

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. Więźba 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 m², 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 próbnym 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]
Średnia / Mean	1,19	1,16	0,69	0,52
Odchylenie standardowe / Standard deviation S_{dx}	0,31	0,41	0,20	0,16
Współczynnik zmienności / coefficient of variation V	0,26	0,36	0,30	0,32
Ufność / Significance -95%	1,14	1,10	0,66	0,50
Ufność / Significance +95%	1,23	1,21	0,72	0,54
Minimalna / Minimum	0,43	0,30	0,24	0,10
Maksymalna / Maximum	2,07	2,45	1,51	1,00
Skośność / Skewness A	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,

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

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

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

p_k [m²] – powierzchni rzutu korony, przyjętej za pole koła o promieniu równym połowie szerokości korony,

ppd [m³] – 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. Przeciętna 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 ²]	ppd [m ³]	$pwj\%$ [%]	$\acute{s}ml$ [kg]	sml [kg]
Siedlisko (szt.) / Habitat (pcs.) N						BMśw (30)						
Średnia / Mean \bar{x}	1,30	0,33	0,66	0,97	0,73	0,49	0,68	0,38	0,57	15,50	0,68	0,26
Odchylenie standardowe / Standard deviation S_{dx}	0,38	0,08	0,24	0,36	0,11	0,09	0,12	0,24	0,47	9,82	0,52	0,19
Współczynnik zmienności / Coefficient of variation V	0,29	0,25	0,36	0,37	0,15	0,19	0,18	0,63	0,83	0,63	0,77	0,74
Minimalna / Minimum	0,61	0,04	0,20	0,28	0,46	0,33	0,45	0,03	0,02	1,28	0,09	0,03
Maksymalna / Maximum	2,05	0,42	1,12	1,74	0,94	0,71	0,98	0,99	2,02	40,54	1,96	0,73
Test Shapiro-Wilka p-poziom / Shapiro-Wilk test for normality p-value	0,88	0,00	0,33	0,78	0,06	0,63	0,83	0,18	0,01	0,18	0,01	0,01
Siedlisko (szt.) Habitat (pcs.) N						LMśw (30)						
Średnia / Mean \bar{x}	0,67	0,31	0,22	0,37	0,55	0,32	0,61	0,04	0,03	1,72	0,05	0,02
Odchylenie standardowe / Standard deviation S_{dx}	0,15	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,22	0,03	0,03	1,23	0,04	0,02
Współczynnik zmienności / Coefficient of variation V	0,23	0,32	0,39	0,31	0,21	0,30	0,36	0,74	0,95	0,71	0,75	0,75
Minimalna / Minimum	0,37	0,09	0,04	0,17	0,35	0,07	0,21	0,00	0,00	0,04	0,01	0,004
Maksymalna / Maximum	1,17	0,45	0,39	0,74	0,76	0,47	1,09	0,12	0,13	4,52	0,20	0,09
Test Shapiro-Wilka p-poziom / Shapiro-Wilk test for normality p-value	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

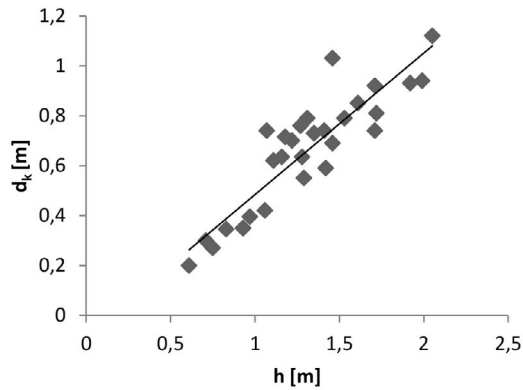
Korelację liniową Pearsona pomiędzy wysokością a wybranymi cechami korony oraz miarami przestrzeni wzrostu przedstawiono w tabeli 3. Najsilniejszy związek wysokości drzew (h) z długością korony (l_k) wystąpił na siedlisku BMśw, gdzie współczynnik korelacji wyniósł 0,9858 oraz z przestrzenią pojedynczego 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 ($\frac{d_k}{l_k}$) ($r = 0,2161$).

