień (strzałę), gałęzie martwe, gałęzie żywe niepokryte igliwem i uigłone pędy (wraz z szyszkami). Świeżą biomasę gałęzi martwych, gałęzi żywych i uigłonych pędów zważono bezpośrednio w terenie na elektronicznej wadze hakowej z dokładnością do 0,02 kg. Z frakcji uigłonych pędów pobrano reprezentatywną próbkę o wadze około 1,2 kg, którą rozdzielono na pędy, igły i szyszki. Wagę składowych komponentów próbki określono z dokładnością do 0,02 g. Całkowitą świeżą masę pędów, igieł i szyszek dla drzew obliczono, mnożąc świeżą biomasę uigłonych pędów przez udział wagowy wyróżnionych komponentów stwierdzony w pobranych próbkach. W przypadku pni (strzał) określono ich miąższość z korą i bez kory sposobem sekcyjnym Hubera przy długości sekcji wynoszącej 1 m (pierwsza sekcja) i 2 m (pozostałe). W połowie każdej sekcji zmierzono grubość pnia w korze w dwóch prostopadłych kierunkach z dokładnością do 0,1 cm oraz grubość kory w czterech miejscach na obwodzie pnia z dokładnością do 0,1 cm. Ponadto dla 12 drzew próbnych (4 z każdej analizowanej klasy Krafta) zważono świeżą biomasę pnia i pobrano reprezentatywne próbki z pnia, gałęzi martwych i żywych. Z połowy każdej sekcji pnia wycięto krążek o grubości około 3 cm, z frakcji gałęzi martwych i żywych wycięto pakiety o długości około 40 cm i wadze od 2 do 4 kg. Wycięte krążki okorowano i na podstawie wagi drewna i kory obliczono udział tych frakcji w próbce. Mnożąc masę pnia przez stwierdzony w próbce udział drewna i kory, obliczono świeżą wagę kory i drewna w pniach 12 drzew próbnych.

Suchą biomasę igieł, pędów i szyszek obliczono, mnożąc świeżą masę tych frakcji przez ustalony indywidualnie dla każdego drzewa iloraz suchej i świeżej masy pobranych próbek. Suchą biomasę gałęzi żywych i martwych obliczono, mnożąc świeżą masę tych komponentów przez średnie wartości stosunku suchej i świeżej masy ustalone oddzielnie dla analizowanych klas Krafta na podstawie próbek pobranych z 12 drzew. Suchą biomasę kory i drewna strzał 12 drzew obliczono, mnożąc świeżą masę tych frakcji przez stosunek suchej i świeżej masy stwier-

dzony w pobranych próbkach. Dla pozostałych 51 drzew suchą masę kory i drewna obliczono, mnożąc miąższość tych frakcji obliczoną sposobem sekcyjnym przez średnią względną gęstość (sucha masa do objętości w stanie świeżym) stwierdzoną oddzielnie dla analizowanych klas Krafra na podstawie 12 drzew, dla których posiadano informacje o suchej masie i miąższości omawianych tu komponentów. Na podstawie suchej biomasy wyróżnionych frakcji obliczono całkowitą nadziemną biomasę oraz udział procentowy poszczególnych frakcji w całkowitej biomacie drzew. Istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami analizowanych cech w obrębie klas Krafra zweryfikowano nieparametrycznym testem Kruskala-Wallisa na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

Relacje pomiędzy biomasą wybranych nadziemnych komponentów drzew opisano także za pomocą funkcji allometrycznej:

$$B_Y = \beta_0 \cdot B_X^{\beta_1} \quad [1]$$

gdzie:

- $B_Y$  – biomasa frakcji Y,
- $B_X$  – biomasa frakcji X,
- $\beta_0$  i  $\beta_1$  – współczynniki równania.

Transformacja logarytmiczna pozwala wyrazić ten związek w postaci zależności liniowej między logarytmami masy odpowiednich frakcji:

$$\ln B_Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln B_X \quad [2]$$

Eliminuje ona ponadto zjawisko heteroskedastyczności wartości resztowych modelu i umożliwia zastosowanie metody najmniejszych kwadratów do estymacji parametrów równania. Ponowne przekształcenie oszacowanego tym sposobem równania do postaci nielogarytmowanej prowadzi do uzyskania obciążonych oszacowań biomasy komponentu Y i wymusza zastosowanie poprawki korekcyjnej CF zgodnie z wzorem [Baskville 1972]:

$$\hat{B}_Y = \exp(\ln \beta_0 + \beta_1 \ln B_X + CF) \quad [3]$$

$$CF = \frac{SEE^2}{2} \quad [4]$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln B_{Yi} - \ln \hat{B}_{Yi})^2}{n - p}} \quad [5]$$

gdzie:

- $SEE$  – błąd standardowy estymacji,
- $n$  – liczebność próby,
- $p$  – liczba szacowanych parametrów równania.

