

## Związek wysokości z wybranymi cechami korony czteroletniej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth)

The relationship between height and crown characteristics of four-year-old common birch  
(*Betula pendula* Roth)

Adam Klepacki

Nadleśnictwo Elk, Mrozy Wielkie 21, 19-300 Elk

Tel. +48 87 6202513, fax +48 87 6202513 wew. 210, e-mail: adam.klepacki@bialystok.lasy.gov.pl

**Abstract.** This paper presents the results of an analysis on characteristics of birch crowns (*Betula pendula* Roth) in relation to measures of the growth space occupied by a single tree at a young age. It also presents the relationships between the seedling height and certain crown characteristics.

The study focused on four-year-old common birches growing in four different areas in the Elk Forest District in either fresh mixed coniferous or broadleaved forest. The measurements conducted on the chosen trees were used to calculate their crown characteristics such as crown diameter, length, height to the crown base, relative length and spread. They were also used to determine the growth characteristics of a single tree's growth space, such as the crown area projected onto the ground, single tree space and the percentage use of unit area. Furthermore, fresh and dry leaf mass was determined.

The birches growing in the fresh mixed coniferous forest reached an average height of 1.30 m, whereas in the fresh mixed broadleaved forest, the height of the trees was lower and amounted to 0.67 m. 95% of the trees had crown diameters of 0.57 m to 0.74 m in the fresh mixed coniferous forest, but only 0.19 m to 0.25 m in the fresh mixed broadleaved forest. The average lengths of the crowns in the fresh mixed coniferous and broadleaved forests amounted to 0.97 m and 0.37 m respectively.

The author shows that there is a statistically significant correlation between the seedling height and the other examined characteristics. The best correlation was found between the height and the length of the crown ( $r=0.9858$ ) for birches growing in the fresh mixed coniferous forest and between the height and single tree space ( $r=0.8468$ ) for birches growing in the fresh mixed broadleaved forest.

**Keywords:** tree height, crown width, crown length, growth space, common birch, forest culture

### 1. Wstęp

Budowa i kształt korony drzew są przedmiotem zainteresowania m.in. dendrologii, produktywności lasu oraz hodowli lasu. Wzrost i przyrost drzewa w dużej mierze zależy od wielkości korony oraz związanego z nią aparatu asymilacyjnego, który wpływa na rozmiar i efektywność procesu asymilacji. Korony drzew danego gatunku mogą różnić się w zależności od dostępności światła i składników pokarmowych, a także od natężenia czynników stresowych. Na przykład Burger (1939), który zajmował się budową, kształtem oraz wielkością koron drzew, opracował model korony świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst). Podzielił ją na część zewnętrzną z aparatem asymilacyjnym oraz rdzeń korony bez igliwia. Wyróżnił również koronę świetlistą i cieni-

stą. Assmann (1968) opisał budowę korony drzew za pomocą m.in. takich wskaźników, jak: stosunek długości i szerokości korony do wysokości drzewa oraz udział korony świetlistej i cienistej w całej koronie. Crecente-Campo i in. (2013) opracowali model korony sosny nadmorskiej (*Pinus pinaster* Aiton) oraz sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej w północno-zachodniej Hiszpanii. Lemke (1966, 1968, 1971) badał przydatność korony jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzewostanów sosnowych. Określił bieżący roczny przyrost miąższości na tonę świeżego igliwia i wykazał, że maksimum nastąpiło w wieku 20 lat, a następnie przyrost ten stopniowo zmniejszał się. W Holandii zależnościami pomiędzy vitalnością korony a szerokością przyrostów rocznych daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* Carriere) zajmowali się de Kort i Baas (1997), natomiast w Szwecji dla dębu

Wpłynęło: 5.09.2016 r., zrecenzowano: 17.11.2016 r., zaakceptowano: 22.04.2017 r.