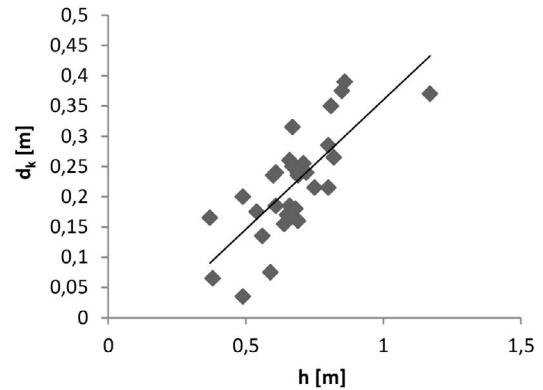
4. Podsumowanie i dyskusja

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



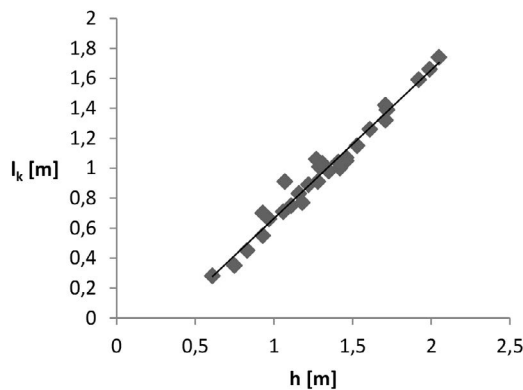
Rycina 1. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością (h) a szerokością korony drzew modelowych na siedlisku BMśw

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



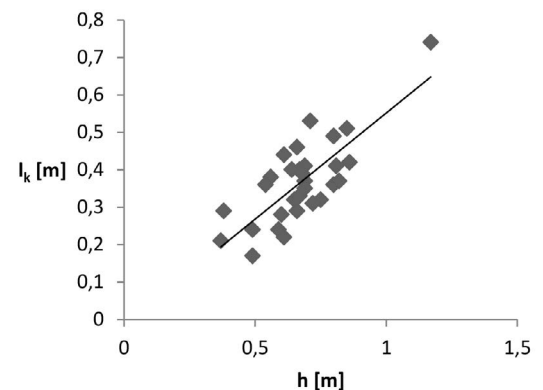
Rycina 2. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością (h) a szerokością korony drzew modelowych na siedlisku LMśw

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



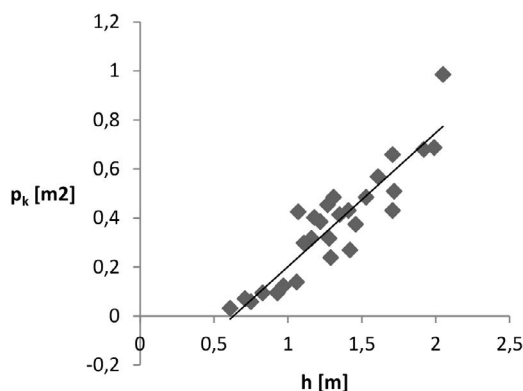
Rycina 3. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością (h) a długością korony (l_k) drzew modelowych na siedlisku BMśw

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



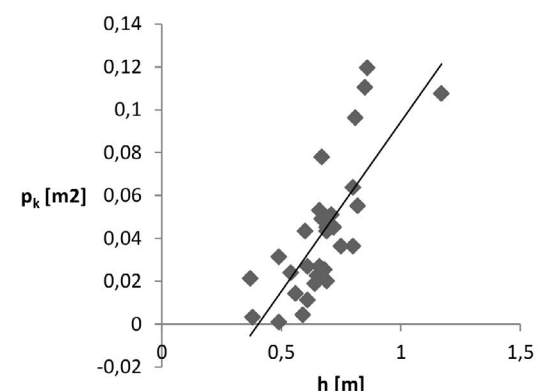
Rycina 4. Zależność liniowa Pearsona pomiędzy wysokością (h) a długością korony (l_k) drzew modelowych na siedlisku LMśw

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 brodawkowatejTable 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
Wysokość osadzenia korony (h_{ok}) / Height to the crown base (h_{ok})						
BMśw	0,0493	0,0024	-0,3231	0,4084	0,7996	-
LMśw	0,6839	0,4677	0,4294	0,8377	0,0000	$y=0,014+x(0,434)$
Szerokość korony d_k / Crown diameter d_k						
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	$y=0,068+x(0,428)$
Długość korony l_k / Crown length l_k						
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	$y=0,014+x(0,566)$
Względna długość korony $\frac{l_k}{h}$ / Relative crown length $\frac{l_k}{h}$						
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	-
Stopień rozłożystości korony $\frac{d_k}{h}$ / Crown spread $\frac{d_k}{h}$						
BMśw	0,3533	0,1248	-0,0080	0,6330	0,0555	-
LMśw	0,2556	0,0653	-0,1153	0,5640	0,1728	-
Stopień spłaszczenia korony $\frac{d_k}{l_k}$ / Crown flattened $\frac{d_k}{l_k}$						
BMśw	-0,1373	0,0189	-0,4741	0,2346	0,4693	-
LMśw	0,2161	0,0467	-0,1564	0,5347	0,2515	-
Powierzchnia rzutu korony p_k / Crown projection area p_k						
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	$y=0,064+x(0,158)$
Przestrzeń pojedynczego drzewa ppd / Single tree space ppd						
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	$y=0,082+x(0,169)$
Procent wykorzystania jednostkowego pola $pwjp$ / Percentage use of a unit area $pwjp$						
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	$y=-2,388+x(6,088)$
Świeża masa liści $śml$ / Leaves wet biomass $śml$						
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	$y=-3,993+x(13,226)$
Sucha masa liści sml / Leaves dry biomass sml						
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 rozłożystości 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.
- Creciente-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 ugałżenia 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.
- Pretzsch 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.