Równanie [2] opisuje tylko związek między biomasą porównywanych frakcji. Na jego bazie zbudowano model regresji wielorakiej zakładający modyfikujący wpływ zajmowanej przez drzewa pozycji socjalnej na relację pomiędzy biomasą komponentów X i Y. Pozycję socjalną wyrażono w modelu za pomocą sztucznych zmiennych zero-jedynkowych reprezentujących I i II klasę Krafra:

$$\ln B_Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln B_X + \beta_2 KRAFT\_I + \beta_3 KRAFT\_II \quad [6]$$

Zaobserwowane prawidłowości dotyczące udziału biomasy pnia, gałęzi i igliwia w analizowanym materiale były inspiracją do postawienia hipotez zakładających istotny wpływ pozycji biosocjalnej na allometryczną relację tych komponentów. W celu weryfikacji hipotez na bazie równania [6] zbudowano i przeanalizowano dwa modele regresji wielorakiej:

$$\ln B_{BR} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln B_{ST} + \beta_2 KRAFT\_I + \beta_3 KRAFT\_II \quad [7]$$

$$\ln B_{BR} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln B_{FL} + \beta_2 KRAFT\_I + \beta_3 KRAFT\_II \quad [8]$$

gdzie:

$B_{BR}$  – sucha masa gałęzi [kg],

$B_{ST}$  – sucha masa pnia [kg],

$B_{FL}$  – sucha masa igliwia [kg],

$KRAFT\_I$  – zmienna sztuczna przyjmująca wartość 1 dla drzew z I klasy Krafra i 0 dla pozostałych drzew,

$KRAFT\_II$  – zmienna sztuczna przyjmująca wartość 1 dla drzew z II klasy Krafra i 0 dla pozostałych.

Weryfikację modeli [7] i [8] wykonano w module regresji wielorakiej pakietu statystycznego Statistica 10 PL (StatSoft Inc.).

## Wyniki

Mimo podobnego wieku drzew próbnych, przeciętne wartości wskaźników biometrycznych istotnie różnią się w zależności od zajmowanej przez drzewo pozycji socjalnej (tab. 1). Wartości wszystkich analizowanych cech rosną wraz ze wzrostem zajmowanego stanowiska w pułapie koron drzewostanu. Największe różnice stwierdzono w odniesieniu do miąższości drzew. Strzały

**Tabela 1.**

Podstawowe cechy biometryczne drzew próbnych  
Basic biometric characteristics of sample trees

Cecha	Klasa Krafra	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
Wiek [lat]	I	60,4	55	70	4,4	7,2
	II	60,3	54	70	4,8	7,9
	III	59,0	53	69	5,3	9,0
Grubość [cm]	I	29,8	24,5	33,6	2,5	8,5
	II	23,4	18,0	30,4	2,9	12,6
	III	19,9	15,6	25,8	2,7	13,5
Wysokość [m]	I	21,5	19,0	25,3	1,8	8,5
	II	19,9	17,3	23,7	1,8	8,8
	III	19,1	16,2	22,2	1,8	9,7
Długość korony [m]	I	8,6	6,5	11,1	1,4	16,0
	II	7,1	4,9	9,3	1,2	17,3
	III	6,5	4,9	8,9	1,3	20,5
Szerokość korony [m]	I	5,3	3,5	6,4	0,7	14,0
	II	4,0	2,9	6,0	0,9	22,0
	III	3,3	2,1	4,9	0,7	22,3
Miąższość strzały [m <sup>3</sup> ]	I	0,701	0,407	0,946	0,162	23,2
	II	0,426	0,259	0,673	0,119	27,9
	III	0,283	0,161	0,411	0,083	29,4

drzew I klasy Krafta posiadają przeciętnie 2,5 razy większą miąższość niż drzewa III klasy. Nieco mniejsze różnice odnotowano w przypadku grubości drzew i szerokości ich koron. Analogiczne proporcje pomiędzy I i III klasą wynoszą odpowiednio 1,5 i 1,6. Najmniejsze różnice stwierdzono dla wysokości. Drzewa I klasy biosocjalnej były wyższe od tych z III zaledwie o 10%. Względna zmienność cech z reguły malała wraz ze wzrostem pozycji biosocjalnej.