szypułkowego i grabu pospolitego – Drobyshev i in. (2007). W obu pracach zaobserwowano zależność pomiędzy vitalnością korony a szerokością przyrostów rocznych. Największy przyrost wykazały drzewa zdrowe z prawidłowo rozbudowaną koroną, a najmniejszy drzewa z silnie zredukowanym aparatem asymilacyjnym. Badania nad długością korony sosny zwyczajnej przeprowadzili m.in. Żybura (1977) oraz Jaszczak (1998), a rozszerzeniem tych badań było określenie zależności pomiędzy długością korony a wiekiem oraz stanowiskiem biosocjalnym (m.in. Żybura 1987). Wykazał on, że wzrost długości korony sosny następuje wraz z wiekiem i bonitacją drzewostanu, a jej skrócenie związane jest z pogarszaniem się stanowiska biosocjalnego. Turski i in. (2012) przeprowadzili analizę wielkości wybranych cech korony drzew sosny zwyczajnej różnych klas wieku w klasach biosocjalnych tworzących drzewostan panujący oraz ich związku z pierśnicą i wysokością. Uzupełnieniem badań korony sosny zwyczajnej jest analiza wydajności aparatu asymilacyjnego, pogłębiona określeniem zależności pomiędzy jego wydajnością a pierśnicą, wysokością i wielkością drzewa (Turski et al. 2015). Bronisz i in. (2009) porównali różne sposoby określania suchej i świeżej biomasy aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych. Wyróżnili czynniki, tj. typ siedliskowy lasu, wiek drzew oraz położenie obiektu badań, które należy brać pod uwagę w celu precyzyjnego określenia biomasy drzew i ich komponentów za pomocą wzorów empirycznych. Powiązaniem przyrostu radialnego obcych i rodzimych gatunków drzew z wybranymi parametrami korony zajmował się Bijak (2013). Wykazał, że istnieje istotna korelacja pomiędzy przyrostem pierśnicy a długością i szerokością korony w przypadku jodły olbrzymiej (*Abies grandis* Lindl.) czy jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach). Badania nad morfologią koron drzew w drzewostanach wielogatunkowych w porównaniu z drzewostanami jednogatunkowymi przeprowadził Pretzsch (2014). Natomiast definicję przestrzeni pojedynczego drzewa podali Miś i Sugiero (2004), a procent wykorzystania jednostkowego pola zaproponowali Kaźmierczak i Stosik (2008). Analiza wybranych miar przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w drzewostanach sosnowych została przeprowadzona przez Kaźmierczak (2009, 2010, 2012), zaś w drzewostanach modrzewiowych przez Kaźmierczak i in. (2010). Wielkość korony jako miarę stanowiska biosocjalnego drzew w 135-letnim drzewostanie dębowym zaproponowali Kaźmierczak i Zawieja (2016). Z kolei rozwojem korony brzozy brodawkowatej zajmowali się Dmyterko i Bruchwald (2000, 2005), którzy wyróżnili i opisali trzy okresy rozwoju korony: fazę młodocianą, dojrzałości i starczą. Scharakteryzowali pęd główny brzozy brodawkowatej, którego materiał empiryczny pochodził z 24 litych drzewostanów brzozowych w wieku od 32 do 60 lat. Autorzy ci na podstawie pomiarów sześciolatniej uprawy opisali rozwój ugałęzienia w koronie brzozy brodawkowatej (Dmyterko, Bruchwald 2001) oraz stworzyli model rozwoju pędu wierzchołkowego dojrzałej brzozy omszonej i jego ugałęzienia (Dmyterko, Bruchwald 2010). Zależność pomiędzy smukłością 30-letniego niepielęgowanego drze-

wostanu brzozy brodawkowatej a wybranymi cechami koron drzew przedstawili Korzeniewicz i in. (2016).

Celem niniejszej pracy jest analiza wybranych charakterystyk korony i wyselekcjonowanych miar przestrzeni wzrostu drzew brzozy brodawkowatej w młodym wieku oraz zbadanie korelacji między wysokością drzew a analizowanymi cechami korony. Analizą objęto 4-letnią brzozę brodawkowatą rosnącą na dwóch typach siedliskowych lasu (borze mieszanym świeżym i lesie mieszanym świeżym) w Nadleśnictwie Ełk.

## 2. Metodyka

Badaniami objęto uprawy w Nadleśnictwie Ełk (53°40'–54°00'N, 22°05'–22°48'E). Większość nadleśnictwa położona jest w II krainie Mazursko-Podlaskiej w części Mezonegonu Pojezierza Ełckiego (II.6) (Zielony, Kliczkowska 2012). Część południowo-zachodnia leży w Mezonegonie Puszczy Mazurskich (II.4), a południowa w Mezonegonie Kotliny Biebrzańskiej (II.13).

Uprawy leśne założono wiosną 2014 roku, sadząc brzozę brodawkowatą (Brz 2/0) pochodzącą ze szkółki gruntowej Nadleśnictwa Ełk na dwóch typach siedliskowych lasu (BMśw i LMśw). Powierzchnie do odnowienia zostały uprzednio przygotowane poprzez wyoranie bruzd pługiem leśnym LPŻ. Więżba sadzenia była jednakowa na każdej powierzchni i wynosiła 1,4 m×1,8 m. Uprawy na siedlisku BMśw charakteryzują się glebą rdzawą właściwą (Rdw) wytworzoną z piasków luźnych (pl), natomiast siedlisko LMśw wytworzone zostało na glebach rdzawych brunatnych (RDbr) wyształconych na piaskach słabo gliniastych, piaskach luźnych i utworach żwirowych (ps/pl, ps/uż) (PUL 2013). Na czterech uprawach założono powierzchnie badawcze o wielkości od 243 do 280 m<sup>2</sup>, na których rosło od 100 do 108 drzew brzozy brodawkowatej. Położenie powierzchni badawczych nad poziomem morza było zbliżone i wynosiło od 132 do 147 m. W lipcu 2015 roku drzewa ponumerowano, po czym za pomocą suwmiarki elektronicznej zmierzono średnicę w szyi korzeniowej ( $d_{sz}$ ) w dwóch kierunkach (N-S i E-W) z zaokrągleniem do 0,001 m. Średnią arytmetyczną z dokonanych pomiarów przyjęto za średnicę szyi korzeniowej drzewa. Następnie zmierzono wysokość wszystkich drzew ( $h_p$ ) z dokładnością do 0,01 m. Charakterystykę statystyczną drzew, rosnących na powierzchniach próbnych wg typów siedliskowych lasu, przedstawia tabela 1.

