

KATARZYNA KAŻMIERCZAK

DLUGOŚĆ KORON SOSEN W DRZEWOSTANACH TRZECH KLAS WIEKU

PINE TREE CROWN LENGTH IN STANDS OF THREE AGE CLASSES

Abstract. The paper presents the results of the analysis of crown length. Empirical material was collected on three experimental clear-cutting areas including a total of 1050 pine trees. The relationship between pine crown length and stem measurements and measurements of the growth space of a single tree was analyzed. The following was measured for each tree: diameter at breast height, height, height of base of live crown, commercial volume and volume increment. The following measures of the growth space of a single tree were adopted: crown projection area – p_k , crown width – d_k , Seebach's growth space number – $d_k/d_{1,3}$, crown projection area to basal area ratio – $d_k^2/d_{1,3}^2$, crown spread – d_k/h , space of a single tree – ppd . The biosocial position was set for each tree using Kraft's classification criteria. The crown length of each tree was calculated as the difference between the tree height and the height of the base of the live crown. Based on the research, the following was found:

1. The size of crown length depends on the stand age and on the tree's biosocial position.
2. The crown length increases with each tree characteristic; in the case of the biosocial position of a tree, the opposite tendency was observed – a decrease with the deterioration of the tree position in the stand.
3. The crown ratio shows the highest dependence on crown length.
4. The characteristics describing the growth space of a single tree are correlated with crown length. Seebach's growth space number and crown projection area to basal area ratio do not show a statistically significant dependence on the crown length in the two younger stands.

Key words: crown length, biosocial position, age, *Pinus sylvestris*

WSTĘP

Korona drzewa odgrywa zasadniczą rolę w jego wzroście i przyroście. Decyduje bowiem o rozmiarze i efektywności procesu asymilacji, który determinuje wzrost drzewa. Jej wielkość jest zatem wskaźnikiem energii wzrostu drzewa. Określenie rozwoju koron jest także podstawą ustalania uszkodzeń drzew, drzewostanów i całego kompleksu leśnego [Gruber 1987, 1992; Dmyterko 1994; Bruchwald, Dmyterko 2007; Dmyterko, Bruchwald 2007a, b; Jaszczak i Miotke 2009; Lesiński i in. 1992]. Szerokie badania dotyczące budowy i kształtu koron różnych gatunków drzew prowadzili Burger oraz Badoux [Borowski 1974]. Oceną zależności wielkości korony (głównie szerokości korony) od innych cech drzewa zajmowali się m.in.: Dubravac i Krejci [1993], Dubravac

[1998, 1999, 2003, 2004], Dubravac i in. [2009] oraz Hemery i in. [2005]. W Polsce rozmiarem korony w drzewostanach sosnowych zajmował się Lemke [1966]. Zależność przyrostu pierśnicy od m.in. powierzchni rzutu korony i objętości korony u sosen badał Dudek [1969], zaś związek pomiędzy polem rzutu korony a bieżącym przyrostem miąższości – Zajączkowski [1973].

Wielkość korony może być opisana różnymi cechami wymiarowymi. Długość korony jako różnica pomiędzy całkowitą wysokością drzewa a wysokością osadzenia korony pomierzoną do pierwszej żywej gałęzi stanowiącej podstawę zwartej korony jest jedną z takich cech. Jest jednym ze wskaźników możliwości przyrostowych korony. Długość korony można kształtować poprzez zabiegi pielęgnacyjne. Jej pomiar bywa u każdego drzewa czasochłonny i trudny. Dotyczy to szczególnie drzew wysokich w zwartych drzewostanach. Względna długość korony (czyli stosunek długości korony do wysokości drzewa) jest wykorzystywana jako zmienna w równaniach wzrostu drzewa, szczególnie w drzewostanach wielogatunkowych i wielowarstwowych. Jest zwykle używana do szacowania wzrostu i produktywności zarówno pojedynczych drzew, jak i drzewostanów [Bella 1971; Sprinz i Burkhardt 1987]. Assmann [1968] wymienił ją jako jeden ze wskaźników energii wzrostu, potwierdziły to także badania Hasenauera i Monseruda [1996]. W Polsce długością i względną długością koron różnych gatunków drzew zajmowali się m. in. Jaworski i in. [1988, 1995], Turski i in. [2012], Skrzyszewski [1993, 1995] i Żybura [1987]. Względna długość korony maleje ze wzrostem wymiarów drzewa i rosnącą konkurencją [Hasenauer i Monserud 1996; Temesgen i in. 2005]. Można stwierdzić, iż większą stosunkową długością korony cechują się drzewa w drzewostanach o niższym zadrzewieniu [Clutter i in. 1983].