Stwierdzono statystycznie istotne różnice między średnimi wartościami suchej masy wszystkich analizowanych komponentów nadziemnej biomasy obserwowanymi w grupach drzew różniących się zajmowaną pozycją socjalną (tab. 2). Drzewa I klasy Krafta charakteryzowały się średnio 2,4 razy większą biomasa niż drzewa III klasy. Największą względną różnicę między poszczególnymi klasami biosocjalnymi stwierdzono dla biomasy szyszek, których waga w I klasie Krafta była średnio 4,4 razy większa niż u drzew III klasy, zaś najmniejsza różnica wystąpiła dla frakcji kory, której masa dla drzew współpanujących była średnio o 80% mniejsza niż dla drzew górujących. Współczynnik zmienności dla większości analizowanych frakcji biomasy drzew kształtował się w granicach 25-55% (tab. 2). Relatywnie najmniejszą zmienność wykazały frakcje drewna oraz kory. Najwyższą zmienność (97-116%) stwierdzono w przypadku biomasy szyszek.

Tabela 2.

Sucha biomasa [kg] wyróżnionych frakcji  
Dry biomass [kg] of aboveground parts of tree

Komponent	Klasa Krafta	Średnia	Min.	Maks.	Odchylenie standard.	Współczynnik zmienności [%]	$H_{(2, N=63)}$ $p$
Drewno	I	263,4	153,7	365,8	64,8	24,6	36,83 0,0000*
	II	156,7	87,1	248,5	44,4	28,3	
	III	116,3	66,8	171,2	35,5	30,5	
Kora	I	19,8	10,6	30,7	5,6	28,3	26,45 0,0000*
	II	16,5	8,7	27,4	5,1	31,2	
	III	11,0	5,9	18,0	3,2	29,2	
Gałęzie martwe	I	13,6	3,5	34,1	7,6	55,6	47,79 0,0000*
	II	8,7	2,5	19,7	3,8	44,4	
	III	5,5	1,9	12,8	2,8	50,7	
Gałęzie żywe	I	37,7	26,0	52,3	9,1	24,1	20,70 0,0000*
	II	17,8	10,2	35,1	6,5	36,6	
	III	9,6	5,2	23,6	4,9	51,1	
Pędy	I	7,2	3,7	12,8	2,3	32,8	37,77 0,0000*
	II	3,8	1,3	8,6	1,8	46,3	
	III	2,2	1,1	6,5	1,2	55,6	
Igliwie	I	14,8	8,4	25,1	3,8	25,6	41,53 0,0000*
	II	9,1	4,1	16,5	3,0	32,7	
	III	5,6	3,1	11,7	2,0	35,4	
Szyszki	I	1,7	0,0	8,5	1,9	111,9	13,24 0,0013*
	II	0,6	0,0	1,6	0,5	96,9	
	III	0,4	0,0	1,4	0,4	116,2	
Nadziemna biomasa	I	358,2	238,3	499,8	79,2	22,1	41,81 0,0000*
	II	213,1	137,6	318,6	54,7	25,7	
	III	150,6	87,2	213,9	41,9	27,9	

$H_{(k-1, N)}$  – wartość testu Kruskala-Wallisa dla  $k$  porównywanych grup i liczebności próby  $N$ ;  $p$  – poziom prawdopodobieństwa testowego; \* różnica istotna statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$

$H_{(k-1, N)}$  – Kruskal-Wallis test for  $k$  comparing groups and the sample size  $N$ ;  $p$  – p-value; \* difference significant at  $\alpha=0.05$