Z każdej powierzchni wybrano, metodą Draudta (Grochowski 1973), po 15 drzew modelowych, reprezentujących pełny zakres zmienności grubości szyi korzeniowej z uwzględnieniem wysokości drzew. Pod koniec lipca założono na korony stojących drzew modelowych ażurowe siatki w celu określenia momentu opadania liści. Początek tego procesu był sygnałem do dokonania zbioru pozostałych liści ze stojących drzew, który prowadzono we wrześniu i w pierwszych dniach października. Po zakończeniu okresu wegetacyjnego zmierzono ponownie wysokość ( $h$ ) z dokładnością do 0,01 m; wysokość tę przyjęto za wysokość ostateczną do określenia związku wysokości z wybranymi cechami koron. Określono wysokość osadzenia

**Tabela 1. Charakterystyka statystyczna wysokości  $h_p$  oraz średnicy szyi korzeniowej ( $d_{sz}$ ) 4-letnich drzew brzozy brodawkowatej na powierzchniach próbnych na wybranych siedliskach**

Table 1. Statistical characteristics of tree height ( $h_p$ ) and tree diameter of root collar of 4-year-old common birch trees in sample plots on the selected forest habitats

Siedlisko / Habitat <i>N</i>	BMśw		LMśw	
	203		214	
[szt. / pcs.]	$h_p$ [m]	$d_{sz}$ [cm]	$h_p$ [m]	$d_{sz}$ [cm]
<b>Średnia / Mean</b>	1,19	1,16	0,69	0,52
<b>Odchylenie standardowe / Standard deviation <math>S_{dx}</math></b>	0,31	0,41	0,20	0,16
<b>Współczynnik zmienności / coefficient of variation <math>V</math></b>	0,26	0,36	0,30	0,32
<b>Ufność / Significance -95%</b>	1,14	1,10	0,66	0,50
<b>Ufność / Significance +95%</b>	1,23	1,21	0,72	0,54
<b>Minimalna / Minimum</b>	0,43	0,30	0,24	0,10
<b>Maksymalna / Maximum</b>	2,07	2,45	1,51	1,00
<b>Skośność / Skewness <math>A</math></b>	0,06	0,39	0,64	0,28

BMśw – fresh mixed coniferous forest, LMśw – fresh mixed deciduous forest

korony ( $h_{ok}$ ), mierzonej do pierwszej żywej gałęzi zwartej korony z dokładnością do 0,01 m oraz rzut korony, poprzez 4 rzuty poziome, zgodnie z kierunkami świata. Pomiarzy drzew modelowych posłużyły do obliczenia następujących cech:

$d_k$  [m] – szerokości korony, jako średniej arytmetycznej z pomiarów w kierunku wschód-zachód i północ-południe,

$l_k$  [m] – długości korony, jako różnicy pomiędzy wysokością całego drzewa a wysokością nasady korony,

$\frac{l_k}{h}$  [m] – względnej długości korony, jako stosunku długości korony do wysokości drzewa,

$\frac{d_k}{h}$  [m] – stopnia rozłożystości korony (współczynnik wychylenia korony), jako stosunku szerokości korony do wysokości drzewa,

$\frac{d_k}{l_k}$  [m] – stopnia spłaszczenia korony, jako stosunku szerokości korony do jej długości,

$p_k$  [m<sup>2</sup>] – powierzchni rzutu korony, przyjętej za pole koła o promieniu równym połowie szerokości korony,

$ppd$  [m<sup>3</sup>] – przestrzeni pojedynczego drzewa, jako iloczynu powierzchni rzutu korony i wysokości drzewa,

$pwjip$  [%] – procentu wykorzystania jednostkowego pola, jako pola rzutu korony wyrażonego w procentach jednostkowego pola, zaś jednostkowego pola drzew ustalonego na podstawie ilorazu powierzchni badanej uprawy leśnej i liczby znajdujących się tam drzew,

$śml$  [kg] – świeżej masy liści, określonej bezpośrednio po zbiorze,

$smi$  [kg] – suchej masy liści jako iloczynu  $śml_{10} \cdot 10$ , zaś  $śml_{10}$  określono na podstawie losowo wybranych liści, stanowiących 10% świeżej ich masy.

Wysokość drzew oraz wybrane cechy koron i miary przestrzeni wzrostu scharakteryzowano przy wykorzystaniu statystyki opisowej. Oceniono normalność rozkładu przy pomocy testu Shapiro-Wilka (Shapiro, Wilk 1965). Test ten jest dedykowany nielicznym próbom i charakteryzuje się stosunkowo wysoką mocą, co dowodzi braku normalności rozkładu (Więckowska 2010–2016). Siła związku liniowego pomiędzy wysokością a wybranymi cechami koron i miar przestrzeni wzrostu określono za pomocą testu korelacji liniowej Pearsona  $r$ .

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

gdzie:  $x_i, y_i$  – kolejne cechy  $X$  i  $Y$ ;  $\bar{x}, \bar{y}$  – średnie z wartości  $X$  i  $Y$ ;  $n$  – liczebność próby.

Test istotności współczynnika korelacji Pearsona oparto na statystyce testowej, która ma rozkład t-Studenta z  $n - 2$  stopniami swobody i przyjmuje postać:

$$t = r / SE, \text{ gdzie } SE = \sqrt{1 - r^2 / n - 2}$$

Wyznaczona na podstawie statystyki testowej wartość porównana została na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

Do obliczeń statystycznych wysokości drzew oraz wybranych cech korony i miar przestrzeni wzrostu 4-letniej brzozy brodawkowatej wykorzystano oprogramowanie statystyczne PQStat v. 1.6.4. (Więckowska 2010–2016).