Celem pracy jest analiza długości koron sosen z trzech drzewostanów w wieku 35, 50 i 88 lat, w zależności od pozycji biosocjalnej drzewa w drzewostanie. Ocenie poddano siłę związków między długością korony a innymi cechami pomiarowymi drzew, ich koron i przestrzeni wzrostu.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy został zebrany na zrębach zupełnych założonych w litych drzewostanach sosnowych w wieku 35, 50 i 88 lat na terenie Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka. Drzewostany wzrastały w warunkach siedliskowych typowych dla sosny: drzewostan 50-letni na siedlisku boru mieszanego świeżego, dwa pozostałe w warunkach boru świeżego. Pomiarom objęto łącznie 1050 drzew.

Dla każdego drzewa, zgodnie z kryteriami klasyfikacji Krafca, ustalono stanowisko biosocjalne. Na drzewach stojących pomierzono:

1. pierśnicę w korze w dwu kierunkach N-S i W-E z dokładnością do 0,1 cm, a średnią arytmetyczną z tych pomiarów przyjęto za pierśnicę drzewa ($d_{1,3}$),

2. powierzchnię rzutu korony p_k [m²] na podstawie rzutowanych, przy pomocy rzutownika koron, charakterystycznych punktów koron drzew (przeciętnie 4 do 14).

Po ścięciu ustalono ponadto między innymi:

1. długość z dokładnością do 0,01 m i przyjęto ją za wysokość drzewa (h),

2. wysokość osadzenia korony do pierwszej żywej gałęzi stanowiącej podstawę zwartej korony,

3. miąższość grubizny V_{gr} [m³] i bieżący przyrost miąższości w okresie ostatnich dziesięciu lat Zv_{10} [m³] pomierzono sposobem sekcijnym.

Szerokość korony d_k uzyskano z powierzchni rzutu korony przyjętej za pole koła. Na podstawie zebranego materiału pomiarowego określono również miary przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa: liczbę przestrzeni wzrostowej Seebacha – $d_k/d_{1,3}$, iloraz powierzchni rzutu korony – $d_k^2/d_{1,3}^2$, stopień rozłożystości korony – d_k/h , przestrzeń pojedynczego drzewa – $ppd=pk \cdot h$ [m³].

Dla długości korony sosny w poszczególnych klasach Krafta badanych drzewostanów wyliczono podstawowe charakterystyki statystyczne. Obliczono siłę związku między badanymi cechami korony a miarami przestrzeni wzrostu drzew, miąższością grubizny i bieżącym 10-letnim przyrostem miąższości oraz ich zależności od wysokości i pierśnicy. Do obliczeń wykorzystano pakiet Statistica 10.1. Podstawowe charakterystyki statystyczne wybranych cech drzew umieszczono w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe charakterystyki statystyczne cech sosen

Tab. 1. Basic statistical characteristics for tree features

Cecha drzewa							
Wiek	<i>n</i> [szt.]	Miara statystyczna	$d_{1,3}$ [cm]	<i>h</i> [m]	p_k [m ²]	d_k/h	l_k/h
35 lat	302	\bar{x}	11,33	13,10	3,05	0,14	0,35
		V [%]	26,28	10,19	63,53	26,50	17,19
50 lat	274	\bar{x}	17,48	18,72	6,29	0,14	0,30
		V [%]	20,45	7,36	54,56	24,34	19,19
88 lat	474	\bar{x}	27,87	21,44	17,94	0,22	0,29
		V [%]	18,28	7,47	51,93	24,11	21,62

WYNIKI

Można zauważyć, iż długość korony zmienia się nie tylko wraz z położeniem sosny w strukturze pionowej drzewostanu, ale również z wiekiem (tab. 2). Krótszymi koronami odznaczają się drzewa położone niżej w strukturze biosocjalnej. Sosny górujące i panujące 88-letniego drzewostanu wyróżniają się najdłuższymi koronami. Natomiast korony drzew z warstwy drzewostanu opanowanego były najkrótsze na tle młodszych drzew. Zasadniczo zmienność tej cechy korony w poszczególnych klasach była mniejsza niż w całym drzewostanie (tab. 2).

We wszystkich drzewostanach sosnowych z długością korony najsilniej związana jest jej względna długość. Z wiekiem siła korelacji dla tej zależności nieznacznie rośnie (tab. 3). W przypadku pozostałych cech wraz z wiekiem współczynniki korelacji osiągały niższy poziom.