W suchej biomase badanych drzew dominującym komponentem było drewno pnia, którego udział w przypadku pojedynczych drzew wahał się od 59,5 do 86,9%. Średnia wartość dla drzew I i II klasy 73,2% oraz 76,9% dla III klasy Krafra. Biomasa żywych gałęzi stanowiła przeciętnie 10,7%, 8,4% i 6,4% nadziemnej biomasy drzew odpowiednio dla I, II i III klasy Krafra. Spośród pozostałych części drzewa najistotniejsze znaczenie w nadziemnej biomase posiada kora. Jej średni udział w zależności od klasy biosocjalnej wahał się od 5,6% do 7,8%. Sucha masa martwych gałęzi i masa igliwia posiadały zbliżony udział, wynoszący około 4%. Udział pędów w badanych grupach drzew stanowił przeciętnie od 1,5% do 2,0%, zaś szyszek od 0,2% do 0,4% całkowitej suchej biomasy drzew. Między analizowanymi grupami drzew stwierdzono statystycznie istotne różnice w udziale takich frakcji jak: drewno pnia, kora pnia, gałęzie żywe i pędy (tab. 3). Udział pozostałych frakcji nie różnił się istotnie. Stwierdzone różnice dotyczą komponentów tworzących pień i koronę drzewa. Wraz ze spadkiem pozycji biosocjalnej rośnie udział w całkowitej biomase części nadziemnej biomasy pnia (kora+drewno), natomiast spada udział biomasy gałęzi (gałęzie żywe+pędy) (ryc. 1).

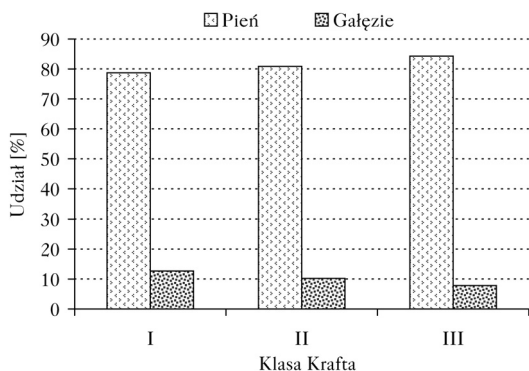
Hipoteza zakładająca istotny wpływ stanowiska biosocjalnego na relację pomiędzy biomasą gałęzi a biomasą pnia i igliwia została potwierdzona. Oba analizowane modele okazały się istotne statystycznie (tab. 4), a stopień ich dopasowania mierzony skorygowanym współczynnikiem determinacji jest bardzo wysoki ( $R^2_{adj.} > 0,85$ ). Wszystkie współczynniki równań były istotne. Drzewa o takiej samej biomase pnia lub igliwia różnią się biomasą gałęzi w zależności od zajmowanej pozycji w strukturze pionowej drzewostanu (ryc. 2 i 3).

**Tabela 3.**

Udział [%] poszczególnych frakcji w całkowitej suchej biomase drzew  
Individual fractions [%] in total dry biomass of trees

Komponent	Klasa Krafra	Średnia	Min.	Maks.	Odchylenie standard.	Współczynnik zmienności [%]	$H_{(2, N=63)}$ $p$
Drewno	I	73,2	64,5	80,4	4,6	6,2	8,34 0,0155*
	II	73,2	60,1	81,7	5,1	7,0	
	III	76,9	59,5	86,9	5,7	7,4	
Kora	I	5,6	3,7	8,7	1,4	24,8	19,23 0,0001*
	II	7,8	5,4	11,9	1,5	19,1	
	III	7,4	5,2	10,9	1,6	21,5	
Gałęzie martwe	I	3,9	0,9	11,1	2,4	59,6	1,11 0,5751
	II	4,2	1,1	8,2	1,9	43,8	
	III	3,7	1,2	8,1	1,7	45,8	
Gałęzie żywe	I	10,7	7,6	16,4	2,0	19,1	29,21 0,0000*
	II	8,4	5,1	14,3	2,3	27,8	
	III	6,4	3,7	15,0	2,5	39,1	
Pędy	I	2,0	1,1	3,2	0,5	25,6	11,61 0,0030*
	II	1,8	0,7	3,4	0,7	38,4	
	III	1,5	0,7	4,1	0,7	48,2	
Igliwie	I	4,2	3,2	7,0	0,9	20,7	2,57 0,2767
	II	4,4	2,3	8,7	1,6	36,7	
	III	3,9	2,1	7,4	1,3	33,6	
Szyszki	I	0,4	0,0	1,7	0,4	95,6	3,50 0,1738
	II	0,3	0,0	0,6	0,2	88,1	
	III	0,2	0,0	0,9	0,3	117,9	

oznaczenia jak w tabeli 2; denotes as in table 2



Ryc. 1.