### 3. Wyniki

Charakterystykę statystyczną drzew modelowych przedstawiono w tabeli 2. Brzoza brodawkowata rosnąca w borze mieszanym świeżym w wieku 4 lat osiągnęła przeciętną wysokość 1,30 m, a współczynnik zmienności wyniósł 29%. Rozpiętość wysokości dla drzew modelowych na siedlisku BMśw wyniosła od 0,61 m do 2,05 m, gdzie 95% drzew wykazało wysokość od 1,16 m do 1,44 m. Przeważająca długość korony wyniosła 0,97 m, a szerokość 0,66 m. 4-letnie brzozy brodawkowate rosnące na siedlisku LMśw osiągnęły przeciętną wysokość 0,67 m, gdzie 95% drzew wykazało wysokość w zakresie od 0,62 m do 0,73 m. Współczynnik zmienności wyniósł 23%. 95% drzew na siedlisku LMśw miało szerokość korony od 0,19 do 0,25 m, natomiast długość korony – od 0,32 do 0,41 m. Rozkład badanych cech był zbliżony do rozkładu normalnego z wyjątkiem świeżej masy liści ( $śml$ ), suchej masy liści ( $smi$ ) oraz przestrzeni pojedynczego drzewa ( $ppd$ ) na siedliskach BMśw oraz LMśw. Dodatkowo w warunkach BMśw rozkład wysokości osadzenia korony ( $h_{ok}$ ) drzew modelowych różnił się istotnie od rozkładu normalnego, podobnie jak powierzchnia rzutu korony ( $p_k$ ) i procent wykorzystania jednostkowego pola ( $pwjip$ ) na siedlisku LMśw.

**Tabela 2. Charakterystyka statystyczna drzew modelowych 4-letniej brzozy brodawkowatej rosnącej na wybranych siedliskach oraz testowanie hipotezy o normalności rozkładu analizowanych cech**

Table 2. Statistical characteristics of sample trees in 4-year-old common birch growing in the selected habitat and testing of normal distribution of analyzed traits

Miary Measure	$h$ [m]	$h_{ok}$ [m]	$d_k$ [m]	$l_k$ [m]	$\frac{l_k}{h}$	$\frac{d_k}{h}$	$\frac{d_k}{l_k}$	$p_k$ [m <sup>2</sup> ]	$ppd$ [m <sup>3</sup> ]	$pwj\%$ [%]	$\acute{s}ml$ [kg]	$sml$ [kg]
<b>Siedlisko (szt.) / Habitat (pcs.) N</b>						<b>BMśw (30)</b>						
<b>Średnia / Mean <math>\bar{x}</math></b>	1,30	0,33	0,66	0,97	0,73	0,49	0,68	0,38	0,57	15,50	0,68	0,26
<b>Odchylenie standardowe / Standard deviation <math>S_{dx}</math></b>	0,38	0,08	0,24	0,36	0,11	0,09	0,12	0,24	0,47	9,82	0,52	0,19
<b>Współczynnik zmienności / Coefficient of variation <math>V</math></b>	0,29	0,25	0,36	0,37	0,15	0,19	0,18	0,63	0,83	0,63	0,77	0,74
<b>Minimalna / Minimum</b>	0,61	0,04	0,20	0,28	0,46	0,33	0,45	0,03	0,02	1,28	0,09	0,03
<b>Maksymalna / Maximum</b>	2,05	0,42	1,12	1,74	0,94	0,71	0,98	0,99	2,02	40,54	1,96	0,73
<b>Test Shapiro-Wilka <math>p</math>-poziom / Shapiro-Wilk test for normality <math>p</math>-value</b>	0,88	0,00	0,33	0,78	0,06	0,63	0,83	0,18	0,01	0,18	0,01	0,01
<b>Siedlisko (szt.) Habitat (pcs.) N</b>						<b>LMśw (30)</b>						
<b>Średnia / Mean <math>\bar{x}</math></b>	0,67	0,31	0,22	0,37	0,55	0,32	0,61	0,04	0,03	1,72	0,05	0,02
<b>Odchylenie standardowe / Standard deviation <math>S_{dx}</math></b>	0,15	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,22	0,03	0,03	1,23	0,04	0,02
<b>Współczynnik zmienności / Coefficient of variation <math>V</math></b>	0,23	0,32	0,39	0,31	0,21	0,30	0,36	0,74	0,95	0,71	0,75	0,75
<b>Minimalna / Minimum</b>	0,37	0,09	0,04	0,17	0,35	0,07	0,21	0,00	0,00	0,04	0,01	0,004
<b>Maksymalna / Maximum</b>	1,17	0,45	0,39	0,74	0,76	0,47	1,09	0,12	0,13	4,52	0,20	0,09
<b>Test Shapiro-Wilka <math>p</math>-poziom / Shapiro-Wilk test for normality <math>p</math>-value</b>	0,07	0,17	0,51	0,07	0,53	0,32	0,99	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00

BMśw – fresh mixed coniferous forest, LMśw – fresh mixed deciduous forest

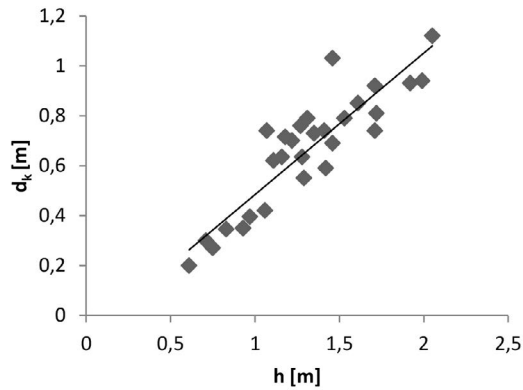
Korelację liniową Pearsona pomiędzy wysokością a wybranymi cechami korony oraz miarami przestrzeni wzrostu przedstawiono w tabeli 3. Najsilniejszy związek wysokości drzew ( $h$ ) z długością korony ( $l_k$ ) wystąpił na siedlisku BMśw, gdzie współczynnik korelacji wyniósł 0,9858 oraz z przestrzenią pojedynczego drzewa ( $ppd$ ) na siedlisku LMśw, gdzie  $r = 0,8468$ . Związek wysokości ( $h$ ) z m.in. takimi cechami jak szerokość korony ( $d_k$ ) (BMśw  $r = 0,8968$ ; LMśw  $r = 0,7611$ ) oraz powierzchnia rzutu korony ( $p_k$ ) (BMśw  $r = 0,9149$ ; LMśw  $r = 0,7679$ ) jest silny i istotny statystycznie dla drzew rosnących na obydwu typach siedliskowych lasu (ryc. 1–6).