Tab. 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne długości koron
 Tab. 2. Basic statistical characteristics of crown length

klasa Krafta	Drzewostan								
	35-letni			50-letni			88-letni		
	n [szt.]	\bar{x}	V [%]	n [szt.]	\bar{x}	V [%]	n [szt.]	\bar{x}	V [%]
Długość korony l_k [m]									
1	33	6,45	15,49	32	7,38	15,85	87	7,67	22,81
2	65	5,38	11,97	125	6,09	15,16	287	6,18	20,79
3	87	4,63	14,50	72	5,23	19,64	95	4,99	20,65
1-3	185	5,22	18,88	229	6,00	19,97	469	6,22	25,36
4a	44	4,11	13,96	36	4,46	22,62	5	4,07	19,75
4b	36	3,74	15,58	9	3,84	26,29			
5a	37	3,34	21,80						
4-5	117	3,76	18,70	45	4,33	23,71			
d-stan	302	4,65	24,44	274	5,73	23,11	474	6,19	25,59

W najmłodszym drzewostanie z długością korony silnie skorelowany jest bieżący 10-letni przyrost miąższości, wysokość, klasa biosocjalna i miąższość grubizny. Z pogarszaniem się pozycji drzewa w drzewostanie maleje długość jego korony.

W 50-letnim drzewostanie długość korony wpływa na przyrost miąższości, miąższość, pierśnicę, wysokość drzewa i jego pozycję biosocjalną w wysokim stopniu (tab. 3). Podobnie jak w młodszym drzewostanie, współczynnik korelacji z liczbą przestrzeni wzrostowej Seebacha i ilorzem powierzchni rzutu korony jest nieistotny statystycznie (tab. 3).

W najstarszym, 88-letnim drzewostanie stwierdzono silną korelację długości korony z miąższością grubizny, pierśnicą, przyrostem miąższości, przestrzenią pojedynczego

Tab. 3. Współczynniki korelacji prostopadłej pomiędzy długością korony a wybranymi cechami
 Tab. 3. Coefficient of linear correlation between crown length and selected features

klasa Krafta	$d_{1,3}$	h	Zv_{10}	V_{gr}	p_k	d_k	$d_k/d_{1,3}$	$d_k^2/d_{1,3}^2$	ppd	d_k/h	l_k/h	
Drzewostan 35-letni												
	-0,789*	0,770*	0,802*	0,804*	0,788*	0,640*	0,648*	0,047	0,032	0,684*	0,474*	0,935*
Drzewostan 50-letni												
	-0,658*	0,687*	0,667*	0,703*	0,694*	0,524*	0,520*	0,011	0,002	0,566*	0,384*	0,955*
Drzewostan 88-letni												
	-0,540*	0,611*	0,599*	0,587*	0,623*	0,530*	0,533*	0,142*	0,119*	0,581*	0,391*	0,956*

* współczynnik korelacji istotny statystycznie: 0,05

drzewa i klasą biosocjalną. Względna długość korony natomiast wykazuje nieco słabszą korelację (w porównaniu z długością korony) kolejno z: przestrzenią pojedynczego drzewa, pierśnicą, szerokością korony, miąższością grubizny, powierzchnią rzutu korony, przyrostem miąższości i klasą Krafta (tab. 3). Najsłabszy, choć istotny statystycznie związek stwierdzono z dwiema miarami przestrzeni wzrostu – liczbą przestrzeni wzrostowej Seebacha i ilorzem powierzchni rzutu korony.

DYSKUSJA

W niniejszej pracy analizowano wpływ wieku i pozycji drzewa w strukturze pionowej na długość korony sosny. Niezależnie od wieku, krótszymi koronami wyróżniały się drzewa z drzewostanu opanowanego. Korony 88-letnich górujących i panujących sosen były najdłuższe. Uzyskane wyniki zasadniczo potwierdzają wyniki innych autorów.

Żybura [1987] wykazał wzrost długości korony sosny z wiekiem i bonitacją drzewostanu, a jej skrócenie z pogarszaniem się stanowiska biosocjalnego. Długość korony jest cechą charakteryzującą się większą zmiennością niż względna długość korony. Badania tego autora wykazały silną korelację względnej długości koron z wiekiem i stanowiskiem drzewa, zaś nieistotną z bonitacją drzewostanu. Korona sosen młodszych klas wieku stanowiła 45% wysokości drzewa, a starszych 33% [Żybura 1987].