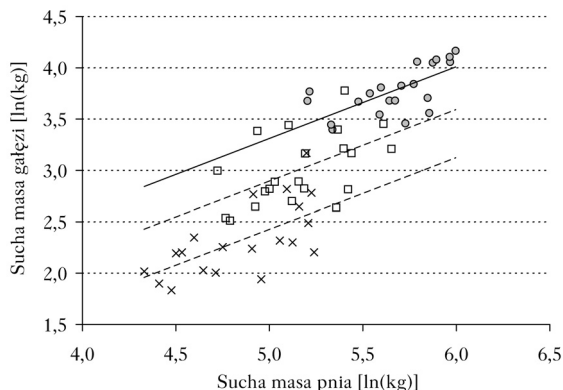
Udział [%] biomasy pnia i gałęzi w całkowitej biomacie drzewa dla klas Krafta.  
Stem and branches fractions [%] in total biomass of trees in different Kraft classes

Tabela 4.

Statystyczna ocena modeli i współczynników regresji  
Statistical evaluation of models and regression coefficients

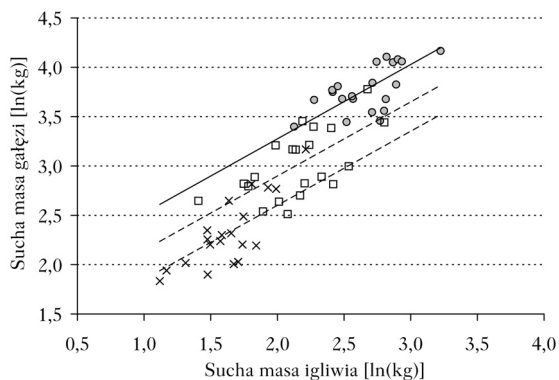
Model	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup> <sub>adj.</sub>	$\beta_0$ (bł. std.)	$\beta_1$ (bł. std.)	$\beta_2$ (bł. std.)	$\beta_3$ (bł. std.)	<i>CF</i>
[7]	123,6	0,000	0,858	-1,0753 (0,5876)	0,7003* (0,1205)	0,8848* (0,1262)	0,4694* (0,0880)	0,0322
[8]	147,3	0,000	0,878	1,0940* (0,1833)	0,7536* (0,1077)	0,6741* (0,1336)	0,2968* (0,0926)	0,0276

\* współczynnik istotny statystycznie przy  $\alpha=0,05$ ; significant at  $\alpha=0,05$



Ryc. 2.

Zależność między masą gałęzi i pnia u drzew należących do różnych klas Krafta  
Relationship between branches and stem biomass for trees belonging to different Kraft classes



Ryc. 3.

Zależność między masą gałęzi i igieł u drzew należących do różnych klas Krafta  
Relationship between the biomass of branches and needles for trees belonging to different Kraft classes

## Dyskusja

Socjalne zróżnicowanie drzew w obrębie drzewostanu jest wynikiem konkurencji o światło i przestrzeń życiową. Drzewa zajmujące niższe pozycje w strukturze wysokościowej drzewostanu w większym stopniu doświadczają niedoboru światła, wody i składników pokarmowych. Bezpośrednim wynikiem walki o zasoby środowiskowe jest zróżnicowanie wymiarów drzew oraz zmiany struktury koron [Mátyás, Varga 2000]. Liczne badania potwierdzają także wpływ konkurencji na alokację biomasy. Mäkinen [1996] stwierdził, że biomasa gałęzi i igliwia sosny pospolitej maleje wraz ze wzrostem stopnia konkurencji. Zaobserwował on jednak, że wielkość biomasy tych komponentów ściśle powiązana jest z grubością drzew, przez co rozdzielenie wpływu konkurencji od zależności allometrycznych nie jest możliwe. Naidu i in. [1998] badali alokację biomasy w drzewostanach *Pinus taeda*, wykazując, że u drzew opanowanych udział biomasy pnia (75,9%) w całkowitej biomacie drzewa jest większy w porównaniu z drzewami dominującymi (63,4%). Ponadto drzewa opanowane charakteryzuje większy stosunek biomasy części heterotroficznych (korzenie, pień i gałęzie) do autotroficznych (igliwie). Na spadek udziału gałęzi w nadziemnej biomacie drzew poddanych większej presji konkurencyjnej wskazują również badania Mátyása i Varga [2000]. Wyniki prezentowane w niniejszej pracy potwierdzają dotychczasowe obserwacje. U analizowanych sosen udział biomasy gałęzi spadał wraz z obniżaniem się pozycji socjalnej, przy jednoczesnym wzroście udziału biomasy pnia. W przeciwieństwie do wyników uzyskanych przez Naidu i in. [1998] nie stwierdzono różnic w udziale biomasy aparatu asymilacyjnego pomiędzy drzewami zakwalifikowanymi do różnych klas socjalnych. W analizowanym materiale zaobserwowano jednak odmienne relacje między biomasą igieł i gałęzi u drzew zajmujących różne pozycje biosocjalne. Przy tej samej masie igliwia drzewa górujące posiadają większą masę gałęzi w porównaniu do drzew panujących i współpanujących.