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

Adam Klepacki

Elk Forest District, Mrozy Wielkie 21, 19–300 Elk, Poland

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. Introduction

Structure and shape of the tree crown is the interest of study fields, such as dendrology, forest productivity and forest cultivation. Growth of the tree and its increments are highly based on the size of crown and its assimilatory apparatus, which has an effect on the scale and effectiveness of the assimilation process. Tree crowns of the particular species can vary in light dependency and requirement for nutrients as well as susceptibility to stress intensity. For instance, Burger (1939) who investigated the shape, structure and the size of tree crowns conceived a tree crown model of the spruce tree (*Picea abies* (L.) H. Karst). The model was divided into exterior part with the assimilatory apparatus and the tree crown

core without leaves. Burger also distinguished two types of canopies intertwined together into one: the tree crown that can cope in harsh bright light conditions and the tree crown that can manage in the poor light conditions. Another researcher, Assmann (1968), described the tree structure based on factors such as length and girth proportions to the tree height and the involvement of two tree crown types in the whole canopy structure. Moreover, Crecente-Campo et al. (2013) constructed a model for two pine trees (*Pinus pinaster* Aiton and *Pinus sylvestris* L.) growing in the northwest Spain. Lemke (1966, 1968, 1971) worked on the usefulness of the tree crown as a criterion that can determine the growth dynamics of the pine tree stands. The author proved that the maximal size of tree crown is reached at the age of 20 years by conceptual-

Submitted: 5.09.2016, reviewed: 17.11.2016, accepted after revision: 22.04.2017

ising the dependence of annual increment volume to the ton of fresh coniferous leaves. The research shown that after the age of 20 years, the increment growth is steadily declining. The relations between tree crown health and girth of the tree increments was analysed, on the one hand, on Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Carriere) in Netherlands by Kort and Baas (1997); on the other hand, the research was conducted on common oak and hornbeam in Sweden by Drobyshev et al. (2007). In both the studies, the connection between tree crown health and the growth of the year increments was observed. The highest increment was observed in case of trees that were healthy and had well-developed tree crown. The lowest was present in trees with reduced assimilatory apparatus. Research on the tree crown length of common pine (Żybura et al. 1977; Jaszczak et al. 1998) was conducted to determine the connection between the tree crown length and tree age as well as biosocial position (Żybura 1987). It proved that the growth of the crown's length occurs with the age and bonitation of the tree stand and bonitation time reduction is intertwined with the decline in the biosocial position. Turski and coauthors (2012) conducted analysis of the size of particular values of the pine tree crown of different ages in biosocial classes that establish existing tree stand and its connection with tree diameter and height. Additional to the pine crown research is analysis of the assimilatory apparatus efficiency that is broadened by the correlation between its efficiency and diameter, height and size of the tree (Turski et al. 2015). Bronisz and coauthors (2009) compared different types in order to define dry and fresh biomass of the assimilatory apparatus belonging to the pine tree stands. They distinguished three factors, which are forest habitat type, tree age and location of the researched tree stands. These factors have to be taken under consideration to precisely evaluate the tree biomass and their components by using empirical patterns. Radial increment correlation of native and alien trees of the particular crown parameters was done by Bijak (2013). On the one hand, he proved that there is an important correlation between the diameter increment and the crown length and girth in case of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) or Caucasian fir (*Abies normanniana* (Steven) Spach). On one hand, research on the morphology of canopies in tree stands with multiple species in comparison with those with single species was conducted by Pretzsch (2014). On the other hand, the definition for the area required by single tree was developed by Miś and Sugiero (2004) and the percentage of the unitary area usage was proposed by Kaźmierczak and Stosik (2008). Particular measures of area required for the trees to grow were analysed and determined in the pine tree stands by Kaźmierczak (2009, 2010, 2012) and in larch tree stands by Kaźmierczak and others (2010). The size of crown was proposed as the biosocial measurement of trees in the 135-year-old oak tree stand by Kaźmierczak and Zawieja (2016). In turn, the growth of common birch bark was

undertaken by Dmyterko and Bruchwald (2000, 2005), who distinguished and described three stages of the tree crown development: youth phase, adult phase and elderly stage. They defined the main shoot of the common birch tree which empirical material was taken from 24 solid birch tree stands varying in age from 32 to 60. Moreover, they described the development of branching in the common birch crown based on the measurement taken from the 6-year-old cultivation (Dmyterko, Bruchwald 2001) and created a development model for the appendix shoot of the adult moor birch and its branching (Dmyterko, Bruchwald 2010). Dependencies between smoothness of the unattended 30-year-old common birch tree stand and selected crown traits of trees growing in such tree stand were presented by Korzeniewicz et al. (2016).