Jaworski [1979] stwierdził, że górujące i panujące jodły w drzewostanach jednopiętrowych o zróżnicowanym wieku, średnio ponad 100 lat, mają korony o długości od 29 do 60% wysokości drzew. Długie korony jodły wykształcały przy zmniejszonym zwarcu. Jodły drzewostanu panującego drzewostanów młodszych klas wieku osiągają względną długość koron wynoszącą 42%, starszych klas wieku natomiast 31% wysokości drzewa [Jaworski i in. 1995].

Względna długość koron modrzewia europejskiego w drzewostanach karpackich wahała się w szerokich granicach od 26 do 68%. Natomiast w przypadku drzewostanów świerkowych III klasy wieku ten procent u pojedynczych drzew osiągał wartości od 29 do 90%, starszych od 24 do 62% [Skrzyszewski 1993].

Badania Turskiego i in. [2012] wykazały, że średnia długość koron zmniejszała się wraz z obniżaniem się klasy Krafta drzew, a rosła wraz z ich wiekiem. Średnia długość korony 92-letniego drzewostanu panującego była 1,2 razy większa od uzyskanej w 77-letnim drzewostanie i 1,3 razy większa niż w 47-letnim. W każdym z trzech badanych drzewostanów stwierdzono ponadto wyraźną prawidłowość, iż względna długość korony malała z obniżaniem się stanowiska biosocjalnego.

Prezentowane wyniki stwierdzają związek długości korony sosny z jej względną długością, bieżącym 10-letnim przyrostem miąższości, miąższością grubizny, pierśnicą i wysokością drzewa. Długość korony związana jest także z powierzchnią rzutu korony i szerokością oraz stopniem rozłożystości korony i przestrzenią pojedynczego drzewa.

Skrzyszewski [1995] w 11 z 15 drzewostanów świerkowych wykazał związek długości korony z bieżącym 10-letnim przyrostem powierzchni przekroju pierśnicowego. Względna długość koron wpływa w istotny statystycznie sposób na ten rodzaj przyrostu

drzewa na 9 z 15 drzewostanów. Związek wspomnianych cech autor zauważył również w przypadku modrzewia [Skrzyszewski 1995].

U jodeł wykazano zależność pomiędzy względną długością koron a przyrostem słoja rocznego w młodszych drzewostanach przy współczynniku korelacji 0,579, a w starszych 0,515 [Jaworski i in. 1988, 1995].

Pomiar długości korony może być trudny do wykonania zwłaszcza w zwartych drzewostanach. W związku z powyższym prace badawcze zaczęły koncentrować się również na opracowywaniu modeli długości i względnej długości korony. Modelowanie obu cech korony bazuje na związkach pomiędzy cechami drzewa i drzewostanu. Równania opierają się bezpośrednio na cechach pomiarowych zarówno drzewa, jak i drzewostanu lub pośrednio, na określaniu wysokości drzewa do podstawy żywej korony [Holdaway 1986; Dyer i Burkhart 1987; Hasenauer i Monserud 1996; Zhang i in. 1996].

Gilmore [2001] zmiennością jedynie wysokości modrzewia wyjaśnił zmienność długości korony tego gatunku w blisko 99%. Sattler i LeMay [2011] opracowali równania do określania długości korony na podstawie pomiaru wysokości drzewa lub wysokości i pierśnicy.

Modelowanie względnej długości korony drzew tekowych na terenie Nigerii wykazało silne powiązanie tej cechy z długością drewna użytkowego, długością pnia, długością korony i miąższością [Popoola i Adesoye 2012]. Rijal i in. [2012] opracowali równania empiryczne do określania względnej długości koron na podstawie znajomości pierśnicy drzewa i pola przekroju pierśnicowego drzewostanu przypadającego na hektar. Wysokość osadzenia podstawy korony szacowano, bazując na wysokości drzewa. Opracowano funkcje dla 13 gatunków drzew (7 liściastych i 6 iglastych).

Do ciekawych wniosków doszli badacze modrzewia z terenu Chin [Jiang i Liu 2011]. Względna długość korony wykorzystano do opracowania modelu przekroju podłużnego drzewa. Równanie oparte na tej cesze drzewa uzyskało 98% współczynnik determinacji. Badania te potwierdzają wyniki prac nad wpływem wymiarów korony na przekrój podłużny drzewa [Muhairwe 1994; Sharma i Zhang 2004; Jiang i in. 2007].