Zależności pomiędzy wysokością ( $h$ ) a wysokością osadzenia korony ( $h_{ok}$ ) ( $r = 0,0493$ ), stopniem rozłożystości korony ( $\frac{d_k}{h}$ ) ( $r = 0,3533$ ) oraz stopniem spłaszczenia korony ( $\frac{d_k}{l_k}$ ) ( $r = -0,1373$ ) w przypadku drzew brzozy brodawkowatej

rosnącej na siedlisku BMśw są nieistotne statystycznie. Natomiast brak istotnie statycznej zależności na siedlisku LMśw wykazano pomiędzy wysokością ( $h$ ) a względną długością korony ( $\frac{l_k}{h}$ ) ( $r = -0,0527$ ), stopniem rozłożystości korony ( $\frac{d_k}{h}$ ) ( $r = 0,2556$ ) oraz stopniem spłaszczenia korony ( $\frac{d_k}{l_k}$ ) ( $r = 0,2161$ ).

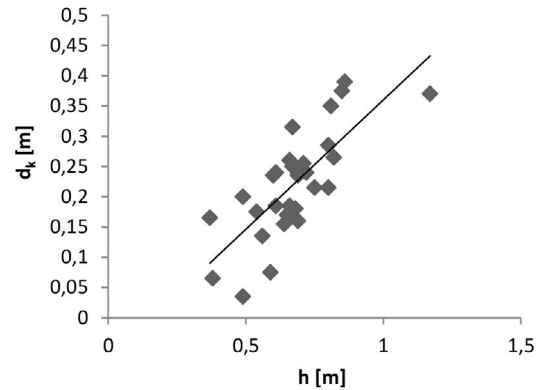
#### 4. Podsumowanie i dyskusja

Znajomość wzrostu różnych gatunków drzew lasotwórczych w fazie uprawy, nalotu i podrostu jest podstawą w doborze składu gatunkowego upraw i ich zmieszania. Wysokość drzew determinuje podjęcie decyzji o terminie wykonania pielęgnacji upraw i zabiegów z zakresu ochrony lasu, np. zabezpieczania drzewek przed uszkodzeniem przez zwierzynę (Jaworski 2004). Średnia wysokość ( $h$ ) brzozy



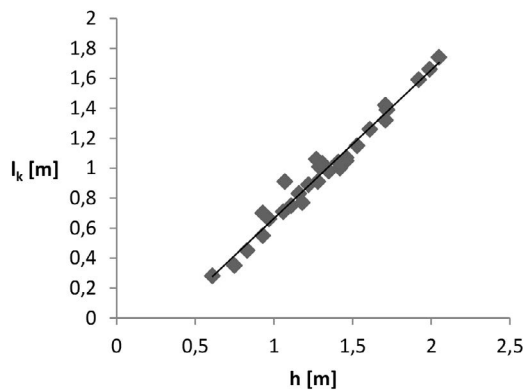
**Rycina 1. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a szerokością korony drzew modelowych na siedlisku BMśw**

Figure 1. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown diameter of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat



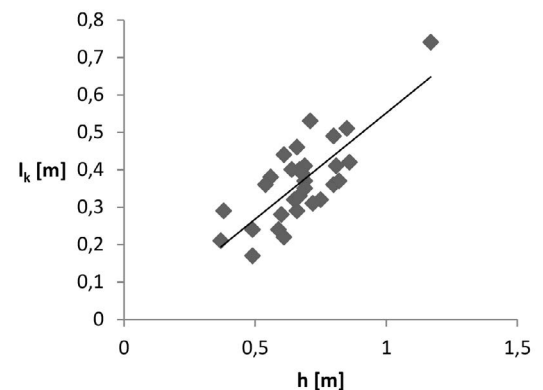
**Rycina 2. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a szerokością korony drzew modelowych na siedlisku LMśw**

Figure 2. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown diameter of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat



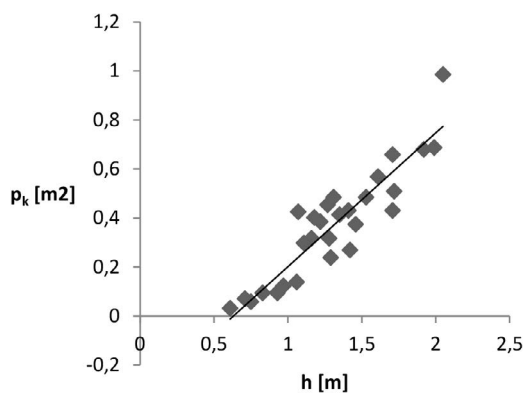
**Rycina 3. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a długością korony ( $l_k$ ) drzew modelowych na siedlisku BMśw**

Figure 3. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown length ( $l_k$ ) of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat



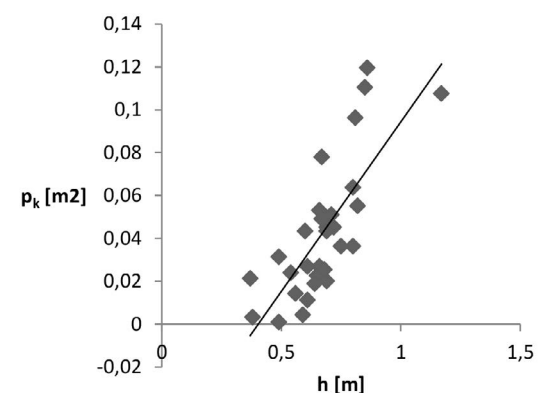
**Rycina 4. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a długością korony ( $l_k$ ) drzew modelowych na siedlisku LMśw**

Figure 4. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown length ( $l_k$ ) of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat



**Rycina 5. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a powierzchnią rzutu korony ( $p_k$ ) drzew modelowych na siedlisku BMśw**

Figure 5. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown projection area ( $p_k$ ) of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat



**Rycina 6. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością ( $h$ ) a powierzchnią rzutu korony ( $p_k$ ) drzew modelowych na siedlisku LMśw**

Figure 6. Pearson product-moment correlation coefficient between height ( $h$ ) and crown projection area ( $p_k$ ) of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat

**Tabela 3. Zależność pomiędzy wysokością ( $h$ ) a wybranymi cechami koron oraz miarami przestrzeni wzrostu 4-letniej brzozy brodawkowatej**Table 3. The relationship between height ( $h$ ) and selected crown characteristics and measures of the growth space of 4-year-old common birch

	$r$	$r^2$	Ufność Significance -95%	Ufność Significance +95%	$p$	Równanie liniowe Linear equation
<b>Wysokość osadzenia korony (<math>h_{ok}</math>) / Height to the crown base (<math>h_{ok}</math>)</b>						
BMśw	0,0493	0,0024	-0,3231	0,4084	0,7996	-
LMśw	0,6839	0,4677	0,4294	0,8377	0,0000	$y=0,014+x(0,434)$
<b>Szerokość korony <math>d_k</math> / Crown diameter <math>d_k</math></b>						
BMśw	0,8968	0,8042	0,7925	0,9501	0,0000	$y=0,082+x(0,567)$
LMśw	0,7611	0,5793	0,5523	0,8801	0,0000	$y=0,068+x(0,428)$
<b>Długość korony <math>l_k</math> / Crown length <math>l_k</math></b>						
BMśw	0,9858	0,9719	0,9697	0,9934	0,0000	$y=0,326+x(0,992)$
LMśw	0,7735	0,5984	0,5729	0,8867	0,0000	$y=0,014+x(0,566)$
<b>Względna długość korony <math>\frac{l_k}{h}</math> / Relative crown length <math>\frac{l_k}{h}</math></b>						
BMśw	0,7754	0,6012	0,5712	0,8892	0,0000	$y=0,432+x(0,220)$
LMśw	-0,0527	0,0028	-0,4053	0,3135	0,7819	-
<b>Stopień rozłożystości korony <math>\frac{d_k}{h}</math> / Crown spread <math>\frac{d_k}{h}</math></b>						
BMśw	0,3533	0,1248	-0,0080	0,6330	0,0555	-
LMśw	0,2556	0,0653	-0,1153	0,5640	0,1728	-
<b>Stopień spłaszczenia korony <math>\frac{d_k}{l_k}</math> / Crown flattened <math>\frac{d_k}{l_k}</math></b>						
BMśw	-0,1373	0,0189	-0,4741	0,2346	0,4693	-
LMśw	0,2161	0,0467	-0,1564	0,5347	0,2515	-
<b>Powierzchnia rzutu korony <math>p_k</math> / Crown projection area <math>p_k</math></b>						
BMśw	0,9149	0,8370	0,8250	0,9596	0,0000	$y=0,345+x(0,546)$
LMśw	0,7679	0,5896	0,5635	0,8837	0,0000	$y=0,064+x(0,158)$
<b>Przestrzeń pojedynczego drzewa <math>ppd</math> / Single tree space <math>ppd</math></b>						
BMśw	0,9170	0,8408	0,8291	0,9606	0,0000	$y=0,777+x(1,016)$
LMśw	0,8468	0,7170	0,7001	0,9249	0,0000	$y=0,082+x(0,169)$
<b>Procent wykorzystania jednostkowego pola <math>pwjp</math> / Percentage use of a unit area <math>pwjp</math></b>						
BMśw	0,9146	0,8365	0,8245	0,9595	0,0000	$y=-14,172+x(22,419)$
LMśw	0,7685	0,5906	0,5645	0,8840	0,0000	$y=-2,388+x(6,088)$
<b>Świeża masa liści <math>śml</math> / Leaves wet biomass <math>śml</math></b>						
BMśw	0,8722	0,7607	0,7465	0,9378	0,0000	$y=-89,167+x(120,467)$
LMśw	0,6752	0,4558	0,4101	0,8350	0,0001	$y=-3,993+x(13,226)$
<b>Sucha masa liści <math>sml</math> / Leaves dry biomass <math>sml</math></b>						
BMśw	0,8805	0,7752	0,7619	0,9419	0,0000	$y=-32,235+x(44,550)$
LMśw	0,6412	0,4111	0,3591	0,8160	0,0002	$y=-1,515+x(5,489)$

 $r$  – współczynnik korelacji / correlation coefficient,  $r^2$  – współczynnik determinacji / coefficient of determination,  $p$  – poziom / value