The goal of the present work is to analyse particular characteristics of tree crown and to find growth measurements responsible for space requirements for common birch in youth stage and to examine the correlation between its height and certain qualities of the crown. Four-year-old common birch trees growing in two different forest habitats were examined (from fresh mixed coniferous forest and fresh mixed deciduous forest) in Elk Forest District.

2. Methodology

The research was conducted on the cultivation in Elk Forest District (53°40'–54°00'N, 22°05'–22°48'E). Majority of the Forest District area is located in the II Mazury – Podlasie Region in the part of the Mesoregion of Elk, II. 6 (Zielony, Kliczkowska 2012). The southwestern part lies in the Mesoregion of Mazurian Forests (II. 4), and the southern part lies in the Mesoregion of Biebrzańska Valley (II. 13).

Forest cultivations were set up during spring 2014. Common birch was planted (Brz 2/0) from the seedbed schools belonging to the Elk Forest District of two habitat forests (coniferous mixed fresh forest and deciduous mixed fresh forest). Areas for the cultivation were adequately prepared for sowing. The areas were ploughed and the framing on each area was estimated on 1.4 m × 1.8 m. On the one hand, cultivation set on the coniferous mixed fresh zone is intensely characterised by the presence of the rust-coloured proper soil processed from the volatile sands. On the other hand, the deciduous mixed fresh forest habitat had rust-brown soils derived from the poorly clay sands, volatile sands and gravel (ps/pl, ps/uż) (PUL 2013). Research areas of around 243–280 m² were established on four cultivations ranging from 100 to 108 common birch trees. The altitude for the cultivations was similar and estimated to be about 132–147 m. In July 2015, the trees were numerated and, afterwards, their diameter was measured at the root neck position using devices (dsz) in two directions (N–S and E–W) with rounding to 0.001 m. The average from the conducted measurements was taken for the root neck dia-

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

Habitat <i>N</i>	BMśw		LMśw	
[pcs.]	203		214	
	h_{pl} [m]	d_{sz} [cm]	h_{pl} [m]	d_{sz} [cm]
Mean	1.19	1.16	0.69	0.52
Standard deviation S_{dx}	0.31	0.41	0.20	0.16
coefficient of variation V	0.26	0.36	0.30	0.32
Significance -95%	1.14	1.10	0.66	0.50
Significance +95%	1.23	1.21	0.72	0.54
Minimum	0.43	0.30	0.24	0.10
Maximum	2.07	2.45	1.51	1.00
Skewness A	0.06	0.39	0.64	0.28

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

meter. Subsequently, the height of all trees was measured (h_p) with precision to 0.01 m. In Table 1, the statistical characteristics of the trees growing on the research areas accordingly to the forest habitat type are given.

Fifteen model trees were chosen from each area accordingly to the Draudt method (Grochowski 1973). These trees represent the full scale of diversity of the root neck (tree height has been taken under consideration). At the end of July, transparent nets were put on the tree canopies to determine the date of leaves falling. The beginning of this process was a signal for collecting leaves from the other trees that were previously examined and measured in September and at the start of October. When vegetation season was over, the height was measured again (h) with the accuracy to 0.001 m. This height was estimated as the final height that will be used in order to calculate the correlation of height with other crown characteristics. The height embedment for the crown (h_{ok}), which was measured to the first living branch of the dense crown with accuracy to 0.01 m, as well as the crown section, which was measured by conducting four vertical sections accordingly to the four directions (South, North, West and East), were measured. Model trees measurements were used to calculate the following characteristics:

d_k [m] – the tree crown girth. It is the average of the measurements from the West–East and North–South directions.

l_k [m] – the tree crown length. It is the difference between the tree height and the crown base height.

$\frac{l_k}{h}$ [m] – relative length of tree crown. It is the ratio of the tree length to the height

$\frac{d_k}{h}$ [m] – the degree of the tree crown spread (rate of the crown declination). It is the ratio of the tree girth to the height.