WNIOSKI

1. Najdłuższymi koronami cechowały się sosny górujące i panujące najstarszego, 88-letniego drzewostanu. Krótszymi koronami we wszystkich drzewostanach odznaczają się drzewa położone niżej w strukturze biosocjalnej (drzewostan opanowany).

2. We wszystkich badanych drzewostanach z długością korony najsilniej związana jest jej względna długość, a z wiekiem siła korelacji nieznacznie rośnie.

3. Wzrost długości korony pociąga za sobą wzrost wszystkich uwzględnionych cech drzew.

4. Zwiększanie się miar wzrostu pojedynczego drzewa powoduje wzrost długości korony sosny. Jedynie w przypadku liczby przestrzeni Seebacha i ilorazu powierzchni rzutu korony w dwóch najmłodszych drzewostanach korelacja była nieistotna a w najstarszym najsłabsza.

LITERATURA

- BELLA I.C. (1971): A new competition model for individual trees. *Forest Science* 17:364-372.
- BOROWSKI M. (1974): Przyrost drzew i drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- BRUCHWALD A., DMYTERKO E. (2007): Reakcja przyrostowa świerka w powiązaniu ze stopniem uszkodzenia korony. *Sylvan* 151(11):22-34.
- CLUTTER J.L., FOTSON J.C., PIENAAR L.V., BRISTER G.H., BAILEY R.L. (1983): *Timber Management: A Quantitative Approach*. John Wiley and Sons, Nowy Jork.
- Dmyterko E. (1994): Metody określania stopnia uszkodzenia drzewostanów sosnowych przez emisje przemysłowe. *Prace IBL* 782:128-155.
- DMYTERKO E., BRUCHWALD A. (2007a): Kryteria określania uszkodzenia świerka. *Sylvan* 151(6):12-23.
- DMYTERKO E., BRUCHWALD A. (2007b): Drzewostanowa metoda określania uszkodzenia świerka. *Sylvan* 151(6):24-33.
- DUBRAVAC T. (1998): Istrazivanje strukture krosanja hrasta luznjaka i obcnoga graba u zajednici (Carpino betuli–Quercetum roboris Anić 1959 Rauš 1969). *Radovi Šumarski institut* 33(2):61-102.
- DUBRAVAC T. (1999): Utjecaj broja stabala na promjer krošnje hrasta luznjaka u zajednici (Carpino betuli–Quercetum roboris Anić ex Rauš 1969). *Radovi Šumarski institut* 34(2):23-37.
- DUBRAVAC T. (2003): Dinamika razvoja promjera krošanja hrasta luznjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Radovi Šumarski institut* 38(1):35-54.
- DUBRAVAC T. (2004): Dinamika razvoja dužina krošanja hrasta luznjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Radovi Šumarski institut* 39(1):51-69.
- DUBRAVAC T., DEKANIĆ S., VRBEK B., MATOŠEVIĆ D., ROTH V., JAKOVLEVIĆ T., ZLATANOV T. (2009): Crown volume in forest stands of pedunculate oak and common hornbeam. *Periodicum Biologorum* 111(4): 479-485.
- DUBRAVAC T., KREJCI V. (1993): Ovisnost promjera horizontale projekcije krosanja hrasta luznjaka o totalnim visinama stabala pojedinih dobnih razreda ekološko–gospodarkog tipa II–G–10 (Carpino betuli–Quercetum roboris. Anić/emend. Rauš 1969). *Radovi Šumarski institut* 28(1/2):79-89.
- DUDEK A. (1969): Zależność intensywności przyrostu miąższości i przyrostu pierśnicy od wielkości korony. *Folia Forestalia Polonica* A15:149-169.
- Dyer M., Burkhart H. (1987): Compatible crown ratio and crown height models. *Canadian Journal of Forest Research* 17:572-574.
- GILMORE D.W. (2001): Equations to describe crown allometry of *Larix* require local validation. *Forest Ecology and Management* 148:109-116.
- GRUBER F. (1987): Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte [*Picea abies* (L.) Karst.] als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A*, 26.
- GRUBER F. (1992): Dynamik und Regeneration der Gehölze. Baumarchitektur auf ökologisch–dynamischer Grundlage und zur Bioindikation am Beispiele der Europäischen Fichte [*Picea abies* (L.) Karst.], Weißtanne (*Abies alba* Mill.), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco) und Europäischen Lärche (*Larix decidua* Mill.). *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A*, 86/Teil I.
- HASENAUER H., MONSERUD R.A. (1996): A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management* 84:49-60.
- HEMERY G. E., Savill P. S., Pryor S. N. (2005): Application of the crown diameter–stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. *Forest Ecology and Management* 215(1/3):285-294.
- HOLDAWAY M. (1986): Modeling tree crown ratio. *Forestry Chronicle* 1986:451-455.
- JASZCZAK R., MIOTKE M. (2009): Defoliacja górnej części i całej korony drzew sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylvan* 153(9):607-616.
- JAWORSKI A. (1979): Charakterystyka hodowlana wybranych drzewostanów z udziałem jodły (*Abies alba* Mill.) w Karpatach i Sudetach. *Acta Agraria et Silvestria series Silvestris* 18:19-60.
- JAWORSKI A., KACZMARSKI 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 Silvestria series Silvestris* 33:115-131.
- JAWORSKI A., PODLASKI R., SAKIEWICZ P. (1988): Kształtowanie się zależności między żywotnością i cechami biomorfologicznymi korony a szerokością słoików rocznych u jodeł. *Acta Agraria et Silvestria series Silvestris* 27:63-84.