BMśw – fresh mixed coniferous forest, LMśw – fresh mixed deciduous forest

brodawkowatej rosnącej na uprawie BMśw jest blisko dwa razy większa od brzozy brodawkowatej rosnącej na siedlisku LMśw. Przyczyn tej różnicy można upatrywać w tym, iż na żyzniejszym siedlisku występuje większa liczba roślin zielnych, mogących konkurować o przestrzeń do wzrostu oraz o składniki pokarmowe z brzozą brodawkowatą, zwłaszcza w pierwszych latach od założenia uprawy. Obserwacje te należałoby potwierdzić dodatkowymi badaniami. W badaniach Szymańskiego (1982) brzoza brodawkowata na siedlisku BMśw osiągnęła w wieku 4 lat przeciętną wysokość 2,04 m. Podobne wyniki przedstawił Dengler dla brzozy brodawkowatej rosnącej w Szwajcarii oraz Pogrebnjak dla brzozy brodawkowatej na Ukrainie (za Jaworskim 2004).

Średnia względna długość korony ( $\frac{l_k}{h}$ ), wyrażająca udział korony w ogólnej wysokości brzozy brodawkowatej, rosnącej w warunkach LMśw, wynosi 0,55. Oznacza to, że 55% wysokości całego drzewa stanowi korona. Taki sam wynik wykazał Badoux (za Assmannem 1968), badając korony buka zwyczajnego. Największy średni procent udziału korony w całej wysokości drzewa osiągnęły brzozy rosnące na siedlisku BMśw – 73%. Podobny wynik otrzymał Bijak (2013) dla jodły kaukaskiej (*Abies nordmanniana*) rosnącej na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie. Badania jakie przeprowadzili na jodle pospolitej Jaworski i in. (1995) pokazują, że długość korony istotnie wpływa na przyrost grubości pnia. Cechy morfologiczne korony, jej kształt i budowa mogą być wskaźnikiem możliwości produkcyjnych drzewa (Jaworski 2004). Kulminacja przyrostu pędu, będącego przedłużeniem osi pnia (zatem wpływającego bezpośrednio na wysokość drzewa), ma miejsce pomiędzy 5 a 10 rokiem życia brzozy brodawkowatej. Ten okres rozwoju korony nazwany jest fazą młodocianą (eksploracji). W tym okresie korona dynamicznie rozwija się, zajmując coraz większą powierzchnię (Dmyterko, Bruchwald 2000). Otrzymane wyniki należy potraktować jako wyjściowe, zatem uzasadnione wydaje się kontynuowanie badań na drzewach próbnych w przyszłych latach.

Pomiar wysokości drzew jest stosunkowo łatwy, zatem poszukiwanie zależności pomiędzy wysokością a innymi trudniej mierzalnymi cechami jest zasadne. Korelacja pomiędzy wysokością ( $h$ ) a długością korony ( $l_k$ ) na siedlisku LMśw wyniosła 0,7735. Podobny związek otrzymali Turski i in. (2012) dla sosny zwyczajnej należącej do I–III Klasy Krafitu w IV klasie wieku. Natomiast na siedlisku BMśw zależność ta dla brzozy brodawkowatej była silniejsza i wyniosła 0,9858. Oznacza to, że długość korony ( $l_k$ ) zależy w 99% od wysokości drzewa ( $h$ ). Współczynnik korelacji pomiędzy wysokością drzewa ( $h$ ) a przestrzenią pojedynczego drzewa ( $ppd$ ) wyniósł 0,9170 na BMśw oraz 0,8468 na LMśw. Są to silniejsze zależności niż wykazała Kaźmierczak (2010, 2012) dla 50-letniej i 35-letniej sosny zwyczajnej. Wykazano również zależność pomiędzy wysokością drzew ( $h$ ) a pozostałymi cechami korony oraz miarami przestrzeni wzrostu. Zależność pomiędzy wysokością ( $h$ ) a stopniem złożoności korony ( $\frac{d_k}{h}$ ), stopniem spłaszczenia korony ( $\frac{d_k}{l_k}$ ) (na

BMśw i LMśw), wysokością osadzenia korony ( $h_{ok}$ ) (na BMśw) oraz względną długością korony ( $\frac{l_k}{h}$ ) (na LMśw) nie jest istotna statystycznie.

Korelację pomiędzy smukłością a wysokością 30-letniej niepielęgowanej brzozy brodawkowatej rosnącej w warunkach BMśw badali Korzeniewicz i in. (2016), przy czym współczynnik korelacji liniowej nie był istotny i wyniósł -0,0946.

## 5. Wnioski

1. W badaniach wykazano, że brzoza brodawkowata na siedlisku BMśw cechuje się szybszym wzrostem niż na siedlisku LMśw.

2. Istnieje istotna dodatnia korelacja pomiędzy wysokością drzew a szerokością korony oraz jej długością, zatem spodziewać się można, że drzewa rosnące szybciej na wysokość osiągną większe rozmiary koron i szybciej wejdą w fazę młodnika.

3. W planowaniu terminów zabiegów hodowlanych i ochronnych powinno się uwzględniać wysokość drzew i związane z nią istotne zależności dotyczące cech morfologicznych korony.

4. Korelacje pomiędzy wysokością a cechami korony mogą posłużyć do oceny produktywności młodej brzozy brodawkowatej.

## Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

## Źródło finansowania

Badania sfinansowano ze środków własnych.