Obserwowane prawidłowości, dotyczące wielkości biomasy różnych komponentów drzew, są zgodne także z wynikami badań nad udziałem bieżącego przyrostu biomasy poszczególnych organów w całkowitym przyroście drzewa. Kellomäki [1981], badając wpływ ilości dostępnego promieniowania słonecznego na strukturę bieżącego przyrostu sosny pospolitej, stwierdził, że wraz ze wzrostem dostępu do światła następuje silne przesunięcie bieżącego przyrostu biomasy do gałęzi kosztem pnia i igliwia. Największa część rocznej produkcji biomasy trafia do pnia u drzew rosnących w warunkach o umiarkowanym ograniczeniu dostępu światła, zaś drzewa silnie ocienione lokują większą część przyrostu w aparacie asymilacyjnym. Vanninen i Mäkelä [2000] oraz Vanninen [2004] zaobserwowali w drzewostanach sosnowych, że drzewa opanowane lokują większą część bieżącego przyrostu biomasy w pniu w porównaniu do drzew dominujących.

Zarówno prezentowane wyniki, jak i rezultaty innych autorów wskazują na istotny wpływ konkurencji wewnątrzdrzewostanowej na alokację biomasy u pojedynczych drzew. Stwierdzone prawidłowości powinny być uwzględniane przy budowie empirycznych równań do określania biomasy różnych komponentów drzew [Jelonek i in. 2011; Sharma 2012; Xue i in. 2012], co powinno w efekcie podnieść dokładność szacowania zasobów węgla w ekosystemach leśnych.

## Wnioski

- ✦ Bezwzględna wartość wszystkich wyróżnionych frakcji całkowitej nadziemnej biomasy drzew (drewno strzał, kora strzał, gałęzie żywe, gałęzie martwe, pędy uigłone, igliwie, szyszki) istotnie rośnie ze wzrostem ich pozycji biosocjalnej w drzewostanie.
- ✦ Wraz ze wzrostem pozycji biosocjalnej maleje udział biomasy pnia, a wzrasta udział biomasy gałęzi w całkowitej nadziemnej biomacie sosen. Stanowisko biosocjalne zajmowane przez



sosny w drzewostanie nie ma istotnego wpływu na udział frakcji igliwia, martwych gałęzi i szyszek w całkowitej nadziemnej biomase.

- ✚ Pozycja biosocjalna zajmowana przez drzewa ma istotny wpływ zarówno na relacje między biomasą pnia i gałęzi, jak i biomasą igliwia i gałęzi.
- ✚ Z uwagi na lokalne pochodzenie materiału empirycznego oraz małe zróżnicowanie wieku analizowanych drzew wykazany wpływ zajmowanego przez nie stanowiska biosocjalnego na relacje pomiędzy frakcjami nadziemnej biomasy wymaga weryfikacji.