- JIANG L., BROOKS JR., HOBBS GR. (2007): Using crown ratio in yellow-poplar compatible taper and volume equations. *Northern Journal of Applied Forestry* 24:271-275.
- JIANG L., LIU R. (2011): Segmented taper equations with crown ratio and stand density for Dahurian Larch (*Larix gmelinii*) in Northeastern China. *Journal of Forestry Research* 22(3):347-352.
- LEMKE J. (1966): Korona jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzew w drzewostanie sosnowym. *Folia Forestalia Polonica A* 12:185-236.
- LESIŃSKI J. A., DMYTERKO E., GRZYB M. (1992): Skandynawska metoda oceny uszkodzenia sosny i świerka. *Sylvan* 136(6):19-31.
- MUHAIRWE CK. (1994): Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research* 24:1904-1913.
- POPOOLA F.S., ADESOYE P.O. (2012): Crown ratio models for *Tectona grandis* (Linn. f) stands in Osho Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. *Journal of Forest Science* 28(2):63-67.
- RIJAL B., WEISKITTEL A. R., KERSHAW J. A. JR. (2012): Development of height to crown base models for thirteen tree species of the North American Acadian Region. *Forestry Chronicle* 88(1):60-73.
- SATTLER D. F., LEMAY V. (2011): A system of nonlinear simultaneous equations for crown length and crown radius for the forest dynamics model SORTIE-ND. *Canadian Journal of Forest Research* 41:1567-1576.
- SHARMA M., ZHANG SY. (2004): Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 198:39-53.
- SKRZYSZEWSKI J. (1993): Kształtowanie się zależności między żywotnością oraz cechami biomorfologicznymi korony a masą korzeni i szerokością stoi rocznych u świerka i modrzewia. *Maszyn. Kat. Szczegółowej Hodowli Lasu AR. Kraków*.
- SKRZYSZEWSKI J. (1995): Charakterystyka przyrostowa oraz kształtowanie się zależności pomiędzy wybranymi cechami drzew a przyrostem promienia na pierśnicy świerka i modrzewia. *Acta Agraria et Silvestria series Silvestris* 33:141-158.
- SPRINZ P.T., BURKHART H.E. (1987): Relationships between tree crown, stem and stand characteristics in thinned loblolly pine plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 17:534-538.
- TEMESGEN H., LEMAY V., MITCHELL S. J. (2005): Tree crown ratio models for multi-species and multi-layered stands of southeastern British Columbia. *Forestry Chronicle* 81:133-141.
- TURSKI M., JASZCZAK R., DEUS R. (2012): Wybrane charakterystyki koron drzew i ich związek z pierśnicą oraz wysokością w drzewostanach sosnowych różnych klas wieku. *Sylvan* 156(5):369-378.
- ZAJĄCZKOWSKI J. (1973): Przyrost miąższości w klasach biosocjalnych starszych drzewostanów sosnowych. *Sylvan* 117(1):1-10.
- ZHANG S., BURKHART H., AMATEIS R. (1996): Modeling individual tree growth for juvenile loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management* 89:157-172.
- ŻYBURA H. (1987): Relation of the crown length of pine trees to the age and site quality of stand to the bio-social structure of trees. *Annals of Warsaw Agricultural University SGGW-AR* nr 36:61-68.

Adres do korespondencji – Corresponding address:
Katarzyna Kaźmierczak
e-mail: kkdendro@up.poznan.pl
Zakład Dendrometrii i Produkcyjności Lasu
Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Wojska Polskiego 71C
60-625 Poznań