$\frac{d_k}{l_k}$ [m] – the degree of the tree crown flattening. It is the ratio of the tree girth to the length.

p_k [m²] – the crown area projected onto the ground. It is the surface circle area with the radius equal to half of the crown girth.

ppd [m³] – the area of single tree growth space. It is the product of the crown's section area and tree height.

$pwjp$ [%] – the percentage use of the unit surface area. This is the crown surface area projected onto the ground in unit area percentage. It is also the unit surface area value of the trees (the product of researched cultivation and trees surfaces areas).

sml [kg] – the fresh leaves weight evaluated after collecting.

sml [kg] – the dry leaves weight represented as the product of $sml_{10} \times 10$ (sml_{10} is calculated based on the randomly chosen leaves that constitute 10% of fresh leaves).

The tree height, chosen crown characteristics as well as growth space measurements were defined by using description statistics. The distribution was assessed, thanks to the Shapiro–Wilk experimental method (Shapiro, Wilk 1965). This experimental method is dedicated to few trials and is characterised by relatively high results what proves no normal distribution (Więckowska 2010–2016). The strength of a link between the height, certain crown characteristics and growth space measurements was determined using linear Pearson correlation method.

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

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

where x_i, y_i is the following characteristic of X and Y , respectively; \bar{x}, \bar{y} is the average values of X and Y , respectively; n is the sample strength

The salience experimental method for the Pearson correlation factor was based on the trail statistics that has the distribution of Student's t-test with two degrees of latitude and has the following pattern:

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

Defined on experimental statistics, variable p was compared on the salience level.

PQStat v. 1.6.4. (Więckowska 2010–2016) software was used for the statistical calculations of the trees height, particular crown characteristics and growth space measurements of the 4-year-old common birch tree.

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

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 ²]	ppd [m ³]	$pwjpp$ [%]	$śml$ [kg]	sml [kg]
Habitat (pcs.) N	BMśw (30)											
Mean \bar{x}	1.30	0.33	0.66	0.97	0.73	0.49	0.68	0.38	0.57	15.50	0.68	0.26
Standard deviation S_{dx}	0.38	0.08	0.24	0.36	0.11	0.09	0.12	0.24	0.47	9.82	0.52	0.19
Coefficient of variation V	0.29	0.25	0.36	0.37	0.15	0.19	0.18	0.63	0.83	0.63	0.77	0.74
Minimum	0.61	0.04	0.20	0.28	0.46	0.33	0.45	0.03	0.02	1.28	0.09	0.03
Maximum	2.05	0.42	1.12	1.74	0.94	0.71	0.98	0.99	2.02	40.54	1.96	0.73
Shapiro-Wilk test for normality p -value	0.88	0.00	0.33	0.78	0.06	0.63	0.83	0.18	0.01	0.18	0.01	0.01
	Habitat (pcs.) N LMśw (30)											
Mean \bar{x}	0.67	0.31	0.22	0.37	0.55	0.32	0.61	0.04	0.03	1.72	0.05	0.02
Standard deviation S_{dx}	0.15	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.22	0.03	0.03	1.23	0.04	0.02
Coefficient of variation V	0.23	0.32	0.39	0.31	0.21	0.30	0.36	0.74	0.95	0.71	0.75	0.75
Minimum	0.37	0.09	0.04	0.17	0.35	0.07	0.21	0.00	0.00	0.04	0.01	0.004
Maximum	1.17	0.45	0.39	0.74	0.76	0.47	1.09	0.12	0.13	4.52	0.20	0.09
Shapiro-Wilk test for normality p -value	0.07	0.17	0.51	0.07	0.53	0.32	0.99	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00

LMśw – fresh mixed deciduous forest

3. Results

Statistical characteristics of the model trees are represented in Table 2. Common birch trees growing in the fresh mixed coniferous forest at the age of 4 years reached the average height of 1.30 m. The variation coefficient amounted to 29%. The height-to-span ratio for the model trees on the fresh mixed coniferous forest varied from 0.61 to 2.05 m. It has been found that 95% of trees ranged between 1.16 and 1.44 m in height. The average crown length amounted to 0.97 m, whilst its girth 0.66 m. Four-year-old common birch trees growing in the fresh mixed deciduous forest reached the average height of 0.67 m. The estimated 95% of trees ranged between 0.62 and 0.73 m in height. The variation coefficient amounted to 23%. The same amount of trees (95%) in the fresh mixed deciduous forest had their crown girth ranging from 0.19 to 0.25 m, whereas the length ranges from 0.32 to 0.41 m. The distribution of the examined characteristics was very similar to the normal distribution with only difference being present in the fresh leaves weight ($śml$), dry leaves weight (sml) and the growth space of the single tree (ppd) on the mixed fresh coniferous and deciduous habitats. Moreover, in mixed fresh habitat conditions, distribution of the height embedment of the crown (h_{ok}) for model trees were different significantly from the normal distribution. It was alike for the area of the crown projected

onto the ground section (p_k) and percentage use of the unit surface area ($pwjpp$) for the mixed fresh deciduous habitat.)