## Literatura

- Baskerville G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 49-53.
- Eriksson E. 2006. Thinning operations and their impact on biomass production in stands of Norway spruce and Scots pine. *Biomass and Bioenergy* 30 (10): 848-854.
- Franklin O., Johansson J., Dewar R. C., Dieckmann U., McMurtrie R. E., Brännström A., Dybzinski R. 2012. Modeling carbon allocation in trees: a search for principles. *Tree Physiology* 32 (6): 648-666.
- Gayon J. 2000. History of the Concept of Allometry. *Integrative and Comparative Biology* 40 (5): 748-758.
- Jelonek T., Pazdrowski W., Tomczak A., Szaban J. 2008. The effect of social position of tree in the stand and site on wood quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 11 (2).
- Jelonek T., Pazdrowski W., Walkowiak R., Arasimowicz-Jelonek M., Tomczak A. 2011. Allometric Models of Foliage Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polish Journal of Environment Study* 20 (2): 355-364.
- Kellomäki S. 1981. Effect of the within-stand light conditions on the share of stem, branch and needle growth in a twenty-year-old Scots pine stand. *Silva Fennica* 15 (2): 130-139.
- Lehtonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188 (1-3): 211-224.
- Litton C. M., Raich J. W., Ryan M. G. 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology* 13 (10): 2089-2109.
- Mäkinen H. 1996. Effect of intertree competition on biomass production of *Pinus sylvestris* (L.) half-sib families. *Forest Ecology and Management* 86: 105-112.
- Mátyás C., Varga G. 2000. Effect of intra-specific competition on tree architecture and aboveground dry matter allocation in Scots pine. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de Serie* 1: 111-119.
- Naidu S. L., Delucia E. H., Thomas R. B. 1998. Contrasting patterns of biomass allocation in dominate and suppressed loblolly pine. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (8): 1116-1124.
- Nilsson U., Albrektson A. 1993. Productivity of needles and allocation of growth in young Scots pine trees of different competitive status. *Forest Ecology and Management* 62: 173-187.
- Oleksyn J., Reich P. B., Chatupka W., Tjoelker M. G. 1999. Differential Above- and Below-ground Biomass Accumulation of European *Pinus sylvestris* Populations in a 12-year-old. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 7-17.
- Poorter H., Niklas K. J., Reich P. B., Oleksyn J., Poot P., Mommer L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *The New Phytologist* 193 (1): 30-50.
- Poorter, H., Sack, L., 2012. Pitfalls and possibilities in the analysis of biomass allocation patterns in plants. *Frontiers in Plant Science* 3: 1-10.
- Sharma R. P. 2012. Modelling dry matter allocation within *Alnus nepalensis* D. Don trees in Nepal. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 4 (2): 47-53.
- Socha J., Weżyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *European Journal of Forest Research* 126 (2): 263-270.
- Vanninen P. 2004. Allocation of Above-ground Growth in *Pinus sylvestris* – Impacts of Tree Size and Competition. *Silva Fennica* 38 (2): 155-166.
- Vanninen P., Mäkelä A. 2000. Needle and stem wood production in Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees of different age, size and competitive status. *Tree Physiology* 20 (8): 527-533.
- Xue L., Jacobs D. F., Zeng S., Yang Z., Guo S., Liu B. 2012. Relationship between above-ground biomass allocation and stand density index in *Populus x euramericana* stands. *Forestry* 85 (5): 611-619.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak Sz., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K. 2008. Wzory empiryczne do określania suchej biomasy nadziemnej części drzew i ich komponentów. *Sylwan* 152 (3): 27-39.

**SUMMARY****Aboveground biomass allocation in Scots pines of different biosocial positions in the stand**

The aim of this study was to assess the impact of tree biosocial position on the amount and structure of aboveground biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The research material were 63 sample trees, representing the main stand (21 trees from I, II and III Kraft classes) harvested in homogeneous pine stands in Chrzanów Forest District. The sample trees were separated into parts (stem, dead branches, living branches and shoots with needles and cones) and the fresh matter of all above parts was measured directly in the field. Fresh mass of stem bark, stem wood, needles, cones and shoots was calculated on the basis of the share of these fractions in the collected samples. The dry weight of these components was calculated by multiplying the fresh weight by the ratio of dry and fresh biomass obtained from collected samples.

The average value of biometric indices (tab. 1), along with the dry biomass (tab. 2) of examined aboveground tree components differ substantially according to biosocial position of a tree. The values of all the analyzed parameters increased with this position. In the dry biomass of examined trees the dominating component were stem wood (tab. 3), whose average share for analyzed social classes was 73.2% (class I and II) and 76.9% (class III). Living branches biomass constituted on average 10.7%, 8.4% and 6.4% of the aboveground biomass of trees, respectively for I, II and III Kraft classes. Among the other tree components the greatest importance in aboveground biomass had bark. Its share, according to biosocial classes, ranged from 5.6% to 7.8%. Significant differences between analyzed biosocial tree classes in the share of such fractions as stem wood, stem bark, living branches and shoots were found (tab. 3). The relationships between the branches and stem biomass (fig. 2), as well as branches and needles (fig. 3) indicates that trees of the same stem or needles biomass differ in terms of branches biomass, depending on their biosocial position in the stand structure.