## Literatura

- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 628 s.
- Bijak Sz. 2013. Powiązanie przyrostu radialnego obcych i rodzimych gatunków drzew w LZD Rogów z wybranymi parametrami korony. *Sylwan* 157(4): 278–287.
- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak Sz., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. *Sylwan* 153(11): 758–767.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2001. Rozwój ugałęzienia w koronie młodej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *Sylwan* 145(12): 19–28.
- Burger H. 1939. Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* 21: 5–58.
- Crecente-Campo F., Álvarez-González J.G., Castedo-Dorado F., Gómez-García E., Diéguez-Aranda U. 2013. Development of crown profile models for *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus sylvestris* L. in northwestern Spain. *Forestry* 86(7): 481–491. DOI 10.1093/forestry/cpt019.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2000. Rozwój korony brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *Sylwan* 144(1): 11–17.

- Dmyterko E., Bruchwald A., 2005. Charakterystyka pędu głównego dojrzałej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *Sylwan* 149(8): 3–9.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2010. Model rozwoju pędu wierzchołkowego i jego ugałżnienia u dojrzałej brzozy omszonej (*Betula pubescens* Ehrh.). *Leśne Prace Badawcze* 71(1): 21–28. DOI 10.2478/v10111-009-0045-7.
- Drobyshev I., Linderson H., Sonneson K. 2007. Relationship between crown condition and tree diameter growth in southern Swedish oaks. *Environmental Monitoring and Assessment* 128: 61–73. DOI 10.1007/s10661-006-9415-2.
- Grochowski J. 1973. Dendrometria. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 594 s.
- Jaszczak R. 1998. Crown length of standing trees in pine stands. *Forestry* 1: 21–29.
- Jaworski A. 2004. Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 375 s., ISBN 9788309017752.
- Jaworski A., Karczmarski J., Pach M., Skrzyszewski J., Szar J. 1995. Ocena żywotności drzewostanów jodłowych w oparciu o cechy biomorfologiczne koron i przyrost promienia pierśnicy. *Acta Agraria et Silvicultura. Series Silvestris* 33: 115–131.
- Kaźmierczak K. 2009. Wybrane miary przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w bliskorębnym drzewostanie sosnowym. *Sylwan* 153(5): 298–303.
- Kaźmierczak K. 2010. Kształtowanie się wybranych cech przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w 50-letnim drzewostanie sosnowym. *Sylwan* 154(4): 267–274.
- Kaźmierczak K. 2012. Przestrzeń wzrostu sosny w 35-letnim drzewostanie na przykładzie wybranych miar przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa. *Sylwan* 156(4): 280–286.
- Kaźmierczak K., Pazdrowski W., Nawrot M., Szymański M. 2010. Przestrzeń pojedynczego drzewa w drzewostanie panującym w zależności od wieku oraz typu siedliskowego lasu na przykładzie modrzewia (*Larix decidua* Mill.). *Sylwan* 154(11): 764–772.
- Kaźmierczak K., Stosik M. 2008. Analiza wybranych cech przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa na przykładzie 135-letniego drzewostanu dębowego. *Sylwan* 152(2): 3–9.
- Kaźmierczak K., Zawieja B. 2016. Tree crown size a measure of tree biosocial position in 135-year-old oak (*Quercus* L.) stand. *Folia Forestalia Polonica. Seria A* 58(1): 31–42. DOI 10.1515/ffp-2016-0004.
- de Kort I., Baas P. 1997. Ring width patterns of Douglas fir in relation to crown vitality and age. *IWA Journal* 18(1): 53–67.
- Korzeniewicz R., Borzyszkowski W., Szmyt J., Kaźmierczak K. 2016. Smukłość 30-letniego niepielęgowanego drzewostanu brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *ACTA Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 15(2): 79–86.
- Lemke J. 1966. Korona jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzew w drzewostanie sosnowym. *Folia Forestalia Polonica. Seria A* 12: 185–236.
- Lemke J. 1968. Związek pomiędzy wielkością korony a przyrostem drzew w drzewostanach sosnowych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk* 25: 1–48.
- Lemke J. 1971. Przydatność korony i wysokości drzew do szacowania ich właściwości przyrostowych w drzewostanach sosnowych II i III klasy wieku. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk* 32: 73–87.
- Miś R., Sugiero D. 2004. Jednostkowe pole i przestrzeń drzew młodego pokolenia w dwugeneracyjnej buczynie karpackiej. *ACTA Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3(1): 25–39.
- Pretsch H. 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management* 327(9): 251–264. DOI 10.1016/j.foreco.2014.04.027.
- PUL 2013. Plan urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Ełk. RDLP, Białystok.
- Shapiro S., Wilk M. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3–4): 591–611.
- Szymański S. 1982. Wzrost niektórych gatunków drzew leśnych w pierwszych 10 latach życia na siedlisku boru mieszanego świeżego. *Sylwan* 126(7): 11–29.
- Turski M., Beker C., Jaszczak R. 2015. Wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus Sylvestris* L.) różnych klas wieku. *Sylwan* 159(1): 36–44.
- Turski M., Jaszczak R., Deus R. 2012. Wybrane charakterystyki koron drzew i ich związek z pierśnicą oraz wysokością. *Sylwan* 156(5): 369–378.
- Więckowska B. 2010. Podręcznik Użytkownika – PQStat 2010–2016 <http://download.pqstat.pl/Dokumentacja.pdf> [19.02.2017].
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 356 s. ISBN 978-83-61633-62-4.
- Żybura H. 1977. Długość koron drzew w drzewostanach sosnowych. *Sylwan* 121(1): 1–12.
- Żybura H. 1987. Relation of the crown length of pine trees to the age and site quality of stand and to the biosocial structure of trees. *Annals of Warsaw Agricultural University SGGW–AR* 36: 61–68.