Pearson linear correlations between the height and selected crown characteristics as well as growth space measurements are indicated in Table 3. The strongest link for tree height (h) and crown length (l_k) occurred at the mixed fresh coniferous habitat and the correlation factor amounted to 0.9858. At the mixed fresh deciduous habitat, the correlation factor was $r=0.8468$ (with inclusion of single tree space (ppd)). The link between h and characteristics such as crown girth (d_k) (BMśw $r=0.8968$ LMśw $r=0.7611$) and projected crown area onto the ground (p_k) (BMśw $r=0.9149$ LMśw $r=0.7679$) is highly statistically important for the trees growing in both the habitat types of forest (Figures 1–6).

Relation between the height of trees (h) and the height embedment of the crown (h_{ok}) ($r=0.7493$), degree of the crown spread ($\frac{d_k}{h}$) ($r=0.3533$) and the degree of the tree crown flattening ($\frac{d_k}{l_k}$) ($r = -0.1373$). There are some statistically insignificant numbers in case of common birch trees growing in the mixed fresh coniferous habitat. Statistically insignificant relation was found for height (h) and relative length of tree crown ($\frac{l_k}{h}$) ($r = -0.0527$), degree of the crown spread ($\frac{d_k}{h}$) ($r = 0.2556$) and the degree of the tree crown flattening ($\frac{d_k}{l_k}$) ($r = 0.2161$) for the trees growing in the mixed fresh deciduous habitat.

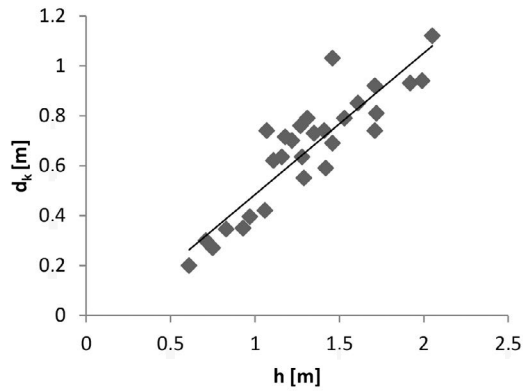


Figure 1. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown diameter of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat

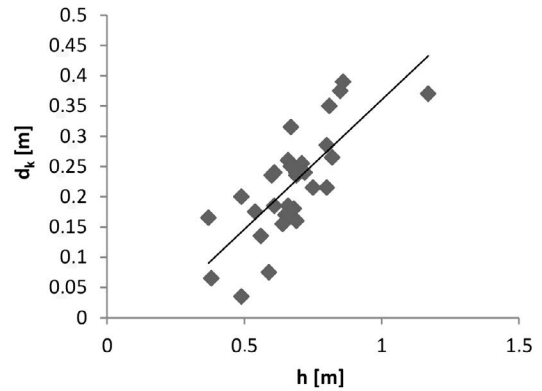


Figure 2. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown diameter of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat

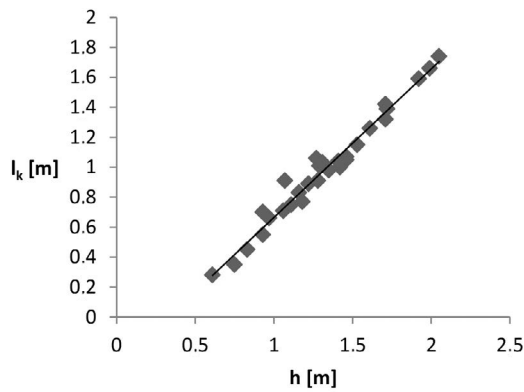


Figure 3. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown length (l_k) of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat

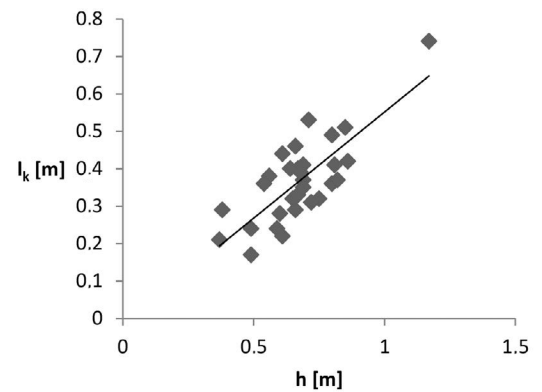


Figure 4. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown length (l_k) of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat

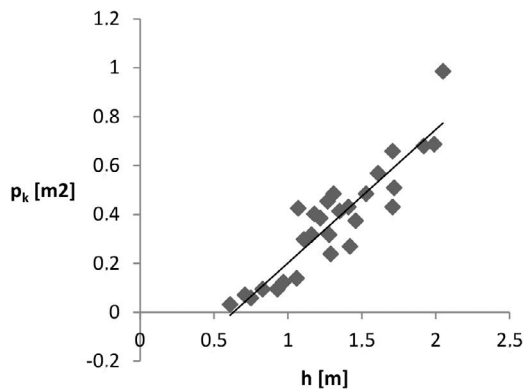


Figure 5. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown projection area (p_k) of 4-year-old common birch sample trees growing in BMśw habitat

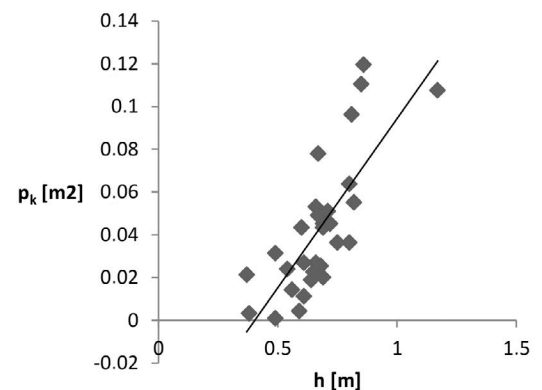


Figure 6. Pearson product-moment correlation coefficient between height (h) and crown projection area (p_k) of 4-year-old common birch sample trees growing in LMśw habitat

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	Significance -95%	Significance +95%	p	Linear equation
Height to the crown base (h_{ok})						
BMśw	0.0493	0.0024	-0.3231	0.4084	0.7996	-
LMśw	0.6839	0.4677	0.4294	0.8377	0.0000	$y=0.014+x(0.434)$
Crown diameter d_k						
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	$y=0.068+x(0.428)$
Crown length l_k						
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	$y=0.014+x(0.566)$
Relative crown length $\frac{l_k}{h}$						
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	-
Crown spread $\frac{d_k}{h}$						
BMśw	0.3533	0.1248	-0.0080	0.6330	0.0555	-
LMśw	0.2556	0.0653	-0.1153	0.5640	0.1728	-
Crown flattened $\frac{d_k}{l_k}$						
BMśw	-0.1373	0.0189	-0.4741	0.2346	0.4693	-
LMśw	0.2161	0.0467	-0.1564	0.5347	0.2515	-
Crown projection area p_k						
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	$y=0.064+x(0.158)$
Single tree space ppd						
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	$y=0.082+x(0.169)$
Percentage use of a unit area $pwjp$						
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	$y=-2.388+x(6.088)$
Leaves wet biomass $\acute{s}ml$						
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	$y=-3.993+x(13.226)$
Leaves dry biomass sml						
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 – correlation coefficient, r^2 – coefficient of determination, p – value

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

4. Summary and discussion

Selection of the trees is fundamental for the forest cultivation and proper blending; therefore, it is advisable to be aware of the given trees growth, especially in the cultivation phases. The trees height is determined by the decision management for the date of maintenance procedures and forest preservation treatments, for example, protecting young trees from animals (Jaworski 2004). The average height (h) of the common birch tree growing in the cultivation in the mixed fresh coniferous habitat is almost twice as big as that of the common birch tree from the cultivation planted on mixed fresh deciduous habitat. The reason for this difference can be a more fertile habitat where a higher number of plants are present. Other plants compete with the common birch trees for the growth space and nutrients, especially in the first years since the cultivation was set up. These kinds of observations require additional confirmation through research. Studies conducted by Szymański in 1982 show that common birch tree growing on the mixed fresh coniferous habitat reached the average height of 2.04 m at the age of 4 years. Similar results for the common birch trees were presented by Dengler in Switzerland as well as Pogrebnjak who did research on common birch trees in Ukraine.

The average relative length for the common birch tree ($\frac{l_k}{h}$), which indicates the share of tree crown in the overall height of a silver tree growing in the mixed fresh deciduous habitat, is 0.55. It signifies that crown constitutes 55% of the whole tree height. The exact same results were achieved by Badoux (after Assmann 1968) who examined the crowns of common beech. The highest average percentage share of the tree crown in the overall tree height was reached by the common birch trees growing on the mixed fresh coniferous habitat – 73%. Similarly, Bijak (2003) received approximate results for the Caucasian fir (*Abies nordmanniana*) growing on the Forestry Experimental Management premise in Rogów, which belongs to the University of Life Sciences in Warsaw. Research conducted on common fir by Jaworski and others in 1995 indicates that the tree crown length seriously affects the girth increment. Tree crown morphological characteristics – its shape and structure – may be a reproductive indicator for the tree (Jaworski 2004). The final stage for the shoot increment (the extension for the trunk pivot which influences the tree height proximity) occurs between fifth and tenth year. This period of crown development is named as the youth phase or exploration phase. During this time, the tree crown grows rapidly, covering the space increasingly (Dmyterko, Bruchwald 2000). Received results should be treated as an output; therefore, it seems justifiable to carry on the research on the sample trees in the following years.

It is relatively simple to measure the trees height; thus, finding the correlation between height and other characteristics that are more difficult to obtain is understandable. Correlation between the tree height (h) and the tree crown length

(l_k) on the mixed fresh deciduous habitat was estimated at 0.7735. Very similar correlation has been drawn by Turski et al. (2012), on the one hand, for the pine tree belonging to the I–III Kraft class and IV class of age. On the other hand, this particular correlation for the common birch tree growing on the mixed fresh coniferous habitat was more vehement and amounted to 0.9858. It implies that the tree crown length (l_k) is reliant on the tree height (h) about approximately 99% of time. The correlation factor between the tree height (h) and the growth space of a single tree (ppd) amounted to 0.9170 for the mixed fresh coniferous habitat and 0.8468 for the mixed fresh deciduous habitat. These relations are stronger than relations presented by Kaźmierczak (2010, 2012) for the 50- and 35-year-old common pine trees. A correlation between tree length (h) and other characteristics of tree crown as well as space growth measurements was proved. Relations between height (h) and the degree of the crown spread ($\frac{d_k}{h}$), the degree of the crown flattening ($\frac{d_k}{l_k}$) (for both types of habitat), height to the crown base (h_{ok}) (for the mixed fresh coniferous habitat) and the relative tree crown length ($\frac{l_k}{h}$) (for mixed fresh deciduous habitat) are not statistically essential.

Correlation between smoothness and height of the 30-year-old unattended common birch tree growing in the mixed fresh coniferous habitat was analysed by Korzeniewicz et al. (2016). The linear correlation factor was estimated to be –0.0946 and deemed not important statistically.

5. Conclusions

The study has shown that common birch grows faster in fresh mixed coniferous than in fresh mixed deciduous forest.

There is a significant positive correlation between the height of the trees and the width of the crown and its length, so it can be expected that trees that grow faster will have bigger crowns and reach the youth phase of growth earlier.

The timetable for breeding and protection should include the height of the trees and related significant morphological features of the crown.

Correlations between tree height and crown traits can be used to determine the productivity of the young common birch tree.

Conflict of interests

Author declares no potential conflicts.

Acknowledgements and source of funding

Research was financed from personal funds.

References

- 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. *Sylvan* 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. *Sylvan* 153(11): 758–767.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2001. Rozwój ugałęzienia w koronie młodej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *Sylvan* 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.). *Sylvan* 144(1): 11–17.
- Dmyterko E., Bruchwald A., 2005. Charakterystyka pędu głównego dojrzałej brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). *Sylvan* 149(8): 3–9.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2010. Model rozwoju pędu wierzchołkowego i jego ugałęzienia 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 piersnicy. *Acta Agraria et Silvicultura. Series Silvestris* 33: 115–131.
- Każmierczak K. 2009. Wybrane miary przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w bliskorębnym drzewostanie sosnowym. *Sylvan* 153(5): 298–303.
- Każmierczak K. 2010. Kształtowanie się wybranych cech przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w 50-letnim drzewostanie sosnowym. *Sylvan* 154(4): 267–274.
- Każmierczak K. 2012. Przestrzeń wzrostu sosny w 35-letnim drzewostanie na przykładzie wybranych miar przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa. *Sylvan* 156(4): 280–286.
- Każmierczak 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.). *Sylvan* 154(11): 764–772.
- Każmierczak K., Stosik M. 2008. Analiza wybranych cech przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa na przykładzie 135-letniego drzewostanu dębowego. *Sylvan* 152(2): 3–9.
- Każmierczak K., Zawieja B. 2016. Tree crown size as 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., Każmierczak 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.
- Pretzsch 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 Elk. 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. *Sylvan* 126(7): 11–29.
- Turski M., Beker C., Jaszczak R. 2015. Wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) różnych klas wieku. *Sylvan* 159(1): 36–44.
- Turski M., Jaszczak R., Deus R. 2012. Wybrane charakterystyki koron drzew i ich związek z piersnicą oraz wysokością. *Sylvan* 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. *Sylvan* 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.